

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

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 01.04.02. Прикладная математика и информатика
Отделение школы (НОЦ) Отделение информационных технологий

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследования алгоритмов фазочастотного прослеживания сейсмических волн с равновесной и неравновесной обработкой

УДК 004.021-047.37:621.317.616.018.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ71	Кураксин Александр Юрьевич		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Николай Архипович	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШИТР	Коваль Тамара Васильевна	д. ф.-м. н.		

Планируемые результаты обучения по направлению подготовки

01.04.02 Прикладная математика и информатика

Код результата	Результат обучения
1	2
Общекультурные компетенции	
ОК-1	Способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу.
ОК-2	Готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения.
ОК-3	Готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала.
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК-1	Готовность к коммуникации в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном языке для решения задач профессиональной деятельности.
ОПК-2	Готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия.
ОПК-3	Способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять своё научное мировоззрение.
ОПК-4	Способность использовать и применять углубленные знания в области прикладной математики и информатики.

Продолжение таблицы

1	2
ОПК-5	Способность использовать углублённые знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов.
Профессиональные компетенции	
ПК-1	Способность проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива.
ПК-2	Способность разрабатывать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач.
ПК-3	Способность углубленного анализа проблем, постановки и обоснования задач научной и проектно-технологической деятельности.
ПК-4	Способность разрабатывать концептуальные и теоретические модели решаемых задач проектной и производственно-технологической деятельности.
ПК-5	Способность управлять проектами, планировать научно-исследовательскую деятельность, анализировать риски, управлять командой проекта.
ПК-6	Способность организовывать процессы корпоративного обучения на основе технологий и развития корпоративных баз знаний.
ПК-7	Способность разрабатывать и оптимизировать бизнес-планы научно-прикладных проектов

Окончание таблицы

1	2
ПК-8	Способность разрабатывать корпоративные стандарты и профили функциональной стандартизации приложений, систем, информационной инфраструктуры.
ПК-9	Способность к преподаванию математических дисциплин и информатики в образовательных организациях основного общего, среднего общего, среднего профессионального и высшего образования.
ПК-10	Способность разрабатывать учебно-методические комплексы для электронного и мобильного обучения.
ПК-11	Способность разрабатывать аналитические обзоры состояния области прикладной математики и информационных технологий.
ПК-12	Способность к взаимодействию в рамках международных проектов и сетевых сообществ.
ПК-13	Способность осознавать корпоративную политику в области повышения социальной ответственности бизнеса перед обществом, принимать участие в её развитии.

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

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 01.04.02. Прикладная математика и информатика
Отделение школы (НОЦ) Отделение информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8БМ71	Кураксину Александру Юрьевичу

Тема работы:

Исследования алгоритмов фазочастотного прослеживания сейсмических волн с равновесной и неравновесной обработкой

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>	<ul style="list-style-type: none">- принятые в литературе математические модели волнового сейсмического поля;- описание метода фазочастотного прослеживания;- литературные источники по методам прослеживания;- реальные разрезы волнового сейсмического поля в виде массивов данных.
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - анализ методов прослеживания сейсмических волн; - построение математической модели волнового сейсмического поля; - разработка алгоритмов фазочастотного прослеживания с равновесной и неравновесной обработкой; - исследование разработанных алгоритмов на модели в условиях аддитивных помех и в зонах интерференции волн; - опробование работоспособности алгоритмов на реальных данных.
--	--

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - графическое представление модели сеймотрассы; - блок-схемы алгоритмов; - зависимости оценок математического ожидания и дисперсии временного положения от отношения сигнал/шум; - двумерная модель волнового поля; - исходный разрез ОГТ и результаты фазочастотного прослеживания.
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Екатерина Валентиновна
Социальная ответственность	Алексеев Николай Архипович
Английский язык	Сидоренко Татьяна Валерьевна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Разработка алгоритмов определения временного положения сейсмических сигналов на основе метода фазочастотного прослеживания

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ71	Кураксин Александр Юрьевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 126 листах машинописного текста, содержит 20 рисунков, 26 таблиц, 51 источник, 2 Приложения.

Ключевые слова: сейсморазведка, прослеживание волн, функция правдоподобия, весовая функция, фазочастотные характеристики сейсмических импульсов.

Объектом исследования является интерференционное волновое сейсмическое поле.

Цель работы: создание эффективных алгоритмов фазочастотного прослеживания сейсмических волн с равновесной и неравновесной обработкой. Исследование их помехоустойчивости и разрешающей способности.

В процессе выполнения работы проводилось изучение известных алгоритмов прослеживания сейсмических волн. На основе анализа данных алгоритмов были разработаны и реализованы алгоритмы фазочастотного прослеживания с равновесной и неравновесной обработкой. Проведенные исследования разработанных алгоритмов показали высокую точность определения временного положения сигналов в условиях интенсивных помех, а также существенное увеличение разрешения сигналов на сейсмических записях.

Степень внедрения: опытное тестирование на реальных данных.

Область применения: цифровая обработка и интерпретация волновых сейсмических полей, получаемых при поиске нефтяных и газовых месторождений.

Экономическая эффективность работы: заключается в разработке и программной реализации цифровых алгоритмов фазочастотного прослеживания, которые позволят обрабатывать сейсмические данные с большим быстродействием и высоким качеством.

Сокращения

РНП – регулируемый направленный прием;

МОВ – метод отраженных волн;

ВЧР – верхняя часть разреза;

ОКЗ – обратная кинематическая задача;

ПВФ – пространственно-временные фильтры;

ПГР – прогнозирование геологического разреза;

ФЧП – фазочастотное прослеживание;

Оглавление

Введение.....	11
1 Анализ существующих методов прослеживания сейсмических волн.....	13
1.1 Задачи прослеживания сейсмических волн и их решение в существующих комплексах обработки информации.....	13
1.2 Математическая модель волнового сейсмического поля	14
1.2.1 Математическая модель сейсмической трассы	17
1.2.2 Аналитические модели сейсмических импульсов	17
1.3 Анализ методов прослеживания сейсмических волн	19
2 Разработка алгоритмов определения временного положения сейсмических сигналов на основе метода фазочастотного прослеживания.....	25
2.1 Метод фазочастотного прослеживания сейсмических волн	25
2.2. Разработка алгоритмов определения временного положения сейсмических сигналов.....	26
2.2.1 Алгоритм определения временного положения сейсмических сигналов на основе метода фазочастотного прослеживания с равновесной обработкой	29
2.2.2 Алгоритм определения временного положения сейсмических сигналов на основе метода фазочастотного прослеживания с неравновесной обработкой.....	32
3 Исследования разработанных алгоритмов на моделях волновых сейсмических полей.....	37
3.1 Выбор программной среды	37
3.2 Построение математической модели волнового сейсмического поля	38
3.3 Программная реализация разработанных алгоритмов в математическом пакете «Matlab».....	39
3.4 Исследования алгоритмов при наличии аддитивных Гауссовых помех....	39
4 Результаты опробования разработанных алгоритмов на реальных данных .	48
4.1 Описание исходного волнового поля.....	48
4.2 Результаты фазочастотного прослеживания	48
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	52
5.1. Предпроектный анализ	52
5.1.1 Потенциальный потребители результатов исследования	53
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	54
5.1.3 SWOT-анализ	56

5.1.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации	57
5.1.5	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	59
5.2	Инициация проекта.....	59
5.3	Планирование управлением научно-технических проектом	61
5.3.1	Структура работ в рамках научного исследования	61
5.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ	62
5.3.3	Бюджет научно-технического исследования.....	67
5.3.4	Затраты на материалы	67
5.3.5	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	68
5.3.6	Основная заработная плата	68
5.3.7	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	70
5.3.9	Накладные расходы.....	71
5.3.10	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	72
5.4	Оценка экономической эффективности проекта.....	72
5.5	Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	77
6.	Социальная ответственность	79
6.1	Производственная безопасность.....	79
6.2	Экологическая безопасность.....	92
6.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	93
6.3.1.	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	93
6.3.2.	Обоснования мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	94
6.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	96
6.4.1	Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	96
6.4.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....	97
6.5	Выводы по разделу «Социальная ответственность»	100
	Заключение	101
	Список использованных источников	102
	Приложение А	107
	Приложение Б.....	119

Введение

Возросшая в последние годы роль исследований связанных с ведением работ по добыче минерального сырья, такого как нефть, газ и другие виды полезных ископаемых, влечет за собой значимость решения задач, направленных на улучшение эффективности и качества геофизических работ. Задачи разработки алгоритмов интерпретации и обработки геофизических данных, такие как прослеживание при этом имеют особую значимость и актуальность.

Прослеживание сейсмических волн и границ является одной из главных задач структурной сейсморазведки и прогноза геологического разреза. В общей постановке в задачу прослеживания входят обнаружение волн, их идентификация и оценка параметров. Основными неизвестными параметрами при прослеживании волн являются моменты их прихода. Основываясь на результатах, полученных в процессе прослеживания, происходит построение структурных карт и подробное изучение геометрических параметров, таких как формы выделяемых локальных геологических объектов [16]. Таким образом, под объектом прослеживания, как правило, понимается сейсмическая граница, её элементами являются отдельные участки, а признаками - амплитуды отраженных сейсмических волн, наклоны и глубины участков границы, параметры временной формы сейсмических волн и др.

Первые методы автоматического прослеживания волн, которые осуществляют работу в производственном режиме, были получены в начале 70-х годов. Развитие таких методов в последующем привело к созданию целого направления, именуемого в настоящее время как методы адаптивного прослеживания.

Однако, на практике данные методы, при поиске новых месторождений, находящихся в сложных сейсмогеологических условиях, часто не обеспечивают требуемой точности восстановления границ, что требует создания и развития новых методов прослеживания волн. В условиях, когда о форме сигналов ничего не известно, а также присутствуют нерегулярные помехи и интерференция волн, развитие методов прослеживания особенно актуально. Данная ситуация присуща

исследованиям тонкослойных сред. Также в связи с увеличением в последнее время требований предъявляемых к разработке методов прослеживания, от них требуют повышение разрешающей способности и увеличение глубинности исследований.

В связи с этим методы, которые используют данные о фазовых спектрах сигналов для определения их временного положения, будут показывать наилучшую эффективность при решении задач прослеживания. Информация, заложенная в сложные законы изменения фазовых спектров сигналов (фазу сигналов), позволяет надежно идентифицировать сигналы на фоне интенсивных помех и оценивать их временное положение с очень малой погрешностью, в условиях присутствия большого количества осложняющих факторов и существующей априорной неопределенности параметров и свойств сигнала.

Таким образом, целью данной работы является разработка и исследование алгоритмов фазочастотного прослеживания сейсмических сигналов с равновесной и неравновесной обработкой. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ существующих методов прослеживания сейсмических волн;
- построить математическую модель волнового сейсмического поля;
- разработать алгоритмы фазочастотного прослеживания с равновесной и неравновесной обработкой;
- провести исследование разработанных алгоритмов на моделях волнового поля в условиях аддитивных помех и в зонах интерференции волн;
- опробовать работоспособность алгоритмов на реальных данных.

1 Анализ существующих методов прослеживания сейсмических волн

Предварительно остановимся кратко на задачах, решаемых при прослеживании сейсмических волн на разрезах, получаемых при поиске нефтяных и газовых месторождений.

1.1 Задачи прослеживания сейсмических волн и их решение в существующих комплексах обработки информации

Структурная сейсморазведка подразумевает собой решение множества задач, в списке которых одной из важнейших является прослеживание сейсмических волн. Не менее важную роль прослеживание играет в области решения задач, направленных на прогнозирование геологического разреза, таких как поиск возможных залежей углеводорода. Огромный комплекс прикладных задач, решение которых связано непосредственно с разработкой алгоритмов прослеживания, определяет их актуальность и важность. Приведем в пример несколько из них. Главной задачей прослеживания конечно же является обнаружение фиксированных волн и определение их временного положения, однако есть и множество других задач. Прослеживание с помощью машинных алгоритмов решало одну из первейших задач сейсморазведки, а именно вопрос корреляции сейсмических границ (горизонтов) и волн, что являлось важнейшим шагом для интерпретирования сейсмических данных.

Корреляция разрезов скважин, представляет собой важнейшую задачу. Корреляция пластов в осадочных толщах в таких случаях подразумевает собой решение двух задач:

а) в разрезах различных скважин необходимо установить точки, которые синхронно принадлежали поверхности осадконакопления в процессе сбора осадков;

б) поиск в таких разрезах промежутков, которые являются частью одного геологического тела.

К нестандартным задачам можно отнести задачу прослеживания слоев термогалинных экстремумов, реализуемую также с помощью машинного

алгоритма. Данная задача имеет огромное прикладное и научное значение при изучении стратификации и структуры вод Мирового океана [32].

Наибольший процент реализованных алгоритмов прослеживания направлены на решение геофизических задач корреляции сейсмических границ (горизонтов) и волн для одномерных и непрерывных (профильных) систем наблюдения.

1.2 Математическая модель волнового сейсмического поля

Для того чтобы провести анализ методов прослеживания сейсмических волн в данной работе необходимо построить модель исследуемого объекта. Самый известный подход к разработке подобных моделей включает описание системы объекта, воздействия на него и его отклика. При этом все части данной системы потенциально связаны неким оператором связи, а построение математической модели лежит в нахождении размеров воздействия, характеристик объекта, отклика, координатора взаимосвязи входа и выхода системы для определенной задачи (рис.1).

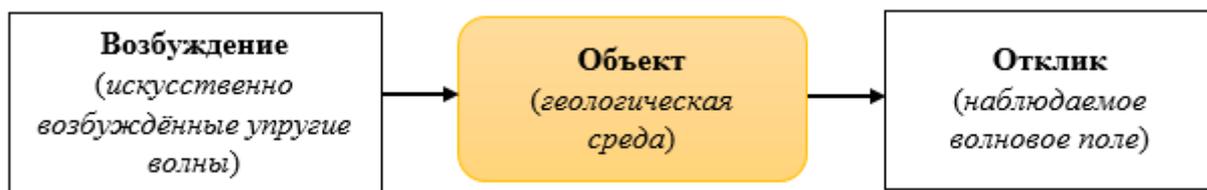


Рисунок 1 – Общая схема формирования сейсмического волнового поля

Методы сейсморазведки полагаются на изучение распространения искусственно возбужденных упругих волн в земной коре. Упругие волны, вызванные ударом или взрывом, равномерно распространяются от их источника, проникая на большие глубины в толщу коры. Там они претерпевают отражение и преломление, подобно звуковым или световым волнам, и частично возвращаются к поверхности земли, где колебания, созданные ими, регистрируются специализированным оборудованием и описываются в форме сейсмограмм. Последовательность получения сейсмических данных представляется в виде схемы (рис. 2).



Рисунок 2 – Схема представления процесса извлечения информации

Сейсмическое волновое поле – представляет собой отклик среды на источник возбуждения, представляемый как совокупность множества упругих колебаний, которые возникли в среде, и описываемый функцией пространства и времени. В сейморазведке модель волнового поля как правило представляют в виде аддитивной модели [29], т.е. такая модель в которой результаты измерения поля $Y(t, \vec{p})$ представляют собой сумму полезной составляющей $S(t, \vec{p})$ и осложняющей ее помехи $L(t, \vec{p})$:

$$Y(t, \vec{p}) = S(t, \vec{p}) + L(t, \vec{p}), \quad (1.2.1)$$

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

Касаясь помех, они могут быть регулярными и нерегулярными. Обобщенно помехой будем считать смесь регулярных волн $P(t, \vec{p})$ и нерегулярного шума $\xi(t, \vec{p})$:

$$L(t, \vec{p}) = P(t, \vec{p}) + \xi(t, \vec{p}). \quad (1.2.2)$$

Помеха и сигнал – это понятия, которые в сейморазведке носят исключительно относительный характер. Поэтому нужно в каждом отдельном случае выяснять, что считать сигналом, а что помехой. Сигналом считается форма проявления поля, внутри которой сосредоточена полезная информация, а помеха – это всевозможные возмущения поля, которые являются помехой и мешают выделить сигнал [30].

Использование волн различного характера варьируется в зависимости от метода сейсмической разведки. Следует отметить что на многих границах раздела, при распространении в слоистой осадочной толще упругой волны, происходит образование многочисленных вторичных волн и расщепление падающей волны. Прибор, который установлен в необходимом месте

наблюдения, осуществляет принятие и регистрацию суперпозиции фазового сдвига всех типов волн, доходящих до него. Рассматривая поставленную задачу некоторые волны признаются полезными, все остальные считаются мешающими. Исходя из этого, отнесение той или иной волны к категории помех или полезных волн (сигнал) носит абсолютно условный характер [30]. В представленном исследовании в качестве полезных волн примем однократно отраженные волны от границ раздела геологических волн. Тогда рассмотрим математическую модель одиночной сейсмической трассы, в которой в качестве полезного сигнала принят сейсмический импульс, возникающий при отражении волн.

1.2.1 Математическая модель сейсмической трассы

В данной работе общая статистическая модель сейсмической трассы представляет собой аддитивную модель, состоящую из суперпозиции сейсмических импульсов и помехи:

$$X(t) = \sum_{i=1}^M A_i S(t - \tau_i) + N(t), \quad (1.2.3)$$

где A_i – амплитуды волн; $S(t - \tau_i)$ – нормированная форма полезного импульса; M – число полезных импульсов; τ_i – временное положение импульса; $N(t)$ – шум с нормальным законом распределения. Нормальный закон распределения принят исходя из центральной предельной теоремы, согласно которой сумма большого числа различных случайных факторов, имеет закон распределения, близкий к нормальному.

1.2.2 Аналитические модели сейсмических импульсов

Как следует из выражения (1.2.3) для построения модели сейсмической трассы требуется задать модель одиночного импульса. На сегодняшний день в качестве аналитических моделей в сейсморазведке приняты импульсы с колокольной огибающей, импульсы Берлаге и ряд других. В данной работе аналитическую форму отдельной волны представим в виде импульса с колокольной огибающей:

$$S(t - \tau_i) = e^{-\beta^2 \cdot t^2} \cos(\omega_0 t + \varphi), \quad (1.2.4)$$

где β – коэффициент затухания; ω_0 – основная частота; φ – начальная фаза.

На рисунке 3 представлен импульс с колокольной огибающей, основная частота которого составляет 40 Гц. Как видно из рисунка длительность импульса будет порядка 60 Мс. Основная энергия сигнала, как будет показано выше, сосредоточена в интервале 20 – 60 Гц. Импульс симметричный относительно центра, и, следовательно, имеет линейный фазовый спектр.

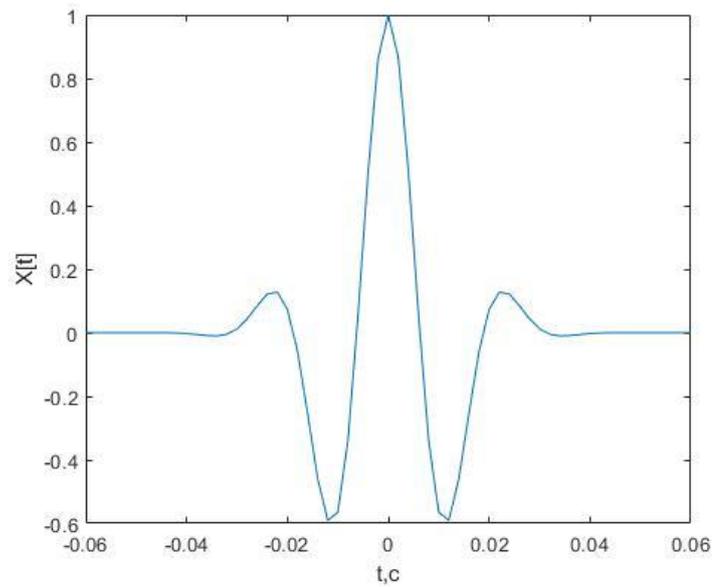


Рисунок 3 – Импульс с колокольной огибающей

Теперь, когда модель сейсмической трассы задана, перейдем к непосредственному анализу алгоритмов прослеживания. При этом будем считать, что необходимые волны уже выделены и нам требуется только оценить их временное положение, которое будем привязывать к максимумам импульсов на трассе.

1.3 Анализ методов прослеживания сейсмических волн

Алгоритм реализованный в работе [13], являлся одним из первых алгоритмов прослеживания сейсмических границ глубинного разреза в поле годографов. Метод регулируемого направленного приема (РНП) [14] стал основополагающим для выявления наклонов горизонтов по расположению дискретных передающих площадок.

Метод отраженных волн (МОВ) лег в основу алгоритма в работе [15], с помощью него реализован программный комплекс прослеживания (единовременного отбора и интерпретации свойств) сейсмических волн. Основной для данного комплекса стала задача разделения смеси различного числа произвольных величин одного типа с неизвестными размерами выборок, точность закона распределения которых, задана их математическими ожиданиями.

В работах [11, 12] предложен ряд адаптивных алгоритмов прослеживания сейсмических волн. Медленно меняющийся эталон, вводится для абсолютно всех прослеживаемых волн. С помощью него волны на трассах удается выделить по их подобию. Выделив на какой-либо трассе волну, она прослеживается, а затем домножается на некий весовой коэффициент, после чего под суммируется к эталону, благодаря чему происходит уточнение эталона. Максимальное значение функции взаимной корреляции $T_{ТАХ}$ получившегося эталона с отрезком трассы на котором происходят пробы в алгоритме [11] и основываясь на $T1$ - статистике, вычисление которой происходит по двум параметрам: время прихода волны и взаимнокорреляционная функция, в работе [12], идентифицируют волны, выделенные на каждом из наблюдений. Данные алгоритмы выполняют оценку параметров волн параллельно с их прослеживанием. Также, при появлении на временных разрезах новых волн, алгоритм [12] имеет возможность включить их в прослеживание или наоборот отказаться прослеживать слабые волны.

Два основных аспекта лежат в основе задачи анализирования и учета неоднородностей верхних частей разреза. Начальным аспектом (техническим) является прогрессирование методологий и методов необходимых для обработки. В таких методах модель среды сразу включает в себя поверхностные неоднородности. Другими словами, такие методы требуют развития усовершенствованной алгоритмической базы. Вместе с тем, учет неоднородностей ВЧР в представленных моделях сред, является только частью основной задачи, также необходимо выявлять данные неоднородности. Ввиду этого, следующим аспектом является усовершенствование методов анализирования верхних слоев как путем специализированных сейсмологических исследований, так и путем бурения относительно поверхностных скважин.

Метод, позволяющий анализировать и оценивать упругие сейсмические колебания (изменение их фона), связанных с конверсией ВЧР, в следствии чего, предусматривающего произведение корректировок как определенных функционалов волнового поля (энергия и время прихода), так и общего (цельного) наблюдаемого волнового поля, был предложен и разработан в работе [1]. Результаты работы говорят об эффективности метода при обработке материалов, структурирование волнового поля которых взаимосвязано с какими-либо изменениями свойств спектров зон приема и возбуждения сейсмических сигналов по всей длине линии наблюдения. Однако помехоустойчивость оценок параметров, которые удастся получить данным методом, остается одним из самых важных незакрытых вопросов.

Работа [2] посвящена разработке следующих методов:

- метода адаптивного прослеживания поля, включающие в себя процедуры выделения волн;
- уточняющий свойства (параметры) модели среды по невязке (разница между прогнозируемыми и наблюдаемыми данными) с помощью статистических оценок точности и априорной информации итерационно-статистический (адаптивный) метод;

– метод совместного прослеживания и уточнения кинематических параметров модели среды отражённых сейсмических волн.

Устойчивость при реализации обратных задач, имеющих большое множество неизвестных, а также массивов данных, стала результатом исследования разработанных адаптивных методов прослеживания. Возникающий в процессе многоволновой сейморазведки широкий класс обратных задач (динамических и кинематических), можно рекомендовать решать таким подходом. В первую очередь, интерпретация волновых полей, имеющих в наличии множество зафиксированных при их регистрации пространственных наблюдений, с резко увеличивающимся количеством оцениваемых данных и параметров, обуславливает актуальность и необходимость разработки адаптивных методов прослеживания.

Реализация и разработка, рассмотренного в работе [4] принципиально отличающегося метода интерпретации и обработки сейсмических данных, основывается на свойствах адаптации и обеспечивает прогресс решения задач увеличения информативности и эффективности в области исследований строения ВЧР. В данной работе попытались выполнить разработку и обоснование метода адаптивного прослеживания импульсов в начальных вступлениях с параметрической оценкой модели ВЧР. Адаптивный алгоритм, позволяющий производить настройку временного окна на необходимые прослеживаемые волны [4], позволяет минимизировать ошибки прослеживания, а это значит он в процессе решения обратной кинематической задачи (ОКЗ) смещение их оценок, также минимизируется. Использование совместных с ОКЗ функций и визуализация рекурсивной процедуры прослеживания волн, параметры модели среды которой уточнены, очень подробно рассмотрены в данной работе.

В ходе проведения анализа приоритетных задач и основных методов, выполняющих статистическую обработку сейсмической информации выяснилось, что ключевое положение, в данный момент, занимает задача повышения разрешающей способности таких алгоритмов, а это значит, что

необходимость разработки спектральных методов разрешения пространственно-временных сигналов, в основу которых входят узкополосые перестраиваемые фильтры (ПВФ), имеет огромную значимость и актуальность. При проведении исследований, с помощью реализованного субкомплекса [5], на статистических моделях волновых полей, эффективность методов в работе [5], основанных на анализе спектра, подтвердилась. В свою основу данные методы используют узкополосую фильтрацию, перестраиваемую по направлению. Также плюсом данных алгоритмов является их высокая разрешающая способность в условиях, когда о форме выделяемого сигнала и интенсивности помех регулярного и нерегулярного шума, априорно ничего не известно. Устойчивость к сильным случайным колебаниям годографа выделяемых волн была доказана в алгоритмах, в основу которых положен принцип обработки НДФ в цифровом виде, в отличие от уже повсеместно использующихся методов направленного суммирования.

Прослеживание и классификация являются одним из главных этапов интерпретации сейсмических данных, поэтому разработка алгоритмов решения данных задач является особенно актуальной. Для увеличения скорости вычислений в работе [6] разработан и протестирован метод трехэтапной обработки прослеживания: предобработка, начальный перебор, заключительное прослеживание. Основной смысл первого этапа обработки заключается в отборе материала, необходимого для прослеживания, с учетом гипотетических предположений о всевозможных характеристиках изучаемого геологического разреза. Назначение начальных областей и инициализация начальных значений всех искомых параметров происходит на втором этапе прослеживания участка границы сейсмотрассы. Функция правдоподобия для всевозможных комбинаций элементов, а именно её максимизация, лежит в основе третьего этапа. Он заключается в определении параметров границы и отбора всех её искомых элементов, причем процесс прослеживания волны итеративен, т.е. обработка последующего наблюдения включает в себя результаты предыдущего.

В последнее время существенный прогресс в развитие алгоритмов прослеживания внесли методы деконволюции [18 - 21], которые направлены на увеличение разрешающей способности полученных геологических разрезов. Однако, основную массу существующих алгоритмов деконволюции (слепая, импульсная, поверхностно-согласованная, предсказывающая), реализованных в современных комплексах по обработке и интерпретации сейсмических данных мировых лидеров (например, ЦГЭ в России, Schlumberger в США и др.) обрабатывают только данные об энергетических спектрах сигналов, ФЧХ отраженный волн принимаются минимальными, либо полностью отсутствующими [23 - 24]. Существуют лишь небольшое количество работ, авторы которых прибегали к использованию фазовых соотношений в алгоритмах деконволюции, но только в виде констант, не соотносящихся с конкретными данными, которые они получили ранее опытным путем [17, 25].

В связи с этим использование методов деконволюции во множестве важных случаев практического применения, не дает получить надежные оценки временного положения отражающих границ, в особенности если в точках приема претерпевает изменение форма сигнала, т.е. геологическая среда дисперсионная. В подобных условиях фаза сигнала является основным параметром, несущим информацию о временном положении отражающих границ, а именно обеспечивающая формирование сигнала на сейсмической записи, выделенная область стационарной фазы. Поэтому использование фазовых спектров вместе с амплитудными спектрами сейсмических сигналов, при разработке методов, берущих в свою основу процесс деконволюции, приобретает огромную актуальность, особенно при последующем прогнозе геологического разреза (ПГР). При этом нужно понимать, что решение задачи деконволюции (обратной фильтрации) во многом связано со сжатием сигналов с целью увеличения разрешенности сейсмической записи. Это дает возможность проследить сейсмические волны с высокой надежностью в тонкослоистых средах.

Таким образом, проведенный анализ методов прослеживания показал, что при их реализации в основном используются два подхода: расчет функции

взаимной корреляции с эталоном и деконволюция. Однако в обоих подходах информация о фазовых спектрах не учитывается, что существенно снижает качество данных методов в сложных сейсмогеологических условиях.

2 Разработка алгоритмов определения временного положения сейсмических сигналов на основе метода фазочастотного прослеживания

Основными задачами прослеживания сейсмических волн, являются: обнаружение фиксированных волн и определение их временного положения. В сейсморазведке для решения подобных задач существует ряд методов, которые преимущественно используют в качестве информационных признаков энергетические характеристики сигналов. Однако, информационная ценность фазочастотных характеристик (ФЧХ), в сложных сейсмологических условиях, может превышать ценность энергетических характеристик.

Информация, необходимая для наилучшей фильтрации сигнала от шума и оценки их основных характеристик, может быть включена в сложный закон изменения фазового спектра, т.е. фазу сигнала [27 - 28].

Исходя из вышеизложенного перейдем к выработке концепции метода определения временного положения путем анализа получаемой из фазочастотной характеристики регистрируемых волн информации. С этой целью рассмотрим принцип работы алгоритма фазочастотного прослеживания.

2.1 Метод фазочастотного прослеживания сейсмических волн

В простейшем случае задачу фазочастотного прослеживания можно представить, как определение временного положения сейсмического сигнала и оценку какого-либо из неэнергетических параметров нормального случайного процесса, не учитывающего специфики временного параметра. Параллельно с этим, положение сигнала во времени однозначно определено в экспоненциальной форме его фазочастотной характеристики. В следствии чего наиболее эффективный метод определения временного положения сигнала может быть получен при помощи оптимальной обработки ФЧХ [27].

В связи с выше сказанным, на кафедре прикладной математики ТПУ был разработан метод фазочастотного прослеживания сейсмических, в котором оптимальной обработке подвергались лишь фазочастотные характеристики сейсмических сигналов примем [35]. В работе [35] произведен анализ

оптимального метода прослеживания, направленного на поиск фиксированных волн, наблюдаемых на фоне гауссовых помех, который реализуется в виде процедуры поиска максимума функции правдоподобия:

$$L(t) = \sum_{k=1}^m \delta(\omega_k) \cos(\Delta\phi(\omega_k) - \omega_k t), \quad (2.1.1)$$

Здесь $\Delta\phi(\omega_k) = \phi_x(\omega_k) - \phi_s(\omega_k)$ – отклонение фазового спектра сигнала от фазового спектра смеси сигнала и шума, $\delta(\omega_k) = A(\omega_k) / \sigma(\omega_k)$ – пиковое отношение сигнала к шуму на частоте ω_k , m – число анализируемых частотных компонент.

Выражение (2.1.1) справедливо, как для случая сильного сигнала, так и для случая слабого сигнала. Поэтому примем его за основу и перейдем к построению алгоритмов определения временного положения сигналов.

2.2. Разработка алгоритмов определения временного положения сейсмических сигналов

Сразу отметим, что возникает ряд проблем, связанных с практической реализацией оптимальных ФЧХ алгоритмов вида (2.1.1), таких как оценка распределения отношений $\delta(\omega_k)$ во всем исследуемом частотном диапазоне. В самом деле, регистрируемые сейсмические сигналы, обычно, имеют неизвестную форму, а это значит, что неизвестны и $\delta(\omega_k)$, $k = \overline{1, m}$. В связи с этим необходимо совершить переход к квазиоптимальным фазочастотным алгоритмам, которые назовем алгоритмами с равновесной и неравновесной обработкой. Эти алгоритмы могут быть получены из оптимального метода путем замены в (2.1.1) функции $\delta(\omega_k)$ на другие, специально подобранные весовые функции. Тогда в общем случае эти алгоритмы можно представить следующим образом:

$$L(\tau) = \sum_{k=1}^m W(k) \cdot \cos(\varphi(k) - \omega_k \tau), \quad (2.2.1)$$

$W(k)$ – частотная весовая функция, вид которой зависит от реализуемого фазочастотного алгоритма;

$\varphi(k)$ – фазовый спектр, вычисление которого производится в текущем окне анализа;

τ – порядковый номер сдвига окна анализа.

В целом процедуру (2.1.1) можно описать следующим образом.

В заданном окне анализа осуществляется дискретное преобразование Фурье, в соответствии с которым осуществляется вычисление ФЧХ:

$$a(k) = \sum_{T=1}^n X(t_i) \cdot \cos\left((\omega_n + k\Delta\omega) \cdot (t_n + T\Delta t)\right), \quad (2.2.2)$$

$$b(k) = \sum_{T=1}^n X(t_i) \cdot \sin\left((\omega_n + k\Delta\omega) \cdot (t_n + T\Delta t)\right), \quad (2.2.3)$$

$$\varphi(k) = \arctg\left(\frac{b(k)}{a(k)}\right), \quad (2.2.4)$$

для всех $k = \overline{1, m}$, где

m – число анализируемых частотных компонент;

T – положение окна анализа;

ω_n – нижняя частота;

Δt , $\Delta\omega$ – шаг дискретизации по времени и частоте соответственно.

Далее формируется первое значение функции правдоподобия (2.2.1) и окно анализа перемещается по трассе с шагом дискретизации трассы, и все вычисления (2.2.2 – 2.2.4) повторяются, и так до той поры, пока вся трасса не будет прослежена. Ввиду того, что перемещение окна анализа по сейсмической трассе происходит с шагом, который равен шагу дискретизации трассы, мы говорим о необходимости вычисления именно мгновенной (текущей) ФЧХ [33]. На рисунке 4 показан процесс вычисления мгновенного фазового спектра в скользящем окне.

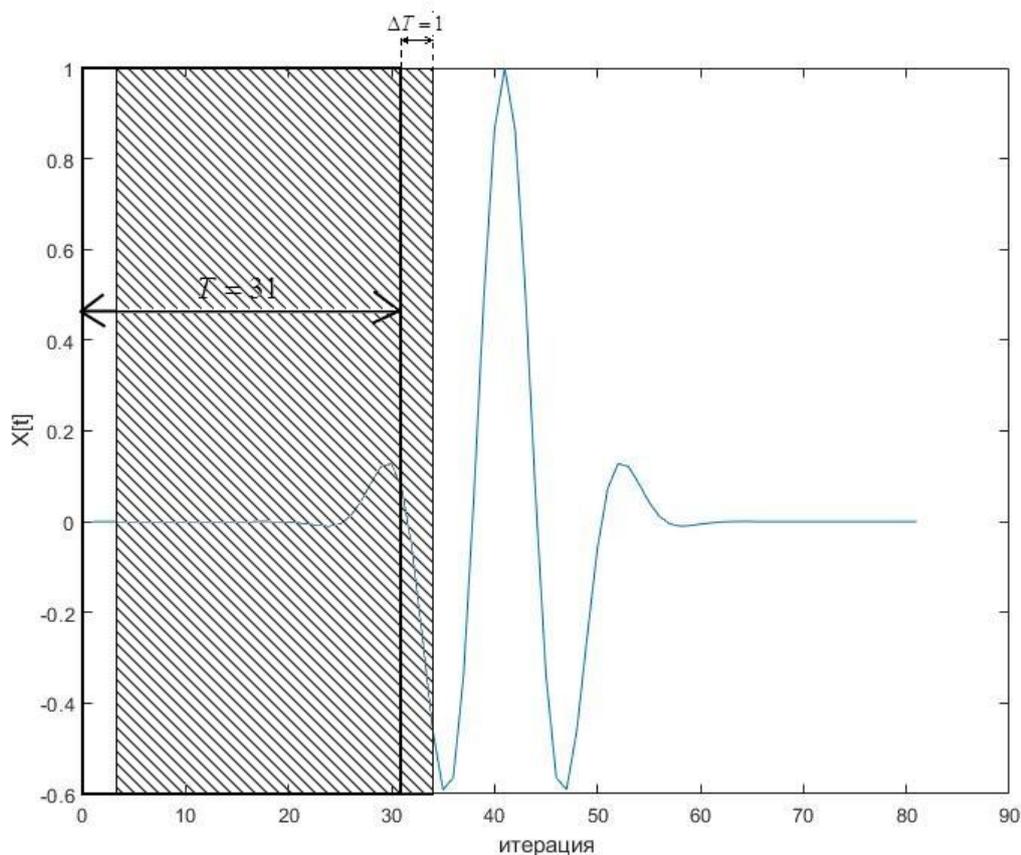


Рисунок 4 – Скользящее окно анализа

Как видно из рисунка, поиск мгновенной фазочастотной характеристики происходит с помощью «скользящего» интегрирования, при этом, необходимо чтобы постоянную длительность T , имел интервал интегрирования на протяжении всей длительности сигнала.

Отсюда следует, что алгоритм фазочастотного прослеживания реализуется в последовательности действий, направленных на получение значения функции правдоподобия (2.2.1) для всех дискретных точек профиля наблюдения. Вместе с тем, определять временное положение сигналов, которые необходимы для прослеживания отражающих границ на временных разрезах, будут положения максимумов функции правдоподобия.

Таким образом, проведенные выше рассуждения, позволяют перейти непосредственно к построению алгоритмов.

2.2.1 Алгоритм определения временного положения сейсмических сигналов на основе метода фазочастотного прослеживания с равновесной обработкой

Обратимся к выражению (2.2.1) из которого следует, что для построения алгоритма фазочастотного прослеживания с равновесной обработкой необходимо принять весовую функцию, равную единичной функции и выполнить следующие действия:

- 1) определить в какой части сигнала сосредоточена его основная энергия и исходя из этого задать размер окна анализа;
- 2) на сейсмической трассе задать окну анализа его начальное положение;
- 3) принять весовую функцию $W(k)$ равной единице во всей полосе частот;
- 4) произвести вычисление фазочастотной характеристики необходимого участка сейсмотрассы в заданном окне анализа;
- 5) взять косинус угла от полученных в предыдущем пункте отклонений;
- 6) фазовые спектры, которые подверглись преобразованию необходимо просуммировать, получив тем самым значение функции правдоподобия (2.2.5) для конкретного τ ;
- 7) выполнять перемещение окна анализа по сейсмической трассе, повторяя операции из пунктов 4 – 6 до тех пор, пока весь анализируемый участок не будет прослежен.

Как это отмечалось ранее, интервал на котором осуществляется прослеживание, определяется длительностью сигнала в области отражений, исходя из этого начальное положение анализирующего окна определить не составит труда. Все же, вместе с этим, для обеспечения лучшей точности получаемой оценки временного положения сигнала, шаг с которым перемещается по трассе окно анализа, необходимо сделать равным шагу дискретизации сейсмической трассы, $\Delta T = 1$.

Теперь с учетом изложенного, структура алгоритма прослеживания с равновесной обработкой имеет вид, представленный на (рис.5).

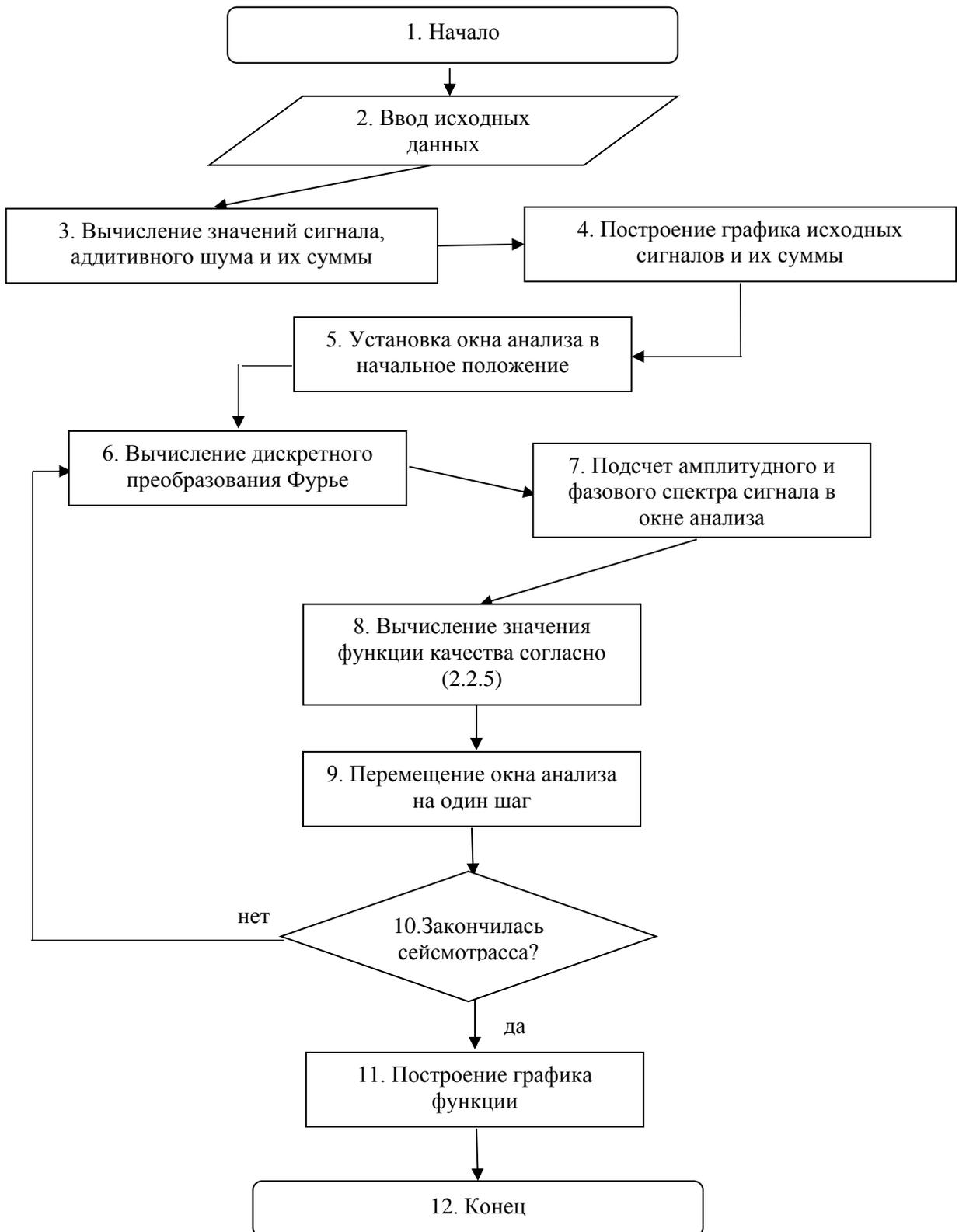
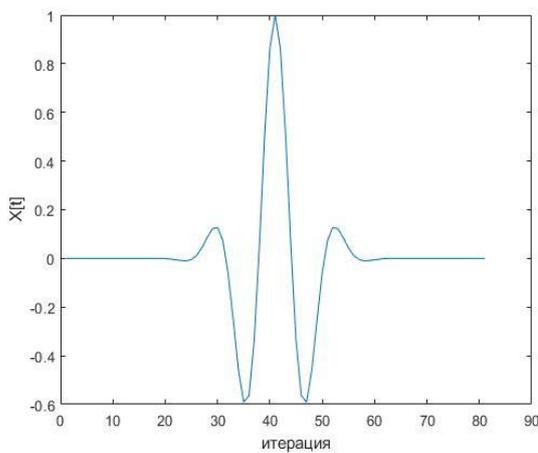
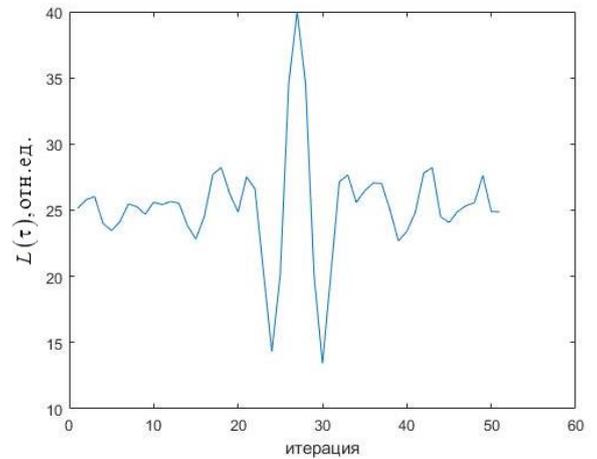


Рисунок 5 – Структурная схема алгоритма ФЧП с равновесной обработкой

Для проверки работоспособности полученного алгоритма, произведено его тестирование на выбранной модели сейсмической трассы (1.2.3) с одним импульсом (рис.6, а), результаты выполненного алгоритма прослеживания показаны на (рис.6, б).



а)



б)

Рисунок 6 – Тестирование алгоритма фазочастотного прослеживания с равновесной обработкой

Из сравнения рисунков (6, а) и (6, б) следует, что функция правдоподобия подобна самому импульсу, а положение максимума этой функции четко соответствует максимуму сигнала. При этом, как видно из рисунков, после фазочастотного прослеживания сигнал сжимается по времени, что очень важно при прослеживании волн в зонах их интерференции. Таким образом, проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод о том, что алгоритм прослеживания обеспечивает достаточно высокую точность получаемой оценки временного положения сигнала.

2.2.2 Алгоритм определения временного положения сейсмических сигналов на основе метода фазочастотного прослеживания с неравновесной обработкой

В условиях алгоритма с неравновесной обработкой весовая функция $W(k)$, может быть задана в различных формах: экспоненциальной, синусоидальной, треугольной. В ходе проведения исследований [33], их результаты будут представлены ниже, выяснилось, что всеми нужными параметрами для увеличения разрешения сигналов обладают весовые функции треугольного вида, в следствии чего эти функции использовались при разработке данных алгоритмов. Так, при дальнейших исследованиях $W(k)$ задавалась в виде треугольной функции:

$$W(k) = \frac{125}{2\omega_c^2} \begin{cases} 0, & \omega \leq \omega_H \\ \frac{1}{28}(\omega - \omega_H), & \omega_H < \omega \leq \omega_C \\ -\frac{1}{4\omega_C}(\omega - \omega_B), & \omega_C < \omega \leq \omega_B \end{cases} \quad (2.2.2.1)$$

где ω_B и ω_H – соответственно верхние и нижние частоты, ω_C – частота максимума.

Тогда для построения алгоритма фазочастотного прослеживания с неравновесной обработкой необходимо:

- 1) определить в какой части сигнала сосредоточена его основная энергия и задать размер окна анализа;
- 2) на сейсмической трассе задать окну анализа его начальное положение;
- 3) вычислить значения весовых коэффициентов для заданного диапазона частот, ориентируясь на предварительно выбранную форму весовой функции;
- 4) произвести вычисление фазочастотной характеристики необходимого участка сейсмотрассы в заданном окне анализа;
- 5) взять косинус угла от полученных в предыдущем пункте отклонений;

- 6) произвести взвешивания преобразованных отклонений;
- 7) найти произведение полученных отклонений и весовых коэффициентов, тем самым произвести их взвешивание;
- 8) фазовые спектры, которые подверглись преобразованию необходимо просуммировать, получив тем самым значение функции правдоподобия (2.2.5) для конкретного τ ;
- 9) итерационно выполнять перемещение окна анализа по сейсмической трассе, повторяя операции из пунктов 4 – 7, до окончания анализируемого участка.

Структура алгоритма прослеживания с неравновесной обработкой имеет вид, представленный на рис.7.

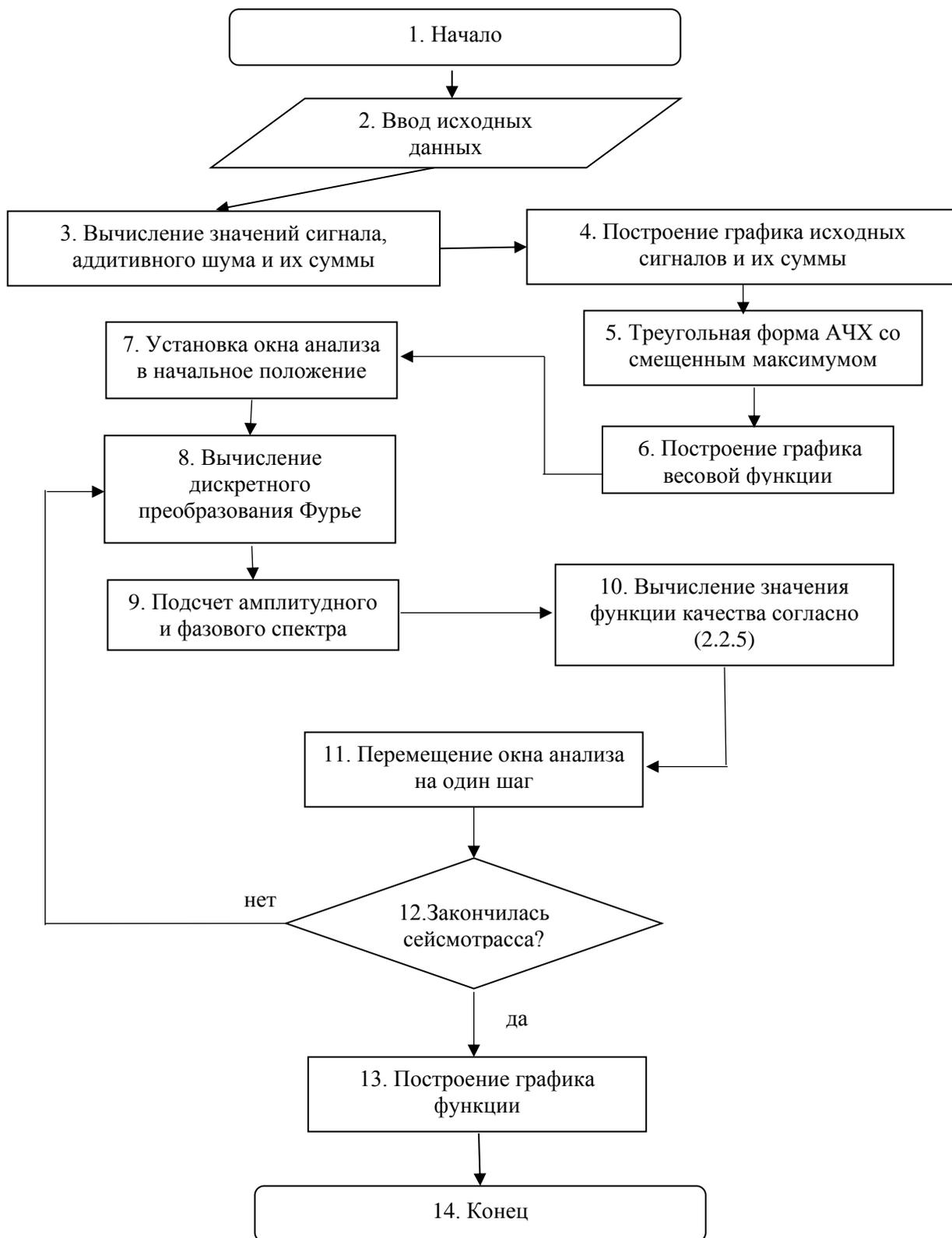


Рисунок 7 – Структурная схема алгоритма фазочастотного прослеживания с неравновесной обработкой

Для проверки работоспособности алгоритма с неравновесной обработкой, произведено его тестирование на выбранной модели сейсмической трассы (1.2.3) с одним импульсом (рис.8, а), треугольная весовая функция со смещенным максимумом представлена на (рис.8, в), результаты выполненного алгоритма прослеживания показаны на (рис.8, б).

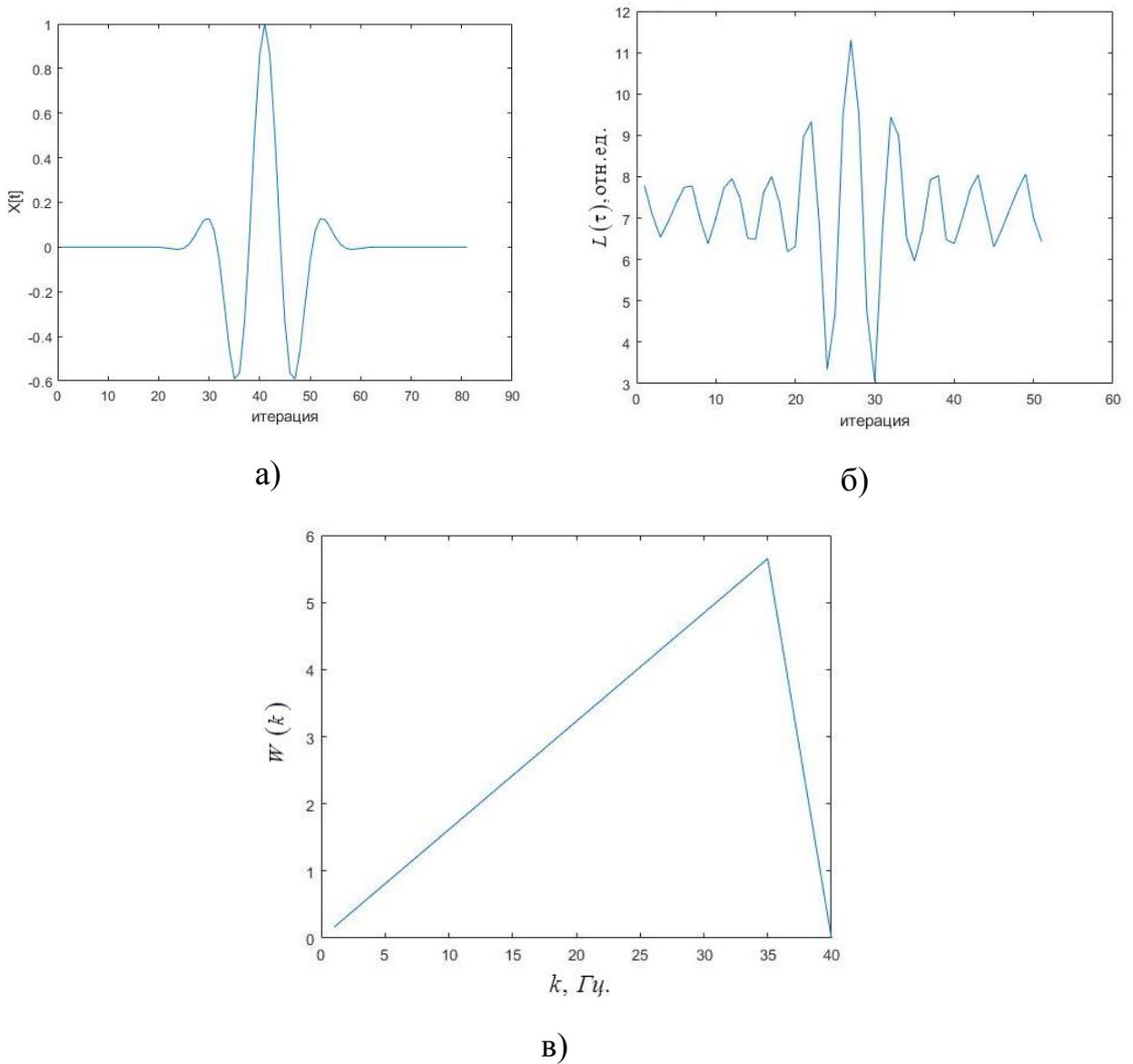


Рисунок 8 – Тестирование алгоритма фазочастотного прослеживания с неравновесной обработкой

Следует сказать, что основополагающим принципом алгоритмов с неравновесной и равновесной обработкой являются импульсы однократно - отраженных волн, а если точнее их стационарные фазовые спектры. Суть данного свойства заключается в том, что при совмещении центра окна анализа и

начала отсчета фазовые спектры сейсмоимпульсов становятся константами, т.е. значение, никак не зависящее от частоты [36].

Проанализируем полученную в процессе прослеживания картину. В первую очередь стоит отметить, что в процессе прослеживания сейсмического сигнала, произошло его сжатие, а это значит разрешение сигналов на записи можно увеличить. Также плюсом реализации неравновесного алгоритма является наличие весовой функции, т.е. частотной характеристикой можно управлять путем изменения весовых коэффициентов, для усиления или же наоборот ослабления частотных компонент сигнала.

3 Исследования разработанных алгоритмов на моделях волновых сейсмических полей

Предварительно остановимся на выборе программной среды, в которой далее будут реализованы разработанные алгоритмы.

3.1 Выбор программной среды

Для реализации алгоритма был выбран математический пакет MATLAB версии R2018b. Выбор именно среды разработки для реализации предложенного алгоритма сегментации обусловлен тем, что MATLAB сочетает в себе полноценный язык программирования, позволяющий реализовать любые алгоритмически сложные конструкции, а также включает в себя множество различных библиотек и функций для работы с медицинскими изображениями.

MATLAB (Matrix Laboratory) — пакет прикладных программ, предназначенных для решения инженерных задач, математического и статистического моделирования, технических вычислений. MATLAB также включает в себя одноимённый язык программирования, который является ключевой составляющей этого пакета. Концепции языка MATLAB были сформулированы и реализованы деканом факультета компьютерных наук Кливом Моулером в конце семидесятых годов прошлого века в университете Нью-Мексико. Целью разработки было дать студентам университета возможность использовать программные библиотеки LINPACK и EISPACK без надобности освоения синтаксиса и особенностей языка FORTRAN. Ядро MATLAB позволяет максимально просто и быстро работать с матрицами реальных, комплексных и аналитических типов данных и со структурами данных и таблицами поиска.

Особенностью матричных операций является возможность использовать срезы, а также индексировать матрицы массивами индексов. MATLAB предоставляет синтаксические и функциональные возможности для работы в парадигме ООП. Также есть все необходимые операторы и синтаксические конструкции для быстрого написания сложных ветвящихся и циклических алгоритмов. Среда разработки содержит все необходимые инструменты для

эффективного поиска и устранения ошибок в коде, включая средства отладки и профайлинга.

Язык пакета является интерпретируемым, по этой причине скорость выполнения программного кода в этой среде разработки гораздо ниже чем в компилируемых языках программирования, таких как C++. Однако, неоспоримым преимуществом MATLAB перед C++ является независимость от платформы на которой запускается код. Главное условие запуска пакета MATLAB и его интерпретатора есть наличие JVM (Java Virtual Machine).

Возможности визуализации математических данных также является большим преимуществом использования MATLAB. Стандартные библиотеки данного математического пакета содержат множество функций необходимых для построения различного рода графиков и диаграмм, включая трехмерные [31].

MATLAB включает в себя достаточно обширную библиотеку визуальных компонентов, что позволяет быстро и эффективно разрабатывать пользовательские интерфейсы, которые в последствии могут быть преобразованы в самостоятельный программный продукт.

3.2 Построение математической модели волнового сейсмического поля

Для построения математической модели волнового сейсмического поля, в основном m – файле задаются основные коэффициенты для выражения (1.2.3), такие как A_i – амплитуды волн, M – число полезных импульсов, нормированная форма полезной волны задается в виде импульса с колокольной огибающей (1.2.4). Для импульса также задаются необходимые параметры: β – коэффициент затухания, ω_0 – начальная частота; φ – начальная фаза, временной промежуток и шаг дискретизации по времени. Далее к полученному выражению необходимо прибавить $N(t)$ – шум с нормальным законом распределения ($M[x] = 0$).

Также для получения области интерференции волн (1.2.4) осуществляется временной сдвиг импульса, и окончательная модель импульса находится суммированием обычного и сдвинутого импульса.

3.3 Программная реализация разработанных алгоритмов в математическом пакете «Matlab»

В математическом пакете MATLAB написана программа, реализующая алгоритмы фазочастотного прослеживания сейсмических волн.

Программа состоит из двух основных *m* – файлов, реализующих соответственно алгоритм с равновесной и неравновесной обработкой, а также файла – функции, в котором задается весовая функция алгоритма с неравновесной обработкой. Листинги программы представлены в Приложении Б.

Для примера рассмотрена реализация алгоритма с неравновесной обработкой (Листинг 3, Приложение Б), поскольку алгоритм с равновесной обработкой отличается только отсутствием процедуры взвешивания компонентов (весовая функция в нем на всем промежутке равна 1).

На вход алгоритма поступает массив данных, который описывает волновое сейсмическое поле, задается размер окна анализа ($T = 31$). Далее задается промежуток анализируемым частотных компонент ($K = 20 - 60$ Гц.) и шаг дискретизации по частоте (1 Гц.).

Далее в окне анализа, с помощью дискретного преобразования Фурье, путем умножения весовых коэффициентов (Листинг 2, Приложение Б) находится значение функции правдоподобия $L(k)$. Окно анализа сдвигается на один шаг, и выполняются те же действия пока окно анализа не достигнет конца сейсмотрассы. Временное положение волны определяется максимумом функции правдоподобия.

3.4 Исследования алгоритмов при наличии аддитивных Гауссовых помех

Произведено тестирование разработанных алгоритмов, а именно процедура поиска максимума функции правдоподобия при наличии аддитивных Гауссовых помех. Под помехами понимаем шум с нормальным законом распределения ($M[x]=0$, δ_x – переменная). График исходного сигнала и смеси импульса с шумом представлен на (рис.9).

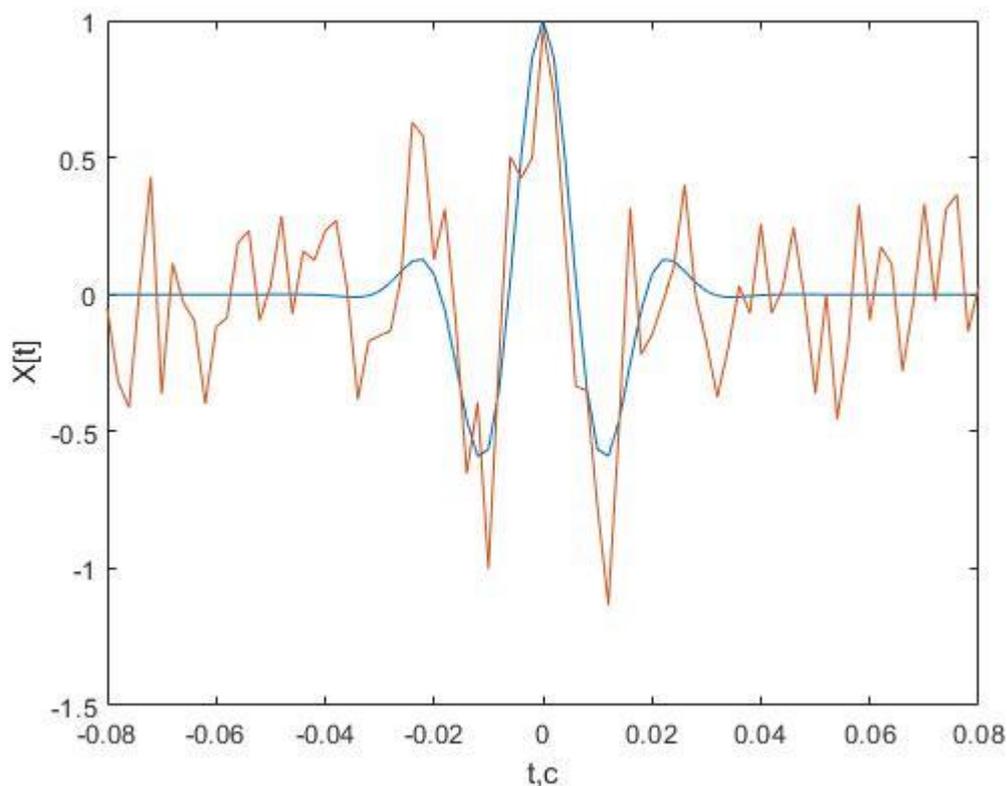


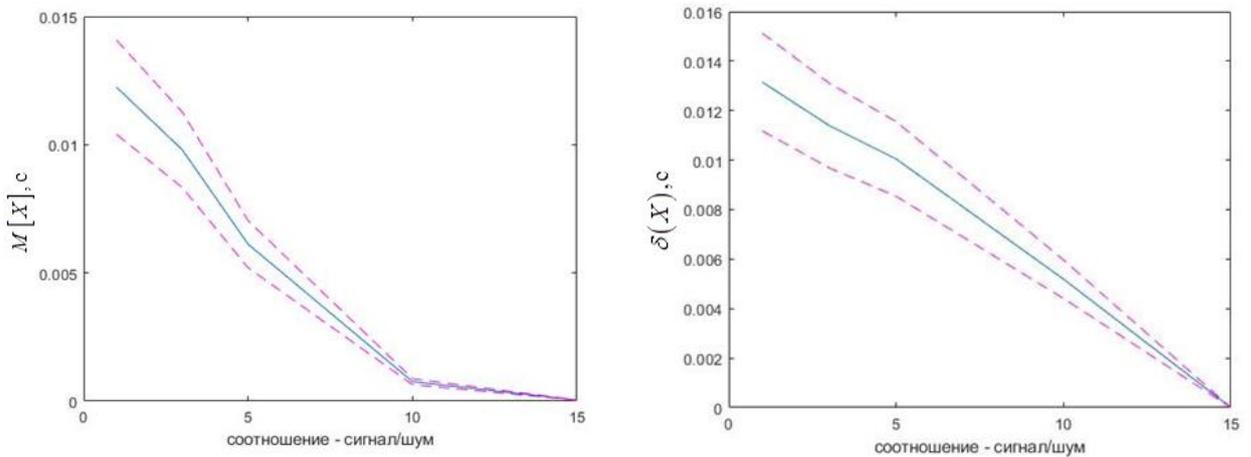
Рисунок 9 – график сигнала и смеси сигнала с шумом

Процедура исследования включает в себя:

- 1) поиск координаты максимума сейсмического сигнала, прошедшего через алгоритм ФЧП;
- 2) поиск координаты максимума, прошедшей через алгоритм ФЧП смеси сигнала и шума;
- 3) поиск разницы между максимумами, найденными в предыдущих пунктах;
- 4) поскольку значения шума абсолютно случайны, значения шума задается 100 раз, выполняется поиск разницы со значением, полученным в пункте 1 и заносится в отдельный массив;
- 5) в полученном массиве (пункт 4) выполняется поиск математического ожидания и дисперсии распределения величин;
- 6) изменяется значение показателя отношения сигнала к шуму, затем заново проделываются пункты 2 – 5

Произведено исследование алгоритмов на точность определения максимума функции правдоподобия (точность прослеживания). Математическое

ожидание зависимости отклонений максимумов функции правдоподобия от соотношения сигнала к шуму равновесного алгоритма представлено на (рис.10, а), среднеквадратическое отклонение на (рис.10, б) $\delta(X), c$

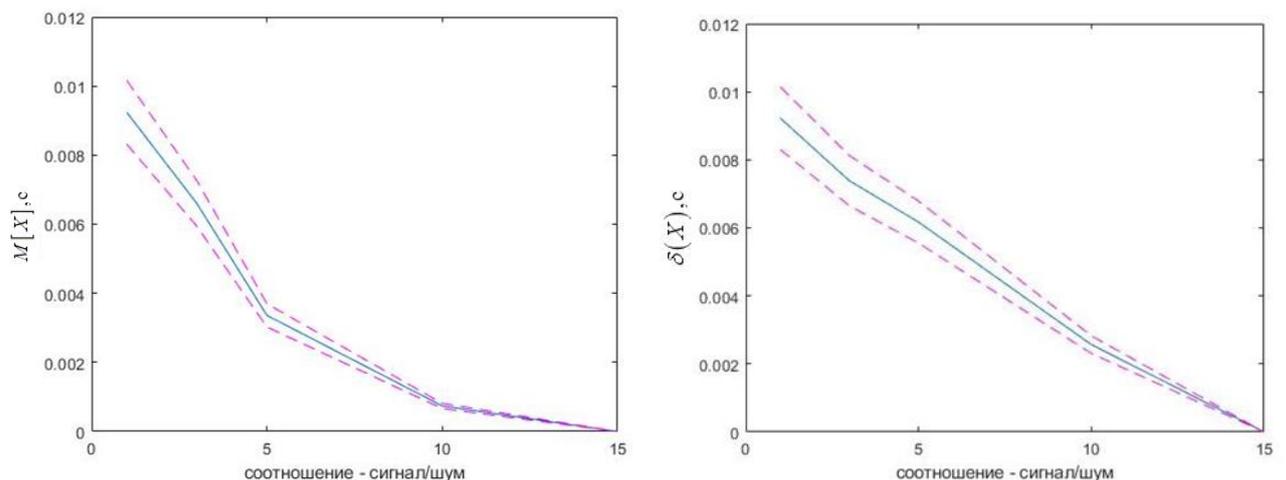


а)

б)

Рисунок 10 – Результаты исследования алгоритма ФЧП с равновесной обработкой с доверительной вероятностью $\varepsilon = 0,95$

Также математическое ожидание зависимости отклонений максимумов от соотношения сигнала к шуму алгоритма с неравновесной обработкой представлено на (рис.11, а), среднеквадратическое отклонение на (рис.11, б).



а)

б)

Рисунок 11 – Результаты исследования алгоритма ФЧП с неравновесной обработкой с доверительной вероятностью $\varepsilon = 0,95$

Проанализировав полученные результаты можно сделать вывод о обеспечении достаточно высокой точности определения временного положения

сигнала при условии как низких коэффициентов отношения сигнала к шуму, так и высоких. Также нужно отметить преимущество алгоритма неравновесной обработки, который выполняет прослеживание лучше в условиях, когда отношение сигнал/шум близко к единице.

3.4 Исследования разрешающей способности алгоритмов в зонах интерференции сейсмических волн

Проанализировав выражение (2.2.1) можно также показать определенную аналогию между процедурой оценки временного положения сигналов в принятых алгоритмах прослеживания и их низкочастотной фильтрацией, а именно выражение функции правдоподобия (2.2.1) является обратным дискретным преобразованием Фурье от результата фильтрации исходного процесса цифровым фильтром с частотной характеристикой вида [33]:

$$H(\omega_k) = \frac{w(\omega_k)}{|X(k)|}, \quad k = \overline{1, m}, \quad (3.4.1)$$

где $|X(k)|$ – амплитудно – частотная характеристика сигнала.

Рассмотрим влияние действия фильтра. Прежде всего, отметим, что данный фильтр сначала выравнивает амплитудный спектр исследуемого колебания, а затем взвешивает его с помощью заданных весовых коэффициентов. При этом фазовые соотношения в исходной записи не изменяются. Известно [34], 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 такого фильтра, с помощью задания весовых коэффициентов можно управлять его частотной характеристикой, тем самым, усиливая или ослабляя различные частотные составляющие сигнала. Поэтому рассмотрим разрешающую способность алгоритмов.

Для оценки разрешающей способности предложенных фазочастотных алгоритмов проведено их исследование на синтезированных моделях сейсмического волнового поля. Модель задавалась в форме:

$$s_{\Sigma}^k(t) = s\left(t - t_0 + \frac{\Delta T_k}{2}\right) + s\left(t - t_0 - \frac{\Delta T_k}{2}\right). \quad (3.4.2)$$

Здесь k – номер сейсмотрассы; $t_0 = 0,1$ с; ΔT_k – временной интервал между импульсами, мс. Каждый из импульсов $s(t)$ является сигналом с колоколообразной огибающей.

Исследование разрешающей способности алгоритмов фазочастотного прослеживания (ФЧП) проводилось следующим образом. Выбирались параметры прослеживания, при которых разрешение являлось наилучшим. Далее непосредственно осуществлялось ФЧП. Полученное двумерное изображение исследовалось с целью определения трассы с минимальным номером, на которой сигналы еще разрешались (имеется два явно выраженных экстремума, соответствующих теоретическому местоположению интерферируемых сигналов). Номер данной трассы, равный временному сдвигу между сигналами, выраженному в мс, соответствует предельному разрешению сигналов при прослеживании волн для исследуемого алгоритма.

На (рис. 12, *а*) в качестве примера показана модель волнового поля и функции прослеживания для алгоритмов ФЧП с равновесной (рис. 12, *б*) и неравновесной обработкой (рис. 12, *в*) для трассы, которая в данном случае определяет предельное разрешение сигналов.

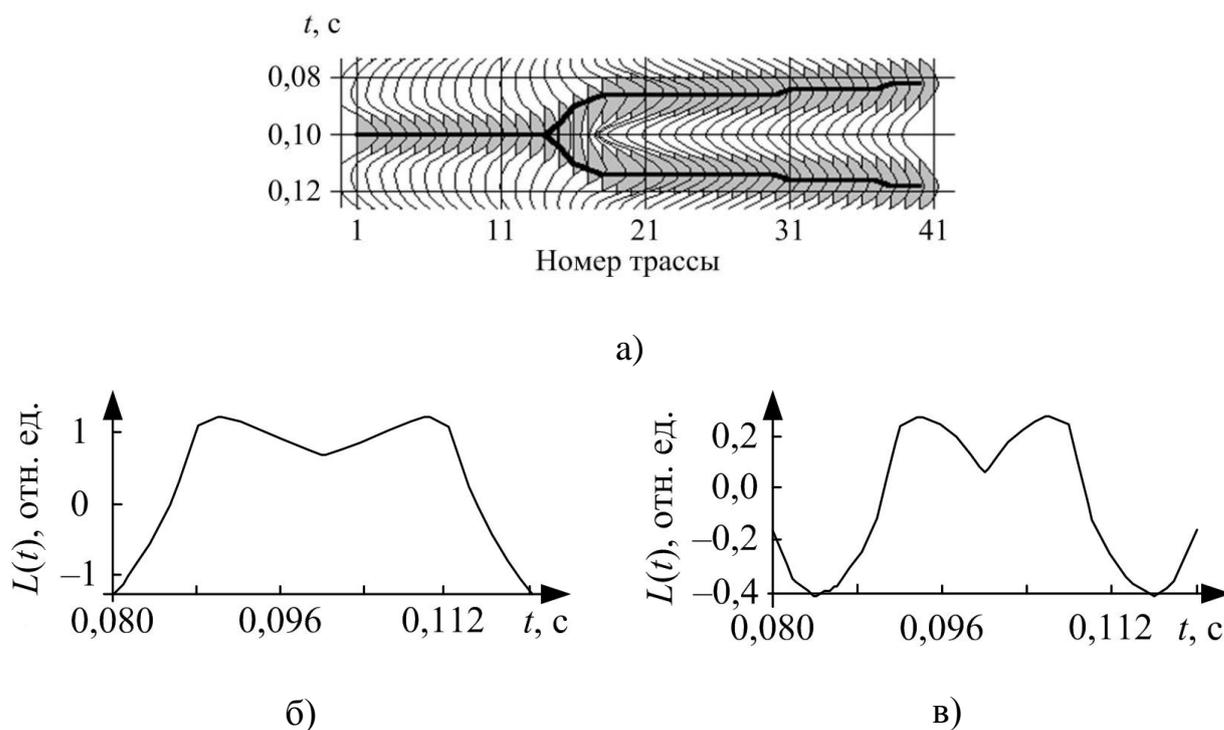
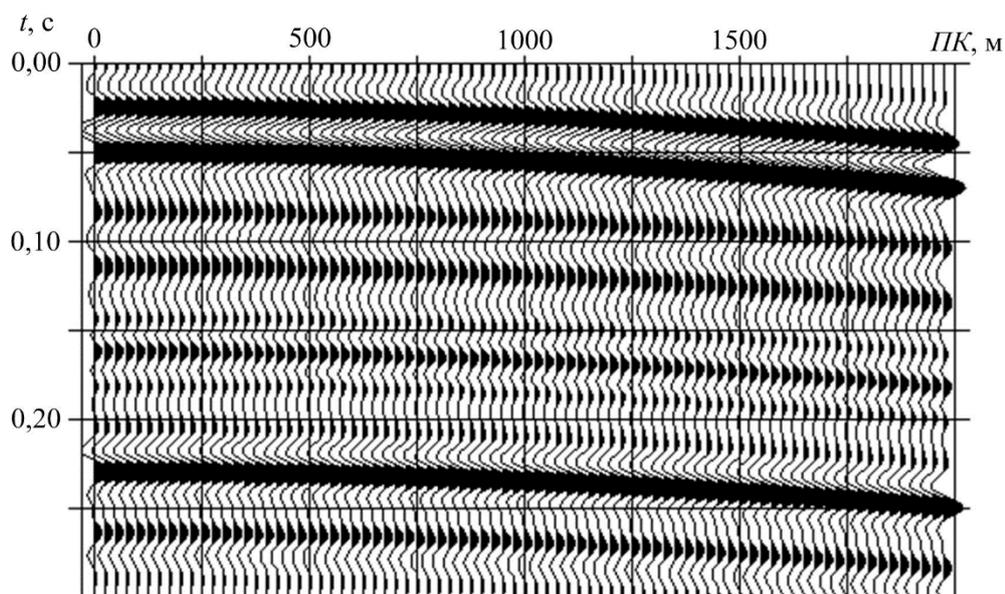


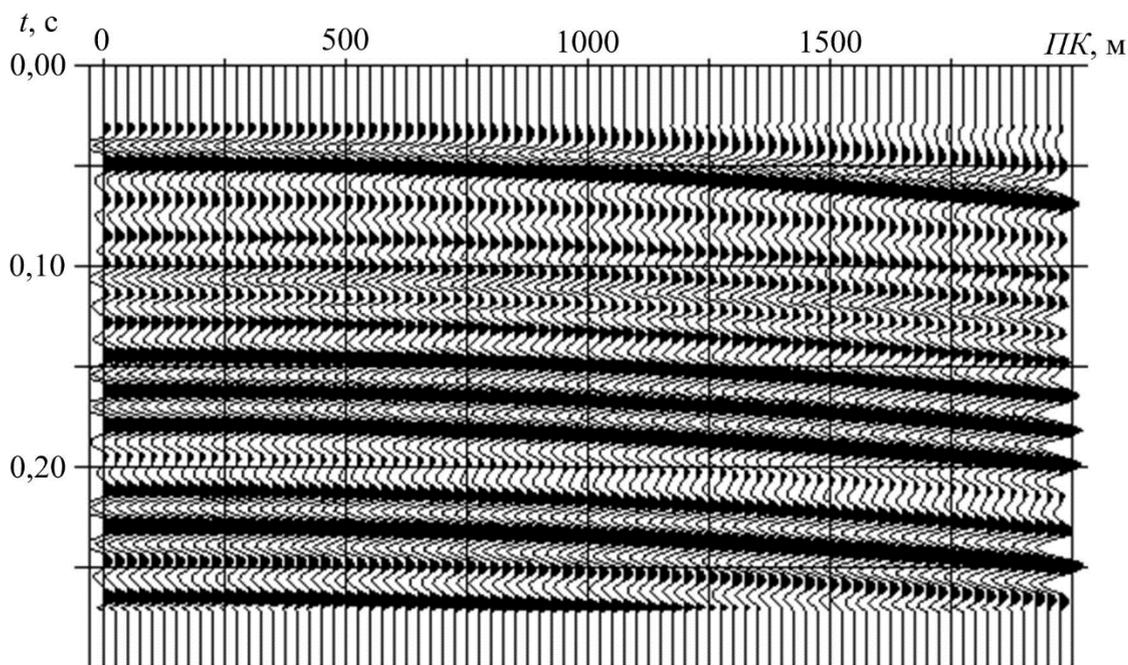
Рисунок 12 – Пример, иллюстрирующий разрешающую способность методов ФЧП. Модель волнового поля (а). Функция прослеживания для алгоритмов ФЧП с равновесной обработкой с разрешением 16 мс (б) и с неравновесной обработкой с разрешением 11 мс (в). Длительность окна прослеживания 40 мс; полоса частот 20...60 Гц

Приведенный пример показывает высокую разрешающую способность фазочастотных алгоритмов. Это позволяет говорить о возможности определения временного местоположения отражающих границ при ФЧП с высокой точностью.

На (рис. 13, а) приведена модель сейсмограммы, а на (рис. 13, б)– результат ФЧП (алгоритм с неравновесной обработкой), когда интерференционная картина складывается из 14 волн. Каждая волна состоит из совокупности импульсов с колоколообразной огибающей, основная частота которых $f_0 = 34$ Гц, а коэффициент затухания $\beta = 51$.



а)



б)

Рисунок 13 – ФЧП сигналов на модели сейсмограммы (алгоритм с неравновесной обработкой). Модель волнового поля (сигнал – импульс с колоколообразной огибающей; $f_0 = 34$ Гц, $\beta = 51$) (а). Результат прослеживания (б). Длительность окна прослеживания 40 мс; центральная частота весовой функции $f_c = 70$ Гц

Первая трасса модели сейсмограммы изображена на (рис. 14, а). Видно, что в полученной интерференционной картине не удается выделить все

действительно присутствующие в модели волны. Результаты ФЧП для данной трассы приведены на (рис. 14, б), где уже явно все волны идентифицированы.

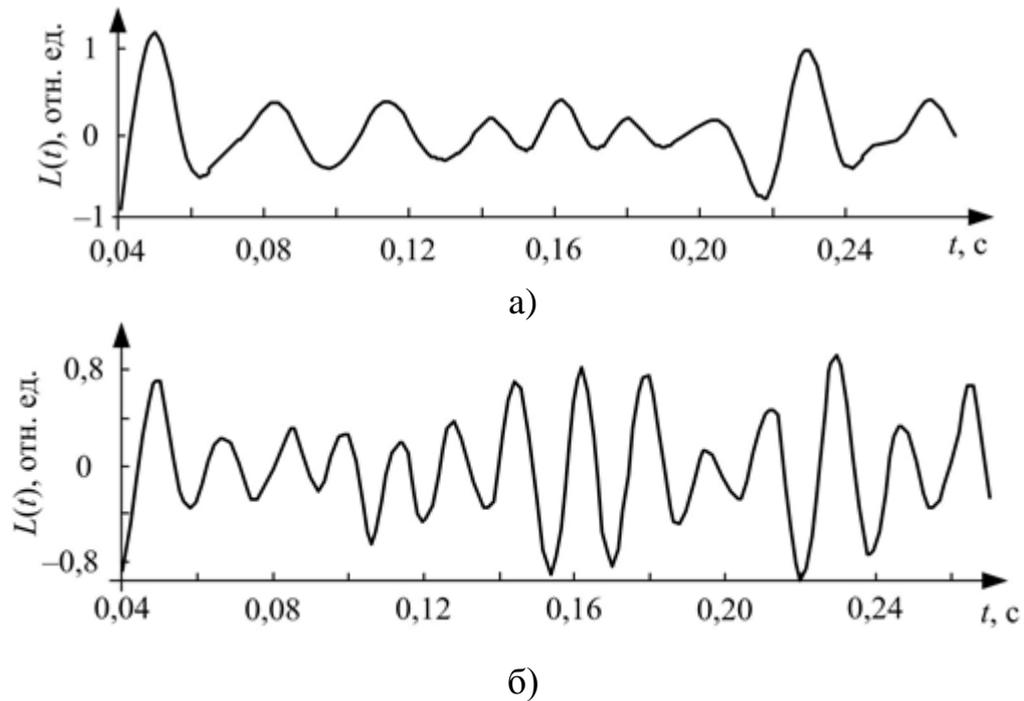


Рисунок 14 – ФЧП сигналов на модели сейсмотрассы. Модель волнового поля (а). Функция прослеживания (б)

Количественные результаты исследования разрешающей способности алгоритма ФЧП с неравновесной обработкой при различной длительности окна прослеживания T приведены на диаграмме (рис. 15).

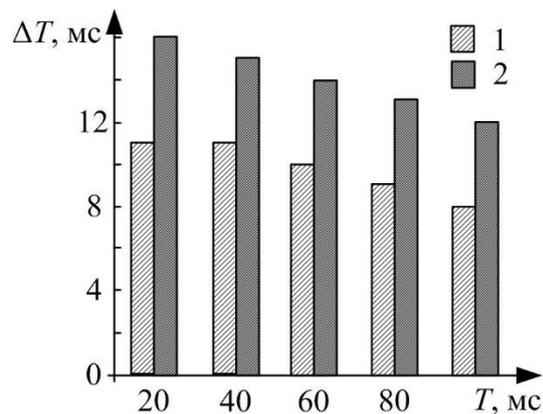


Рисунок 15 – Разрешающая способность алгоритма с неравновесной обработкой для сигналов с частотами: 1) 24; 2) 34 Гц.

Из анализа диаграммы следует, что методы ФЧП сигналов с неравновесной обработкой позволяют разрешать сигналы, сдвинутые друг относительно друга не более чем на треть видимого периода. Такое разрешение дает возможность на

практике получать надежные оценки кинематических параметров сейсмических сигналов при исследовании тонкослоистых сред.

4 Результаты опробования разработанных алгоритмов на реальных данных

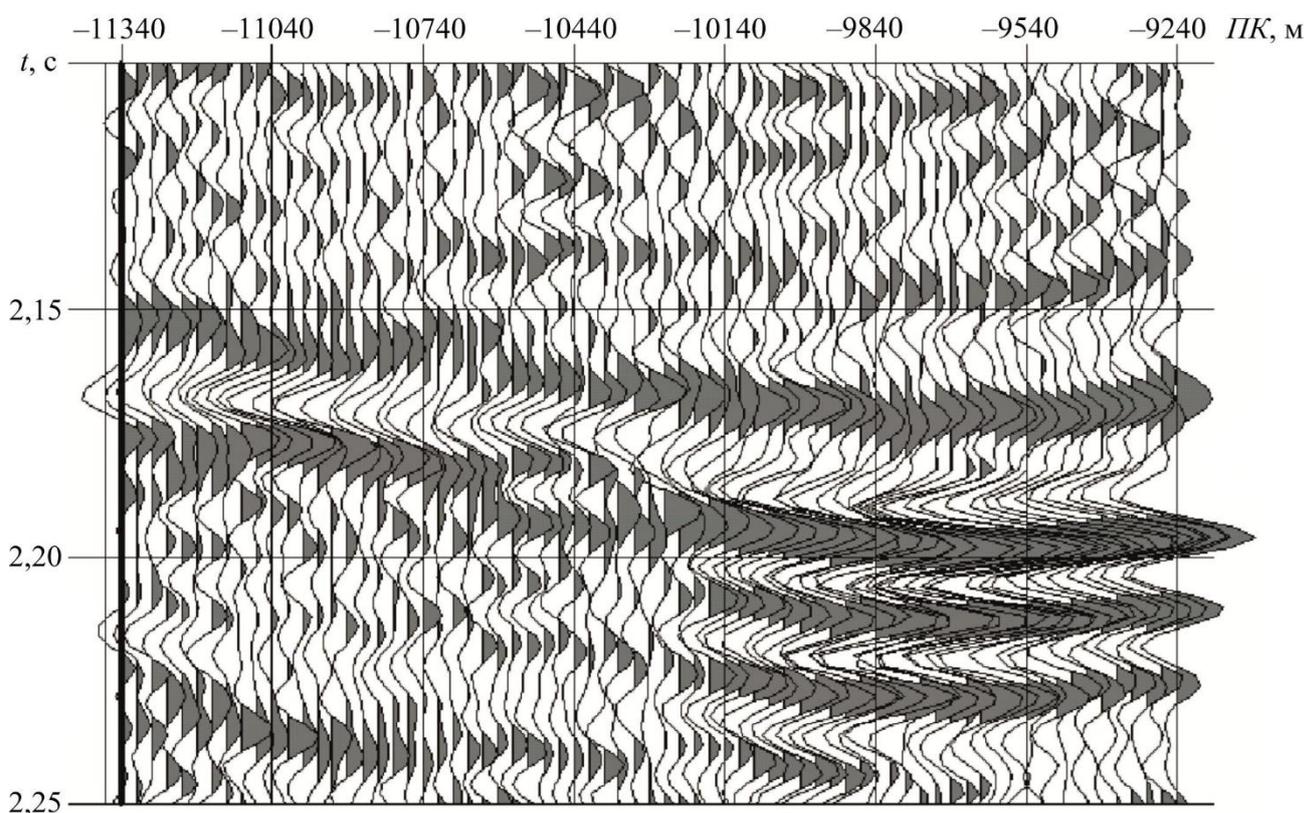
Разработанные алгоритмы были использованы для анализа небольших фрагментов волновых полей Крапивинского месторождения Томской области.

4.1 Описание исходного волнового поля

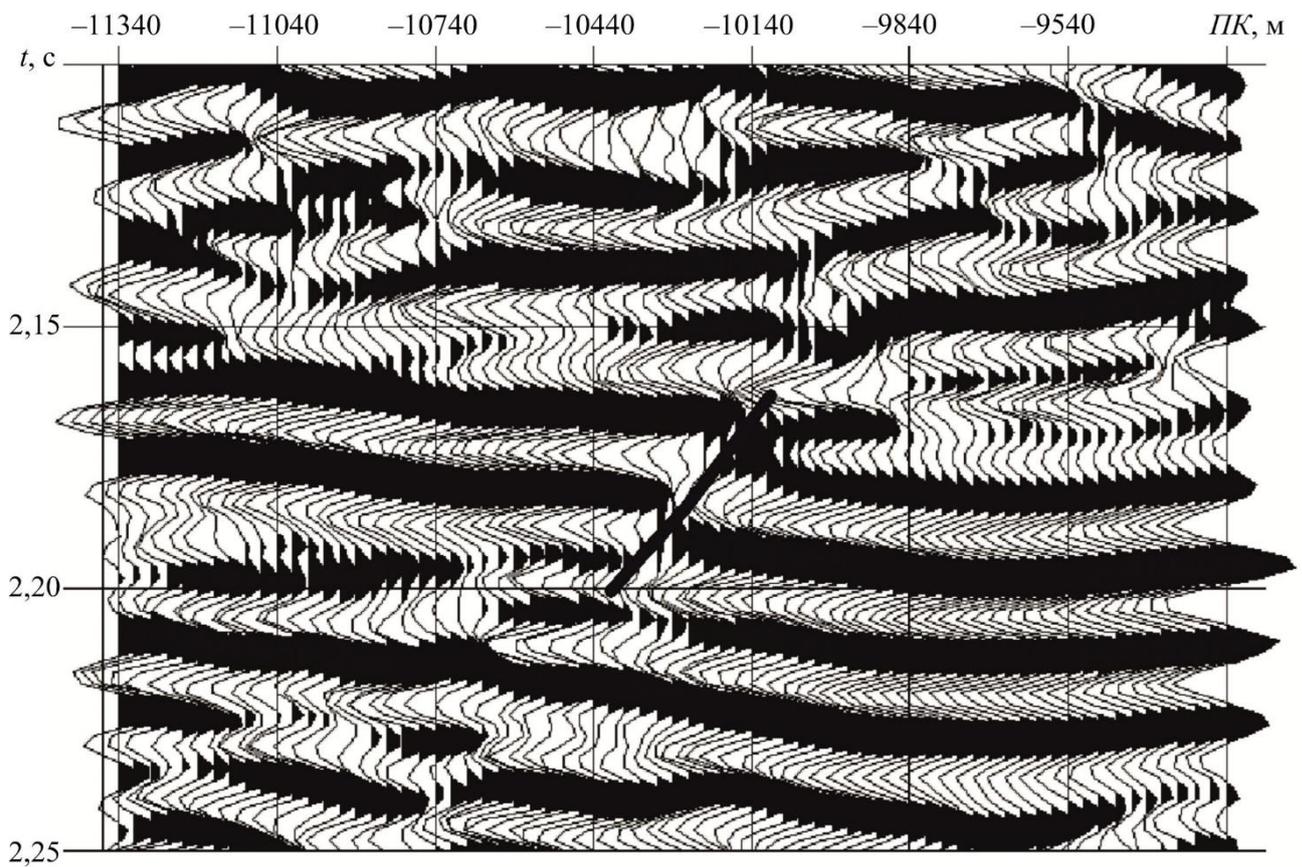
В качестве исходного волнового поля были выбраны два фрагмента разрезов общей глубинной точки (ОГТ), приуроченные к сейсмическим материалам Крапивинского месторождения. Эти разрезы были получены в результате проведенного комплекса стандартной обработки, включающего все необходимые этапы: расчет и коррекция статики и кинематики, фильтрации, суммирования и т.д.

4.2 Результаты фазочастотного прослеживания

На (рис. 16) приведены фрагменты разреза (Крапивинское месторождение, Томская обл.) после стандартной обработки (рис. 16, а) и ФЧП (рис. 16, б).



а)

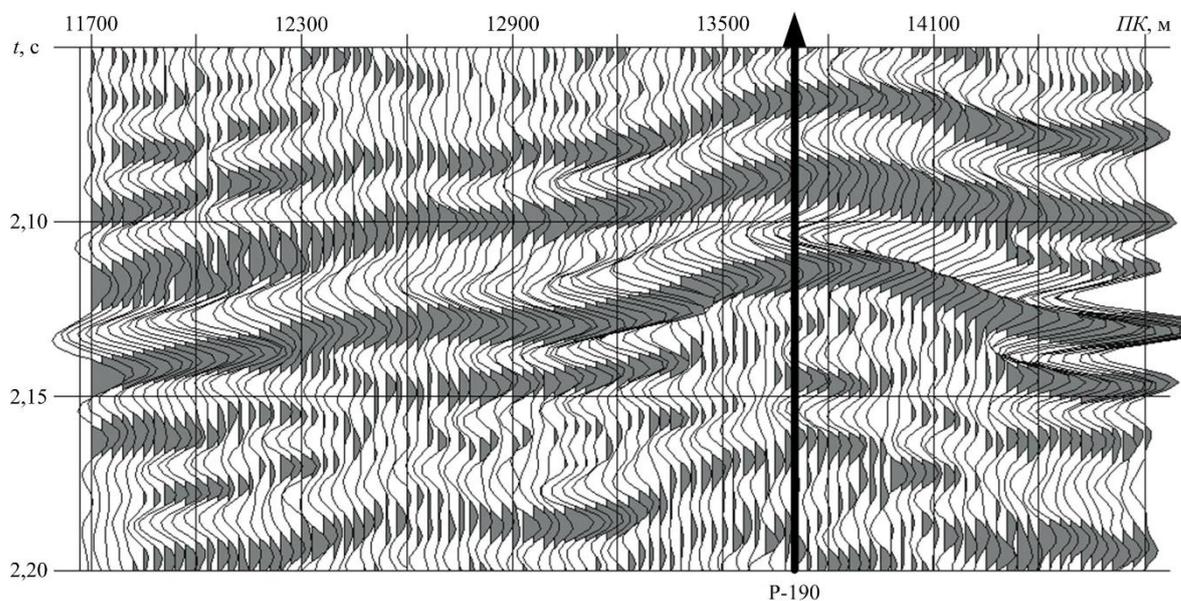


б)

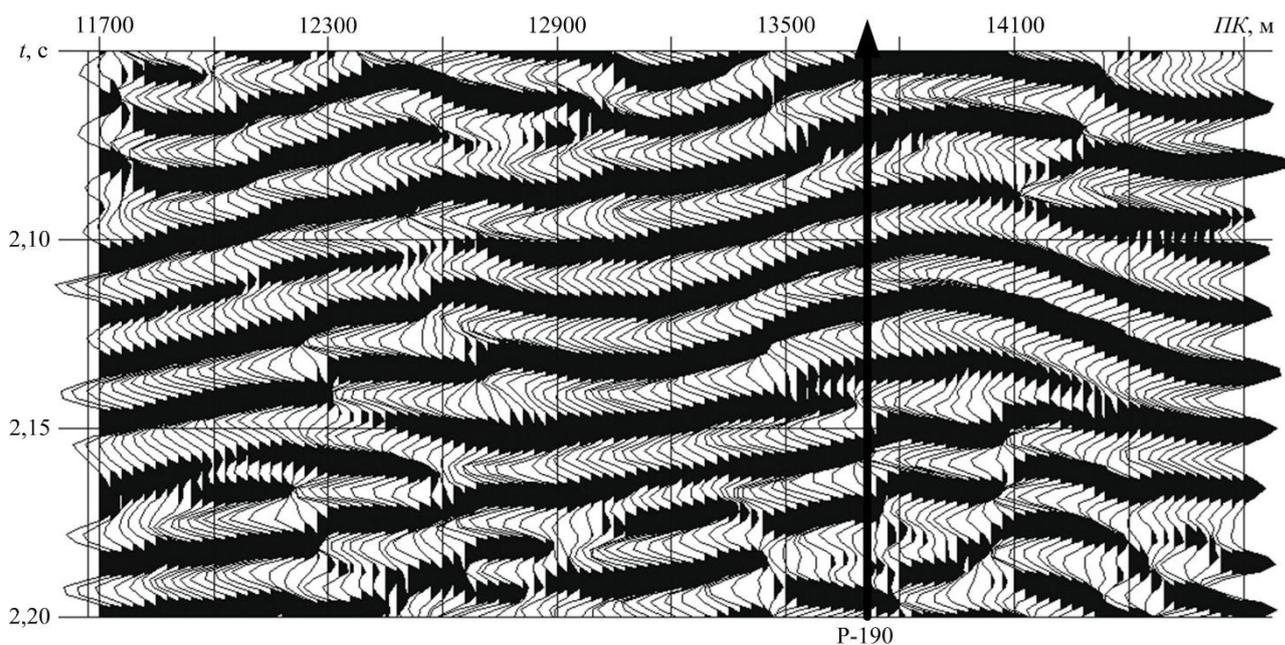
Рисунок 16 – Фрагменты разреза после стандартной обработки (а) и ФЧП (б)

Из рисунка видно, что в результате проведения ФЧП удалось выделить амплитудно-выраженный сброс, которого на фрагменте разреза после стандартной обработки не наблюдается.

Еще более убедительный пример приведен на (рис. 17).



а)



б)

Рисунок 17 – Фрагменты разреза в области скважины P-190 после стандартной обработки (а) и ФЧП (б)

В результате ФЧП удалось не только выделить двухступенчатое нарушение, но и увидеть зону предполагаемого водонасыщенного коллектора.

Таким образом, даже небольшие исследования на реальных данных, говорят о перспективности практического использования разработанных алгоритмов.

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

Студенту:

Группа	ФИО
8БМ71	Кураксину Александру Юрьевичу

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение школы (НОЦ)	Информационных технологий
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	01.04.02 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>	– Зарплата (руководителя 11926 руб, магистра 75094 руб.) – Бюджет затрат НИИ 180098,5 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Тариф на электроэнергию – 5.8 руб. за 1 кВт·ч
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	– Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 27.1 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ</i>	– Сравнение с другими схожими материалами
2. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет</i>	– Иерархическая структура работ; – SWOT-анализ; – определение трудоемкости работ.
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Бюджет научно-технического исследования: – расчет материальных затрат; – расчет основной платы исполнителей темы; – накладные расходы; – формирование бюджета затрат.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. График проведения и бюджет НИИ
3. Альтернативы проведения НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ71	Кураксин Александр Юрьевич		

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка потенциала разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса. Таким образом была проведена оценка затрат, потенциала и академической привлекательности проводимого исследования.

5.1. Предпроектный анализ

При осуществлении любой проектной и научно - исследовательской деятельности большую роль играет экономическое обоснование работ. Понятие «экономическое обоснование работ» включает в себя: определение потенциальных потребителей и сегмента рынка, сравнительный анализ предлагаемого решения по отношению к конкурентам, определение себестоимости разработки. Себестоимость проекта содержит в себе следующие статьи затрат: основная и дополнительная заработная плата участников проекта, затраты на необходимое оборудование и его амортизацию и прочие накладные расходы. Таким образом, происходит формирование бюджета научно - исследовательского проекта, в соответствии с календарным.

Потенциальными потребителями результатов исследования могут быть любые геофизические отрасли, которые заинтересованы этими исследованиями. Разработанный программный инструментарий позволит проводить

статистические исследования свойств разрабатываемой методики выполнения геодезических расчетов.

5.1.1 Потенциальный потребитель результатов исследования

В результате анализа потенциальных потребителей результатов разработок рассмотрен целевой рынок и проведено его сегментирование. Определены основные критерии сегментирования.

Разрабатываемый алгоритм фазочастотного прослеживания позволяет обеспечить хранение и накопление результатов измерений при геодезических изысканиях. Система осуществляет реализацию ряда математических алгоритмов обработки геодезических данных. Графическое представление данных позволяет ускорить время принятия решений по проектированию геодезических работ.

Целевым рынком для разработанной информационной системы являются научно-исследовательские и промышленные организации, в которых проводятся геодезические изыскания и в которых актуальна математическая обработка результатов данных работ; организация функционирования системы накопления результатов изысканий и их обработки. Потенциальными потребителями результатов исследования являются маркшейдеры и геодезисты, которые занимаются нахождением координат искомым объектов съемки и решением других прикладных геодезических задач. При проектировании информационной системы сотрудники геодезической службы разделялись на следующих действующих лиц: специалисты, осуществляющие камеральные измерения; специалисты, проектирующие объекты съемки и планирующие геодезические работы; специалисты-расчетчики, выполняющие математическую обработку данных и администраторы системы, поддерживающие и контролирующие оптимальное функционирование информационной системы.

В данный момент на рынке программного обеспечения по решению геодезических задач представлен ряд программ. Одни из них решают узконаправленные задачи, другие являются универсальными геосистемами. В данном разделе рассматривались чешский открытый проект GNU Gama,

немецкое программное обеспечение JAG3D и модуль обработки геодезических измерений программного обеспечения AutoCAD Civil 3D. Выбор программ осуществлялся по признакам сходства выполняемого функционала и распространённости программ среди пользователей.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

В рамках раздела с целью определения сильных и слабых сторон информационных программ и программных пакетов, которые могут конкурировать с разработанным алгоритмом, были проанализированы следующие конкурентные технические решения: чешский открытый проект GNU Gama (в расчетах конкурентоспособности и весомости – коэффициент $B_{к3}$), немецкое программное обеспечение JAG3D ($B_{к2}$) и модуль обработки геодезических измерений программного обеспечения AutoCAD Civil 3D ($B_{к1}$). Выбор программ осуществлялся по признакам сходства выполняемого функционала и распространённости программ среди пользователей. Проведенный анализ, как по техническим, так и параметрам ресурсоэффективности и ресурсосбережения оформлен в оценочной карте (таблица 1).

Таблица 1 – Анализ конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}	Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
1. Повышение производительности пользователей продукта	0,11	5	5	4	4	0,55	0,55	0,44	0,44
2. Соответствие функционала требованиям пользователей	0,11	5	4	3	3	0,55	0,44	0,33	0,33
3. Функциональная мощность в разрезе решаемых задач	0,1	5	4	4	4	0,5	0,4	0,4	0,4
4. Хранение данных (БД)	0,05	5	4	4	1	0,25	0,2	0,2	0,05
5. Визуализация данных	0,1	4	4	4	3	0,4	0,4	0,4	0,3
6. Протоколирование изысканий	0,07	4	4	4	4	0,28	0,28	0,28	0,28
7. Информационная безопасность	0,02	4	4	1	1	0,08	0,08	0,02	0,02
8. Возможность подключения в сеть ПЭВМ	0,03	4	5	4	3	0,12	0,15	0,12	0,09
Экономические критерии оценки эффективности									
1. Конкурентоспособность ПО	0,06	4	5	4	3	0,24	0,3	0,24	0,18
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	4	5	4	3	0,28	0,35	0,28	0,21
3. Стоимость	0,05	5	3	5	5	0,25	0,15	0,25	0,25
4. Сервисное обслуживание	0,13	5	4	1	1	0,65	0,52	0,13	0,13
5. Финансирование научной разработки	0,02	4	4	4	4	0,08	0,08	0,08	0,08
6. Срок выхода на рынок	0,03	3	5	4	4	0,09	0,15	0,12	0,12
7. Наличие сертификации разработки	0,05	4	5	4	4	0,2	0,25	0,2	0,2
ИТОГО	1	65	65	54	47	4,52	4,3	3,49	3,08

Расчет конкурентоспособности осуществляется по формуле:

$$K = \sum_i B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

K – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – весомость *i*-того показателя;

B_i – баллы *i*-того фактора конкурентоспособности от 0 до 100.

Проанализировав информацию о конкурентах, были отмечены их уязвимости, использование знания о которых повысит возможность увеличения определенной доли рынка. Существенными недостатками программного обеспечения конкурентов являются хранение информации, авторизация и разграничение прав пользователей, хранение и визуализация информации. Выигрышными сторонами разрабатываемого программного обеспечения являются визуализация, авторизация, низкая стоимость продукта.

5.1.3 SWOT-анализ

Для анализа сильных и слабых сторон разработанного алгоритма, а также меру воздействия на них внешних благоприятных возможностей и угроз был проведен SWOT-анализ (таблица 2).

Таблица 2 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Работа реализована в математическом пакете Matlab 2. Низкие затраты ресурсов на разработку 3. Использование методологии линейной алгебры и аналитической геометрии 4. Высокая точность и достоверность результатов 5. Развитие визуализации проекта 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Алгоритм реализует базовые геофизические задачи 2. Сильная зависимость алгоритма от базы данных (при решении задачи с другим набором данных, необходимо вносить изменения в алгоритм) 3. Необходимость наличия хорошего вычислительного оборудования 4. Большой срок выхода на рынок
Возможности:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Простота доработки в связи с наличием множества специализированных функций Matlab 2. Продукт всегда поддерживается благодаря высокой производительности и точности результатов 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность интегрирования резко уменьшается из-за узкой специализации и высокой стоимости оборудования 2. Если доработка будет включать изменения в основную базу данных это потребует огромных трудозатрат

<p>Угрозы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Развитая конкуренция технологий производства (При отсутствии развития проекта его конкурентоспособность будет только снижаться) 2. Отсутствие спроса на доработку 3. Регулярное изменение предпочтений потребителей 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Развитая конкуренция способствует ускоренному развитию проекта, внедрению новых методологий. 2. Регулярные изменения способствуют многостороннему развитию разработчика а так-же развитию функционала продукта 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие спроса может повлечь за собой финансовый кризис, а как следствие заморозку проекта. 2. Развитая конкуренция влечет за собой большой срок выхода на рынок, финансирования может не хватить, в следствии чего разработчик может отказаться от продолжения проекта.
--	--	---

Рассматривая сильные стороны и возможности разработанного алгоритма, логично отметить, что вектор развития задан верно. При расширении системы и использовании возможностей, соблюдая намеченные принципы разработки ПО, позиции данных списков будут количественно и качественно увеличиваться.

Основной слабой стороной и угрозой проекта является его узкая направленность. Несмотря на это, так как нахождения координат максимумов точек и объектов – основная геофизическая задача, то возможно и создание нескольких систем на основе действующей. На рынке присутствуют информационные системы и алгоритмы, которые решают, параллельно с обработкой геодезических измерений, другие разноплановые задачи. В некоторых из них – обработка является лишь модулем.

5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Важным при планировании ресурсов, выделяемых на проект, являются объемы инвестирования в текущую разработку и направления ее дальнейшего улучшения. Для анализа вышеуказанных задач, была проведена оценка степени готовности проекта к коммерциализации. В таблице 3 представлена оценка показателей проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенции разработчика научного проекта.

Таблица 3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	3
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	1
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	3
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	1
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	2
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	2
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	2
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	2
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	2
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
ИТОГО БАЛЛОВ		45	31

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum_i B_i, \quad (5.1.4.1)$$

$B_{\text{сум}}$ - суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i - балл по i -му показателю.

Полученные результаты (и степень проработанности научного проекта и уровень имеющихся знаний у разработчика попали в диапазон от 30 до 45 баллов) говорят средней перспективности научно-исследовательского проекта.

5.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации такой научно – технической разработки как разработка узкоспециализированного программного обеспечения (алгоритма прослеживания сейсмических волн), ожидается такой коммерческий эффект как получение средств для продолжения научных исследований.

Торговля патентными лицензиями является идеальным методом коммерциализации для разработки ПО, поскольку алгоритм готов к использованию и есть возможность постепенного усовершенствования своего продукта за счет продажи лицензий, а также пользователи лицензий будут сообщать о недостатках продукта, что облегчит работу по усовершенствованию и доработке.

5.2 Инициация проекта

Инициация проекта состоит из процессов, которые выполняются для нового проекта или новой стадии проекта. Для этого определяются начальные цели, содержание, фиксируются ресурсы. Также определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта (таблица 4).

Таблица 4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Организации обрабатывающий геофизические данные (Недра, г. Томск)	Реализация алгоритма фазочастотного прослеживания сейсмических волн с дальнейшей возможностью его расширения и внедрения

В таблице 5 представлена информация о целях проекта, критериях достижения целей, а также требования к результатам проекта.

Таблица 5 – Цели и результаты проекта

Цели проекта	Создание ПО необходимого для выполнения задач прослеживания сейсмических волн
Ожидаемые результаты проекта	Готовый алгоритм для решения ряда задач структурной сейсморазведки
Критерии приемки результата проекта	Технически реализованный алгоритм с сопутствующей технической документацией и использованием необходимых методов, качество обнаружения фиксированных волн и определение их временного положения
Требования к результату проекта	Функционирующий алгоритм фазочастотного прослеживания в сложных сейсмогеологических условиях, разделенный на модули для последующего расширения

Рабочая группа проекта отображена в таблице 6.

Таблица 6 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты
Кочегуров А.И., ТПУ, ИШИТР, кандидат технических наук, доцент	Научный руководитель	Консультирование, определение задач, контроль выполнения.	27,8
Кураксин А.Ю., ТПУ, ИШИТР, студент	Студент (дипломник)	Анализ литературных источников, разработка схемы, монтаж, программирование, эксперименты.	600,6

5.3 Планирование управлением научно-технических проектом

5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для обеспечения своевременного выполнения задания ВКР, а с тем и для получения эффективных программных результатов, необходимо поэтапно запланировать все работы по проекту. Были определены этапы, работы и их распределение среди исполнителей. В качестве исполнителей были выбраны следующие участники процесса:

- студент;
- научный руководитель.

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Подготовительный этап	1	Выбор темы ВКР	студент научный руководитель
	2	Получение ТЗ	студент научный руководитель
	3	Подбор материала, его анализ и обобщение	студент частично научный рук.
	4	Выбор метода выполнения работы	студент
	5	Календарное планирование работ по теме	научный руководитель студент

Основной этап	6	Разработка математической модели волнового сейсмического поля	студент
	7	Проектирование и программная реализация алгоритма прослеживания	студент
	8	Тестирование модели	студент
Заключительный этап	9	Составление отчета о проделанной работе и оценка эффективности полученных результатов	научный руководитель студент
	10	Защита дипломного проекта	студент

В результате планирования ВКР было получено 10 этапов разработки и 2 исполнителя: научный руководитель и студент.

5.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. При определении ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{mini} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad где \quad (5.3.2.1)$$

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

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

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{КАЛ}, \quad \text{где} \quad (5.3.2.2)$$

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

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

$k_{КАЛ}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{КАЛ} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВЫХ} - T_{ПП}}, \quad \text{где} \quad (5.3.2.3)$$

$T_{КАЛ}$ – количество календарных дней в году (365);

$T_{ВЫХ}$ – количество выходных дней в году (52);

$T_{ПП}$ – количество праздничных дней в году (14).

$$k_{КАЛ} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,220.$$

В таблице 8 приведен расчет определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. По показанию полученных величины трудоемкости этапов по исполнителям T_{ki} построен линейный график осуществления проекта, который представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Определение временных затрат на проект

№ ра- боты	Продолжительность работ, дни			Исполнители	Трудоемкость работ по исполните-лям чел.- дн.			
	t_{min} , чел- дни	t_{max} , чел- дни	$t_{ож i}$, чел-дни		$T_{РД}$		$T_{КД}$	
					НР	С	НР	С
1	2	6	3,6	С, НР	1,8	1,8	2,2	2,2
2	4	6	4,8	С, НР	2,4	2,4	2,9	2,9
3	12	20	15,2	С	0	15,2	0,0	18,5
4	12	19	14,8	С	0	14,8	0,0	18,1
5	5	8	6,2	НР, С	3,1	3,1	3,8	3,8
6	11	18	13,8	С	0	13,8	0,0	16,8
7	29	33	30,6	С	0	30,6	0,0	37,3
8	10	12	10,8	С	0	10,8	0,0	13,2
9	12	15	13,2	НР, С	6,6	6,6	8,1	8,1

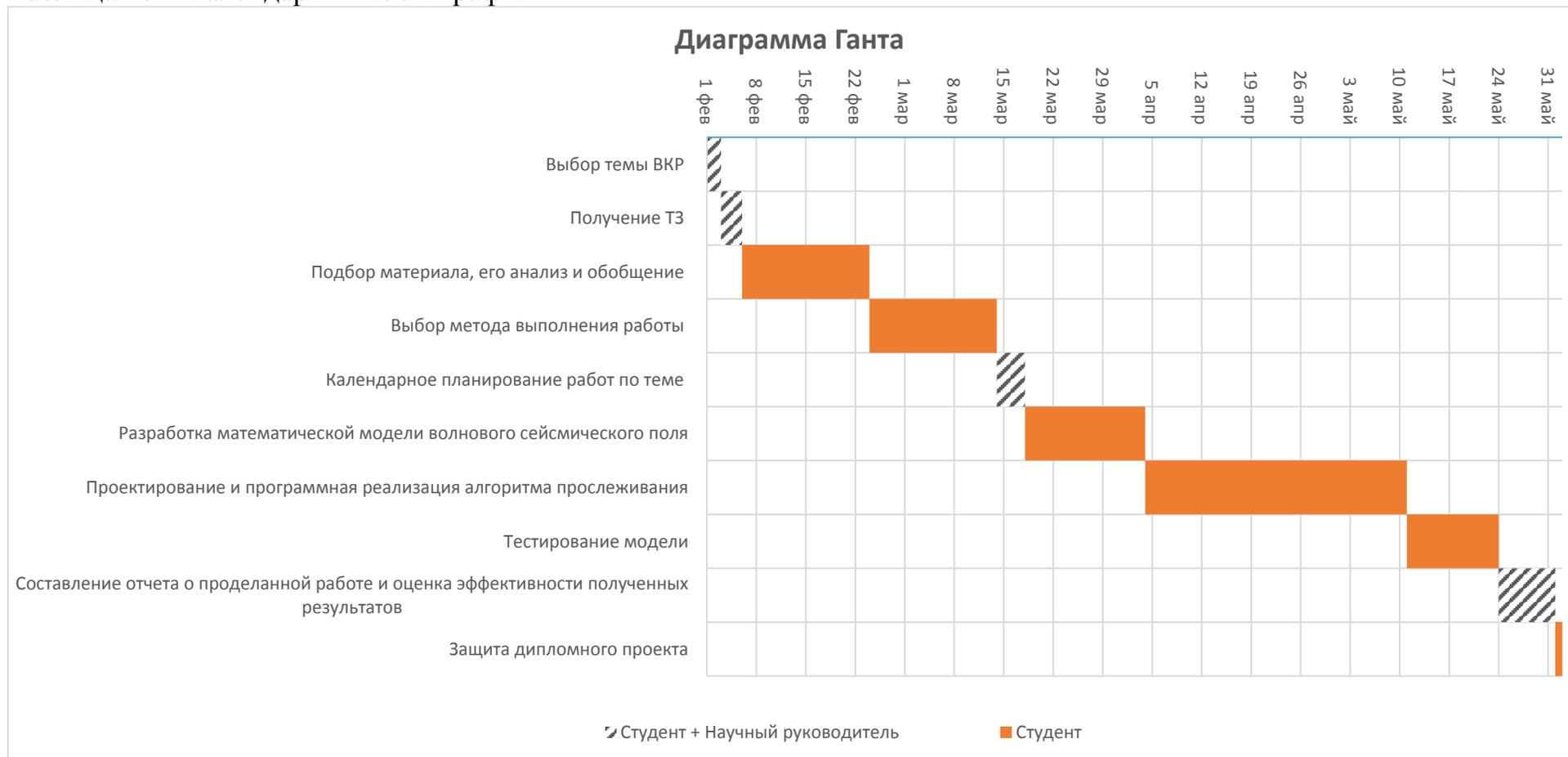
10	1	1	1	С	0	1	0,0	1,2
Итого			114		13,9	100,1	17,0	122,1

На основе полученных данных строится Диаграмма Ганта, которая наглядно отображает оптимальные сроки начала и окончания выполнения работ. Результат представлен в таблице 10.

Таблица 9 – План проекта с этапами работ и распределением исполнителей по их видам

Номер работы	Название	Длительность, дни (рабочие)	Длительность, дни (календарные)	Дата начало работ	Дата окончания работ
1	Выбор темы ВКР	1,8	2	1 февраля 2019 г.	3 февраля 2019 г.
2	Получение ТЗ	2,4	3	3 февраля 2019 г.	6 февраля 2019 г.
3	Подбор материала, его анализ и обобщение	15,2	18	6 февраля 2019 г.	24 февраля 2019 г.
4	Выбор метода выполнения работы	14,8	18	24 февраля 2019 г.	14 марта 2019 г.
5	Календарное планирование работ по теме	3,1	4	14 марта 2019 г.	18 марта 2019 г.
6	Разработка математической модели волнового сейсмического поля	13,8	17	18 марта 2019 г.	4 апреля 2019 г.
7	Проектирование и программная реализация алгоритма прослеживания	30,6	37	4 апреля 2019 г.	11 мая 2019 г.
8	Тестирование модели	10,8	13	11 мая 2019 г.	24 мая 2019 г.
9	Составление отчета о проделанной работе и оценка эффективности полученных результатов	6,6	8	24 мая 2019 г.	1 июня 2019 г.
10	Защита дипломного проекта	1	1	1 июня 2019 г.	1 июня 2019 г.

Таблица 10 – Календарный план-график



5.3.3 Бюджет научно-технического исследования

Формирование бюджета для выполнения научно-технического исследования складывается из следующих статей:

- материальные затраты;
- оборудование для научного исследования;
- основная заработная плата;
- дополнительная заработная плата;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

5.3.4 Затраты на материалы

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Расчет затрат на материалы приведён в таблице 11.

Таблица 11 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	лист	125	1,9	237,5
ИТОГО				237,5

5.3.5 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Расчет затрат на спецоборудование для научных работ представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Компьютер	шт.	1	82000	13120 (амортизация за 4 мес., срок эксплуатации 25 мес.)
МФУ		1	18550	18550
USB-flash нако-питель (3.0), 8 Гб		1	1250	1250
Годовая лицензия пакета MATLAB		1	8130	8130
ИТОГО				41050

5.3.6 Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда.

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда):

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad \text{где} \quad (5.3.6.1)$$

$Z_{осн}$ – 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:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{РАБ}, \quad где \quad (5.3.6.2)$$

$Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{РАБ}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D}, \quad где \quad (5.3.6.3)$$

Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня = 11,2 месяца, 5-дневная неделя; M

при отпуске в 48 раб. дней = 10,4 месяца, 6-дневная неделя; M

F_D – действительный годовой фонд рабочего времени научно - технического персонала, раб. дн. (таблица 13).

Таблица 13 – годовой фонд рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (5.3.6.4)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$);

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

$k_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томской области).

Руководителем научной работы в университете является доцент, к.т.н., заработная плата взята из системы оплаты труда в ТПУ. Зарботная плата магистранта соответствует должности учебно-вспомогательного персонала ТПУ. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Оклад, руб.	Районный коэффициент, $k_{р}$	$k_{пр}$	$k_{д}$	$Z_{м}$, руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{р}$, раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{зп}$, руб.
Руководитель	33664	1,3	0,3	0	56892	2357	4,6	10842	1084	11926
Магистр	12664		0	0	16463	682	100,1	68268	6826	75094
ИТОГО										87020

5.3.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{ВНЕБ} = k_{ВНЕБ} \cdot (Z_{ОСН} + Z_{ДОП}), \quad \text{где} \quad (5.3.7.1)$$

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

В таблице 15 представлен результат расчета отчислений во внебюджетные фонды.

Таблица 15 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Магистр
Основная заработная плата, руб.+дополнит.	11926	75094
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Сумма отчислений	3232	20350
Итого	23582	

5.3.9 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:

$$Z_{НАКЛ} = K_{накл} \cdot (Z_{осн} + Z_{дон}), \quad где \quad (5.3.9.1)$$

$K_{накл}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

$$Z_{НАКЛ} = 0,3 \cdot (87020) = 26106. \quad (5.3.9.2)$$

Прочие затраты:

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$Z_{проч} = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об}, \quad где \quad (5.3.9.3)$$

$C_{эл}$ - тариф на промышленную электроэнергию (5.8 руб. за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{об}$ - время использования оборудования, ч.

Потребляемая мощность ПК 650 Вт. За чистое время работы ПК возьмём 93 дня по 6 часов. Итого 558 часов. Итого стоимость электроэнергии равна:

$$5,8 \cdot 0,65 \cdot (93 \cdot 6) = 2103 \text{ руб.} \quad (5.3.9.4)$$

5.3.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НИИ

Статьи расходов	Общий объем, рублей
Материальные затраты	237,5
Спецоборудование для научных работ	41050
Основная заработная плата	87020
Отчисления во внебюджетные фонды	23582
Прочие прямые затраты	2103
Накладные расходы	26106
Бюджет затрат НИИ	180098,5

Из данной таблицы можно сделать вывод, что затраты на полную реализацию проекта составляют 180098,5рублей.

5.4 Оценка экономической эффективности проекта

В зависимости от того, в какой сфере и форме проявляется эффективность проекта различают следующие его виды: бюджетный, народнохозяйственный, коммерческий.

Разрабатываемый проект представляет собой алгоритм фазочастотного прослеживания сейсмических волн с равновесной и неравновесной обработкой, и его реализацией. Система основной целью несет минимизация погрешностей вычислений, особенно по человеческим факторам. Так же автоматизация геодезических изысканий и их обработки минимизирует трудозатраты

пользователей системы: например, уменьшается время принятия решений при визуальном представлении точек с известными координатами и маркеров в трехмерном пространстве. Уменьшение трудозатрат пользователь позволяет уменьшить штат геодезического предприятия и понизить нормы времени и обслуживания сотрудников, что позволит сэкономить бюджетные средства организации. Оптимизация штата сотрудников особенно актуальна в последние годы, характеризующиеся автоматизацией, например, геодезисты-измерители могут проводить обработку данных (даже в полевых условиях). В некоторых предприятиях, со специалистами которых были проведены консультации во время собирания аналитики для проектирования, специалисты работают геодезистами и маркшейдерами по совместительству. Автоматизация процессов и взаимозаменяемость сотрудников ведет процессы геодезических изысканий на новый уровень, в которых строительство, кадастры и другие направления, использующие геодезические измерения, получают информацию для дальнейших строительных и др. работ намного быстрее, эффективнее и с меньшей себестоимостью и рисками.

Логирование всех действий пользователей позволяет отслеживать все действия геодезистов в расширенном представлении.

Минимизация рисков, оптимизация трудозатрат и повышение безопасности информационных систем – вектор развития сферы информационных технологий современных предприятий любых отраслей. Соответственно, вышеописанные факторы увеличивают доход предприятия (за счет снижения себестоимости геодезических изысканий) и, соответственно, реализуемый проект предполагает получение коммерческого эффекта. Минимизируются риски, представленные в таблице 17.

Таблица 17 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность	Влияние	Уровень риска*	Способы смягчения риска
1	Плохая ручная обработка данных	Потеря точности результатов	10%	Некритичное	Высокий	Прибегать к ручной обработке данных только в самом крайнем случае
2	Риск отсутствия визуализации данных	Неоптимальное планирование и разработка	17%	Крайне негативное	Выше среднего	Уменьшение области помех исходных данных с помощью алгоритмов фильтрации
3	Риск потери сведений	Потеря большой части проделанной работы	5%	Среднее	Низкий	Использование облачных технологий и копий баз данных

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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

размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (5.4.2)$$

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен в форме таблицы (табл. 18).

Исп.1 – Алгоритм, осуществляющий прослеживание только с помощью равновесной обработки

Исп.2 – Алгоритм, прослеживающий сейсмическое поле с применением треугольной весовой функции со сдвинутым в сторону максимальных частот углом;

Таблица 18 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Соответствие теории и эксперимента	0,25	4	4
2. Удобство в эксплуатации	0,10	5	3
3. Сложность установки в существующие устройства	0,30	5	2
4. Стоимость внедрения	0,20	4	3
5. Время проведения измерений	0,15	4	4

ИТОГО	1	22	16
-------	---	----	----

$$I_{p-исп1} = 4*0,25 + 5*0,1 + 5*0,30 + 4*0,20 + 4*0,15 = 4,4 \quad (5.4.3)$$

$$I_{p-исп2} = 4*0,25 + 3*0,1 + 2*0,30 + 3*0,20 + 4*0,15 = 3,1 \quad (5.4.4)$$

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (5.4.5)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 19) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}, \quad (5.4.6)$$

Таблица 19 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4.4	3.1
3	Интегральный показатель эффективности	4.4	3.1
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1.42	0.7

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в

магистерской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

5.5 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были проведены: сегментация рынка и рассмотрение конкурентных технических решений. В ходе данного анализа были вычленены сильные и слабые стороны конкурентов и, соответственно, был определен стратегически верный вектор развития на сегменте рынка, диктуемый правилами разработчиков программного обеспечения, уже реализующих свои проекты.

Был проведен SWOT-анализ проекта. Выявлено, что разрабатываемый продукт имеет сильные стороны, такие как визуализация методов и разграничение прав пользователей. Над слабыми сторонами, такими как узкая направленность проекта, необходимо работать, дабы иметь спрос среди потребителей. Оценка готовности проекта к коммерциализации говорит о том, что перспективность данной работы средняя.

Выполнено планирование научно-технических решений. Составленные перечень проводимых работ, их исполнителей и продолжительность выполнения этапов работ построена на диаграмме Ганта.

Рассчитаны смета затрат на выполнение работ, себестоимость и прибыль проекта. При расчетах учитывались различные источники доходов и затрат. Совокупный бюджет проекта составляет 180098,5 рублей. Проведена оценка эффективности проекта.

Оценка научно-технического уровня НИР показала, что реализуемый проект имеет средний уровень научно-технического эффекта.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8БМ71	Кураксин Александр Юрьевич

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение (НОЦ)	Информационных технологий
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	01.04.02 Прикладная математика и информатика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования (вещество, материал, рабочая зона) и области его применения	Исследования алгоритмов фазочастотного прослеживания сейсмических волн с равновесной и неравновесной обработкой
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	1. Специальные правовые нормы трудового законодательства; 2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 2.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	Вредные факторы: 1. Отклонения показателей микроклимата; 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 3. Превышение уровня шума; 4. Повышенный уровень электромагнитных излучений; Опасные факторы: 1. Электрический ток 2. Опасность возникновения пожара
3. Экологическая безопасность	Источники выбросов в атмосферу; Образование сточных вод и отходов. Мероприятия по снижению вредного воздействия на ОС
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Вероятные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения и меры по их предупреждению

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Н.А.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ71	Кураксин Александр Юрьевич		

6. Социальная ответственность

При осуществлении любой проектной и научно-исследовательской деятельности большую роль играет обеспечение безопасности охраны труда и окружающей среды. В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места исследователя в процессе выполнения работы в соответствии с нормами производственной санитарии, техники безопасности и охраны труда и окружающей среды. Рабочим местом является 102 аудитория Кибернетического центра ТПУ, рабочей зоной является компьютерный стол.

Научно-исследовательская работа представляет собой разработку алгоритма фазочастотного прослеживания сейсмических сигналов с равновесной и неравновесной обработкой, и его последующая программная реализация. Данная работа предполагает большой объем работы с ПК, поэтому важным критерием безопасности является организация рабочего места и режима трудовой деятельности.

6.1 Производственная безопасность

В данном разделе производится анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникать при выполнении работ по разработке алгоритмов решения геодезических задач по дистанционным измерениям. Также рассматриваются вредные и опасные факторы, возникающие в процессе программной реализации данных алгоритмов, выполняемых инженером-математиком.

В таблице 20 представлен перечень вредных и опасных факторов, наиболее характерных для рабочей зоны исследователя.

Таблица 20 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке алгоритмов решения геодезических задач по дистанционным измерениям

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа за персональным компьютером	<ul style="list-style-type: none"> • Повышенный уровень шума на рабочем месте; • повышенный уровень электромагнитных излучений; • недостаточная освещенность рабочей зоны; • повышенная напряженность электромагнитного поля; • неблагоприятный микроклимат; • статические физические перегрузки; • перенапряжение зрительных анализаторов; • повышенный уровень статического электричества 	<ul style="list-style-type: none"> • Опасность поражения электрическим током; • опасность возникновения короткого замыкания. 	<ul style="list-style-type: none"> - СанПиН 2.2.4.548 – 96 [37]; - СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [38]; - СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [39]; - СНиП 23-05-95 [40]; - ГОСТ 12.1.003–83 [41]; - СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 [42]; - ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ [43]; - ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ [44]; - ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [45].

6.1.1 Повышенный уровень шума на рабочем месте

На рабочем месте инженера-математика учебной аудитории, исходя из ГОСТ 12.1.003–83 [46], действует постоянный шум. Шум возникает в помещении при ходьбе, передвижении стульев, открывании двери, сторонних

разговоров, а также создается кондиционерами и вентиляторами для охлаждения нагреваемых частей ЭВМ. Основной характеристикой шума является уровень звукового давления в активной полосе частот.

При выполнении основной работы на ЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ. Допустимые уровни звукового давления в помещениях для персонала, осуществляющего эксплуатацию ЭВМ при разных значениях частот, в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 [47], приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Допустимые уровни звукового давления на рабочих местах расчетчиков, программистов вычислительных машин по СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 [47]

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	31,5	63	125	250	500	1000	2000
Программирование. Рабочее место в помещениях для программистов вычислительных машин	86	71	61	54	49	45	42
Высококвалифицированная деятельность. Рабочее место в комнатах конторских помещений	93	79	70	68	58	55	52

В помещении, где выполнялась работа, уровень шума находится в пределах нормы, допустимые уровни звукового давления соответствуют СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Для снижения шума для стен и потолков используется звукопоглощающая облицовка. Для снижения шума вентилятора ЭВМ выбран агрегат с наименьшими удельными показателями звуковой мощности и со звукопоглощающим корпусом.

6.1.2 Повышенный уровень электромагнитных излучений

В качестве источника электромагнитного излучения в данной работе рассматривается персональный компьютер.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [48], временные допустимые уровни электромагнитного поля, создаваемого персональным ЭВМ, не должны превышать значений, приведенных в таблице 24.

Таблица 22 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [48]

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

С целью уменьшения негативного воздействия электромагнитного излучения, возникающего от экрана компьютера, используются специальные жидкокристаллические мониторы. Также следует держать экран компьютера на оптимальном расстоянии от глаз (не менее 50 см, но не более 1 м) и соблюдать регламентированные режимы труда и отдыха.

В рабочем помещении воздействие электромагнитного излучения находится в пределах допустимого, т.к. выполняются рекомендации по снижению уровня ЭМП.

6.1.3 Освещенность рабочей зоны

Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений оказывает положительное воздействие на работающих, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность. Освещенность – физическая величина, характеризующая освещение поверхности, создаваемое световым потоком, падающим на эту поверхность. Освещенность измеряется в Люксах (СИ) и обозначается буквой Е.

Для искусственного освещения помещений используются лампы накаливания и газоразрядные лампы. Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03[46] помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь естественное освещение, соответствующее требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03[47]. Но

помимо естественного освещения, офис должен обладать системой общего освещения. Системы комбинированного освещения рекомендуется применять в помещениях общественных зданий, где выполняется напряженная зрительная работа.

Освещенность на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы; равномерное распределение яркости на рабочей поверхности и отсутствие резких теней; величина освещения постоянна во времени (отсутствие пульсации светового потока); оптимальная направленность светового потока и оптимальный спектральный состав.

Работа за ПК относится к зрительным работам высокой точности для помещений жилых и общественных зданий. Согласно СНиП 23-05-95[48], такие помещения должны удовлетворять требованиям, указанным в таблице 23.

Таблица 23 – Требования к освещению помещений жилых и общественных зданий при зрительной работе высокой точности по СНиП 23-05-95[51]

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение			
						Освещённость, лк			
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения	
						всего	в том числе от общего		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	а	Малый	Тёмный	2000	200	500	
						1500	200	400	
				б	Малый Средний	Средний	1000	200	300
						Тёмный	750	200	200
в	Малый Средний Большой	Светлый	750	200	300				
		Средний Тёмный	600	200	200				
г	Средний Большой «	Светлый « Средний	400	200	200				

Естественное освещение создается прямыми солнечными лучами или рассеянным светом небосвода. Ультрафиолетовое излучение, входящее в состав спектра солнечного света, имеет огромное значение для здоровья человека, но тем не менее оно практически полностью при прохождении сквозь стекло

задерживается, и не проникает внутрь помещений. Поэтому, при работе в помещениях без окон во время рабочего дня необходимо позволять исследователю выходить на улицу, или же на некоторое время разрешить ему находиться в комнате с окнами.

6.1.4 Расчет общего равномерного освещения

Расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta} \quad (6.1.4.1)$$

где E_n – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05- 95, лк; S – площадь освещаемого помещения, m^2 ; K_z – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, свето- технической арматуры, стен и пр., т. е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли; Z – коэффициент неравномерности освещения, отношение E_{cp}/E_{min} . Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1; N – число ламп в помещении; η – коэффициент использования светового потока.

Помещение, в котором производились работы: длина $A = 6$ м (6000 мм), ширина $B = 7$ м (7000), высота $H = 3,5$ м (соответствует минимально допустимой высоте подвеса светильников с люминесцентными лампами типа ОД). Высота рабочей поверхности $h_{rp} = 0,8$ м. Требуется создать освещённость $E = 300$ лк (из таблицы 25).

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников без защитной решётки (типа ОД) равна 1,4.

Коэффициент отражения стен $R_c = 30$ % (светлые обои), потолка $R_n = 50$ % (светлый навесной потолок). Коэффициент запаса $k = 1,5$ (для люминесцентных ламп), коэффициент неравномерности $Z = 1,1$.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОД – 2-80 (открытые двухламповые светильники). Этот светильник имеет две лампы мощностью 80 Вт каждая, длина светильника равна 1531 мм.

Найдем высоту светильников над рабочей поверхностью:

Приняв $h_c = 0,3$ м, получаем $h = 3,5 - 0,3 - 0,8 = 2,4$ м.

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения. Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,4 = 3,36 \text{ м}, \quad (6.1.4.2)$$

$$L/3 = 1,12 \text{ м}, \quad (6.1.4.3)$$

Размещаем светильники в 2 ряда. В каждом ряду можно установить 3 светильника, при этом разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. (500 мм.). Учитывая, что в каждом светильнике установлено 2 лампы, общее число ламп в помещении $N=12$. (Рисунок 18).

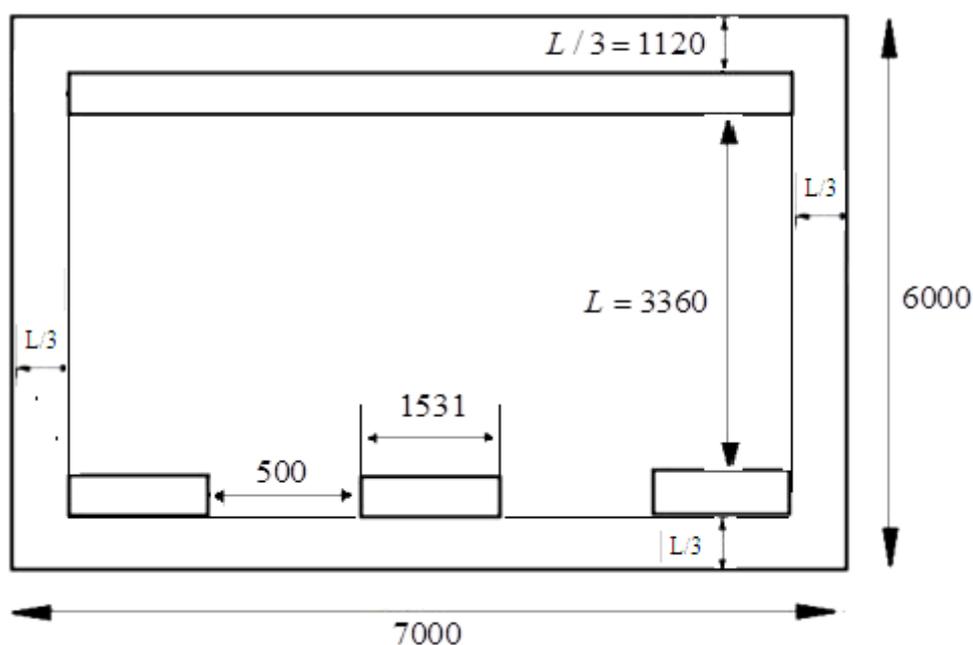


Рисунок 18 - План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Находим индекс помещения по формуле:

$$i = S / h(A + B), \quad (6.1.4.4)$$

Итого $i = 42 / 2,4(6 + 7) \approx 1,5$, далее по нормативной таблице для полученного индекса i определяем коэффициент использования светового потока: $\eta = 0,52$, тогда световой поток лампы:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 42 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,52} = 3432 \text{ Лм}, \quad (6.1.4.5)$$

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов:
Выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛД 80 Вт с потоком 4250 Лм.
Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\% , \quad (6.1.4.6)$$

$$\frac{4250 - 3432}{4250} \cdot 100\% = 19\% , \quad (6.1.4.7)$$

Получаем:

$$-10\% \leq 19\% \leq +20\% , \quad (6.1.4.8)$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 12 \cdot 80 = 960 \text{ Вт}. \quad (6.1.4.9)$$

Полученное значение светового потока попадает в необходимый интервал, следовательно, нормы освещенности соблюдаются.

6.1.5 Неблагоприятный микроклимат

В помещениях, где установлены компьютеры, должны соблюдаться определенные параметры микроклимата. Эти нормы устанавливаются в зависимости от времени года, характера трудового процесса и характера производственного помещения. Работа инженера-программиста относится к категории работ Ia, в которую входят работы с интенсивностью энергозатрат до 139Вт, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением. Оптимальные параметры микроклимата для этой категории работ приведены в таблице 2 по СанПиН 2.2.548-96. Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположены компьютеры, приведены в таблице 26 по СанПиН 2.2.548-96.

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

Таблица 24 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений по СанПиН 2.2.2.548-96

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

Таблица 25 – Допустимые величины показателей микроклимата по СанПиН 2.2.2.548-96

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

Допустимые параметры микроклимата обеспечиваются таким сочетанием количественных параметров, которое при длительном и систематическом воздействии на человека может вызвать преходящие и быстро нормализующиеся изменения функционального и теплового состояния организма, сопровождающиеся напряжением механизмов терморегуляции, не выходящим за пределы физиологических приспособительных возможностей. При этом не возникает повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут наблюдаться ухудшение самочувствия и снижение работоспособности.

Системы отопления, несмотря на свою пользу, имеют и негативную сторону. Как центральное отопление, так и обогреватели сушат воздух. Пересушенный воздух при критических показателях создает неоспоримую

опасность для здоровья человека: способствует возникновению инфекций, провоцирует дерматиты, обострение аллергических заболеваний и астмы, поэтому в аудитории, где выполнялась работа, установлена дополнительная приточно - вытяжная вентиляция, позволяющая соблюдать нормы подачи свежего воздуха в помещение.

6.1.6 Статические физические перегрузки

Характерной при работе с ЭВМ является такая физическая перегрузка, как длительное статическое напряжение мышц. Оно обусловлено вынужденным продолжительным сидением в одной и той же позе, часто неудобной, необходимостью постоянного наблюдения за экраном (напрягаются мышцы шеи, ухудшается мозговое кровообращение), набором большого количества знаков за рабочую смену (статическое перенапряжение мышц плечевого пояса и рук). При этом возникает также локальная динамическая перегрузка пальцев и кистей рук. Статическим перенапряжениям мышц способствуют неудовлетворительные эргономические параметры рабочего места и его компонентов (отсутствие подлокотников, пюпитра, подставки для ног), отсутствие возможности регулировки параметров рабочего стула, высоты рабочей поверхности стола, неудобное расположение клавиатуры и дисплея.

Сиденье стула должно иметь закругленный передний край; клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, или на специальной регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

В качестве средства профилактики заболеваний, связанных с сидячим образом жизни, предлагается использовать физкультминутки (ФМ). ФМ способствует снятию локального утомления. По содержанию ФМ различны и предназначаются для конкретного воздействия на ту или иную группу мышц или систему организма в зависимости от самочувствия и ощущения усталости.

6.1.7 Перенапряжение зрительных анализаторов

Отмечается специфическое зрительное утомление у пользователей дисплеев. Изображение на дисплее принципиально отличается от привычного

глазу объектов наблюдения — оно светится, мерцает, состоит из дискретных точек, а цветное компьютерное изображение не соответствует естественным цветам. Большую нагрузку орган зрения испытывает при вводе информации, так как пользователь вынужден часто переводить взгляд с экрана на текст и клавиатуру, находящиеся на разном расстоянии и по-разному освещенные. Зрительное утомление проявляется жалобами на затуманивание зрения, трудности при переносе взгляда с ближних предметов на дальние и с дальних на ближние, кажущиеся изменения окраски предметов, их двоение, чувство жжения, «песка» в глазах, покраснение век, боли при движении глаз.

Для минимизации влияния фактора на организм человека, следует соблюдать порядок перерывов. В таблице 26 приведено суммарное время регламентированных перерывов для выбранного вида и категории трудовой деятельности. Трудовая деятельность разработчика программного обеспечения относится к группе В – творческая работа в режиме диалога с персональной ЭВМ. Данный вид трудовой деятельности занимает 6 часов рабочего времени, что относит ее к третьей категории тяжести и напряженности работы.

Таблица 26 – Суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида и категории трудовой деятельности с персональной ЭВМ (по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) [48]

Суммарное время регламентированных перерывов, мин
При 8-часовой рабочей смене
90

Так же существуют комплексы упражнений для глаз. Упражнения выполняются сидя или стоя, отвернувшись от экрана при ритмичном дыхании, с максимальной амплитудой движения глаз.

6.1.8 Повышенный уровень статического электричества

Основным источником повышенного уровня статического электричества при работе за компьютером является монитор. На экранах мониторов положительные заряды накапливаются под действием электронного пучка, создаваемые электронной лучевой трубкой.

При образовании заряда с большим электрическим потенциалом создается электрическое поле повышенной напряженности, которое вредно для человека. У людей, работающих в зоне воздействия электростатического поля, встречаются разнообразные жалобы: на раздражительность, головную боль, нарушение сна, снижение аппетита и др. При длительном пребывании человека в таком поле наблюдаются функциональные изменения в центральной нервной, сердечно-сосудистой и других системах.

Допустимые уровни статического электричества:

- электростатический потенциал экрана монитора –500 В;
- напряженность электростатического поля – 15 кВ/м.

Согласно ГОСТ 12.4.124-83 к средствам защиты от повышенного уровня статического электричества относятся:

- заземляющие устройства;
- нейтрализаторы (индукционные, высоковольтные, лучевые,
- аэродинамические);
- увлажняющие устройства (испарительные, распылительные);
- антиэлектростатические вещества (вводимые в объем, наносимые на поверхность);
- экранирующие устройства (козырьки, перегородки).

На рабочем месте инженера-математика, выполняемого данную работу, уровень статического электричества находится в пределах нормы, благодаря используемым средствам защиты

6.1.9 Опасность поражения электрическим током

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

На рабочем месте располагаются два монитора, клавиатура, мышь и системный блок. Токи статического электричества, на корпусах мониторов, системного блока, мыши и клавиатуры, могут привести к возникновению

разрядов при прикосновении к данным элементам. Такие разряды опасности особой для человека не представляют. Но при возникновении заряда с довольно большим электрическим потенциалом порождает электрическое поле с повышенной напряженностью, которое может нанести вред человеку. При продолжительном пребывании человека в таком поле наблюдаются изменения в центральной нервной, сердечно-сосудистой системах. Также избыточный электрический заряд может способствовать к выходу компьютера из строя. Для уменьшения величин токов статического электричества используют нейтрализаторы, увлажнители воздуха.

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

Методы защиты от воздействия статического электричества:

- влажная уборка, чтобы уменьшить количество пылинок в воздухе и на предметах офиса;
- использование увлажнителей воздуха;
- защитное заземление;
- применение средств индивидуальной защиты, таких как антистатические спреи и браслеты.

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

Методы защиты от опасности поражения электрическим током:

- электрическая изоляция токоведущих частей (сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм);
- ограждение токоведущих частей, которые работают под напряжением;
- использование малых напряжений, например, не более 50 В;
- электрическое разделение сетей на отдельные короткие участки;

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

6.1.10 Опасность возникновения короткого замыкания

Короткое замыкание – одна из опаснейших неисправностей электрических цепей. Оно возникает при соединении проводов проводником с очень малым сопротивлением. Короткое замыкание может вывести прибор из строя и служить причиной пожара даже при низковольтных источниках тока. Большая часть пожаров возникает вследствие короткого замыкания электропроводки.

Короткие замыкания в электропроводке чаще всего происходят из-за нарушения изоляции токопроводящих частей в результате механического повреждения, старения, воздействия влаги.

Так как основная часть работы инженера-математика состоит во взаимодействии с ЭВМ, вопросы по предотвращению развития короткого замыкания особенно актуальны. Самым эффективным методом является установка автоматического выключателя или же плавких предохранителей. Таким образом, при возникновении короткого замыкания выключатель своевременно отключит питание, тем самым предотвратит возникновение опасной ситуации. Также необходимо выполнять постоянную проверку электропроводки, благодаря которой можно визуально определить место оплавления изоляции и перейти к устранению неполадки.

6.2 Экологическая безопасность

Работа за персональным компьютером не является экологически опасной работой, потому объект, на котором производились исследования, и разработка относятся к предприятиям пятого класса, размер селитебной зоны для которых равен 50 м.

Негативного воздействия разрабатываемого объекта на окружающую среду не происходит, т.к. объект не является материальным. Однако, средства, необходимые для его разработки и эксплуатации могут наносить вред окружающей среде.

Современные персональные ЭВМ производят практически без использования вредных веществ, опасных для человека и окружающей среды. Исключением являются аккумуляторные батареи компьютеров и мобильных устройств. В аккумуляторах содержатся тяжелые металлы, кислоты и щелочи, которые могут наносить ущерб окружающей среде, попадая в гидросферу и литосферу, если они были неправильно утилизированы. Утилизация такого оборудования является достаточно сложной, так как такие отходы имеют сложную структуру. Непосредственная переработка большей части компонентов включает в себя их сортировку, последующую гомогенизацию и отправку для повторного использования, т.е. с предварительным помолом или переплавкой.

Люминесцентные лампы представляют собой «чрезвычайно опасные» виды отходов. Содержание ртути в любых люминесцентных лампах составляет от трех до пяти миллиграмм ртути. С учетом этого необходимо обеспечивать определенные условия хранения, их эксплуатации и утилизации. Согласно санитарным нормам хранить ртутьсодержащие отходы необходимо в специальных герметичных контейнерах, доступ посторонним лицам к таким контейнерам должен быть запрещен. Транспортировка ламп на полигоны складирования должна выполняться организациями, которые специализируются на утилизации опасных отходов и имеют соответствующую лицензию. Категорически запрещено размещение таких отходов, как люминесцентные лампы на полигонах твердых бытовых отходов [50].

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

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

- наводнение;
- удар молнии;

- пожар на объекте;
- взрыв.

В этом разделе наиболее актуальным будет рассмотрение вида ЧС – пожар, определение категории помещения по пожаровзрывобезопасности в котором происходит управление технологическим процессом, то есть аудитория КЦ–102 НИ ТПУ и регламентирование мер противопожарной безопасности.

Рабочее место оператора поста управления, должно соответствовать требованиям ФЗ Технический регламент по ПБ и норм пожарной безопасности (НПБ 105-03) и удовлетворять требованиям по предотвращению и тушению пожара по ГОСТ 12.1.004-91 и СНиП 21-01-97.

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

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

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

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

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

Должны быть приняты следующие меры противопожарной безопасности:

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

- соблюдение всех противопожарных требований к системам отопления и кондиционирования воздуха.

Для тушения пожаров на участке производства необходимо применять углекислотные (ОУ-5 или ОУ-10) и порошковые огнетушители (например, типа ОП-10), которые обладают высокой скоростью тушения, большим временем действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнем.

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

Выведение людей из зоны пожара должно производиться по плану эвакуации.

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

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

План эвакуации людей при пожаре из помещения, где расположена аудитория КЦ–102 НИ ТПУ, представлен на (рис. 19).

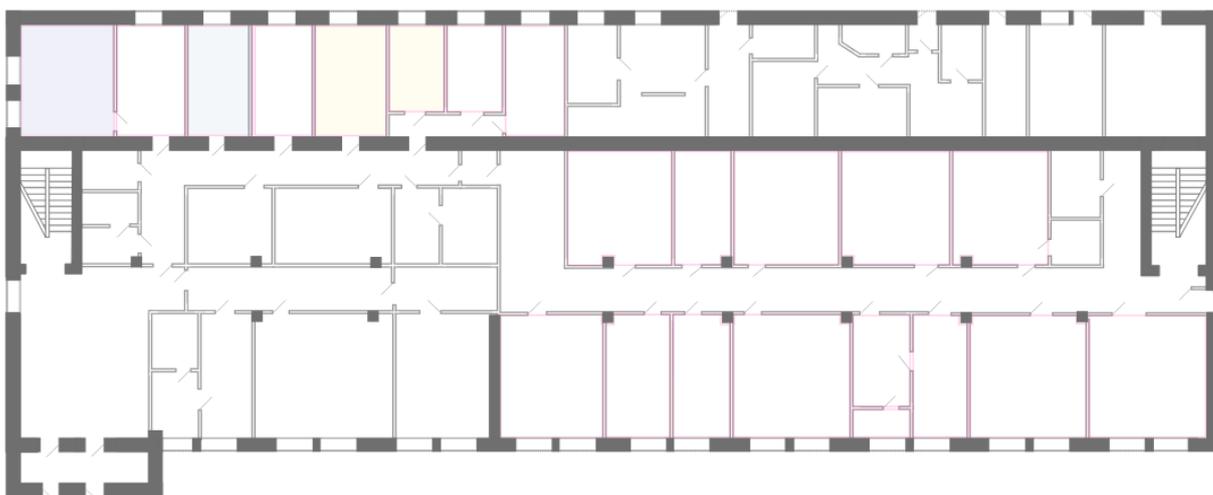


Рисунок 19 – План эвакуации

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

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

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

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

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

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

По возможности предотвратить развитие аварии, обозначить место аварии.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.4.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя)

правовые нормы трудового законодательства

Согласно ст. 91 ТК РФ нормальная продолжительность рабочего времени в неделю не может превышать 40 часов. Для работников, которые являются

инвалидами I или II группы устанавливается сокращенная продолжительность рабочего времени – не более 35 часов в неделю, в соответствии с ст. 92 ТК РФ. Возможно, применение гибкого режима рабочего времени по согласованию с руководством. В соответствии с медицинским заключением беременным женщинам по их заявлению снижаются нормы выработки, при этом сохраняется среднего заработка по прежней работе (ст.254 ТК РФ).

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

6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

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

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

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

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

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации.

То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

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

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

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

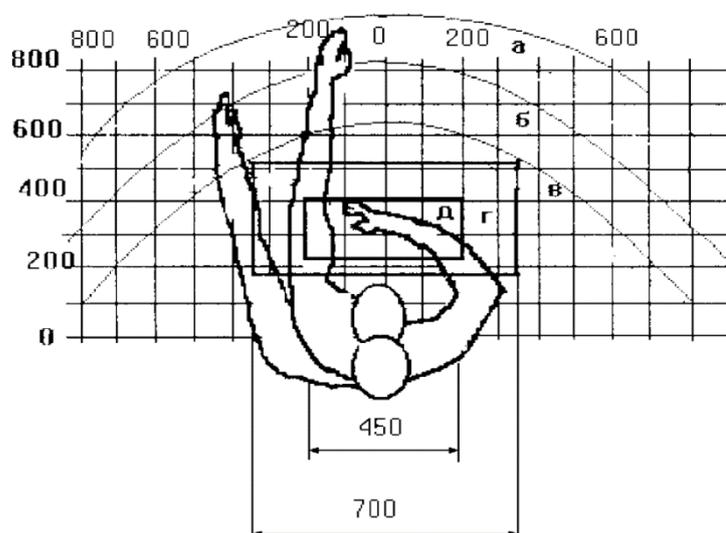


Рисунок 20 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

- а - зона максимальной досягаемости;
- б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;
- в - зона легкой досягаемости ладони;
- г - оптимальное пространство для грубой ручной работы;
- д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Для комфортной работы стол должен удовлетворять следующим условиям:

- высота стола должна быть выбрана с учетом возможности сидеть свободно, в удобной позе, при необходимости опираясь на подлокотники;

- нижняя часть стола должна быть сконструирована так, чтобы программист мог удобно сидеть, не был вынужден поджимать ноги;

- поверхность стола должна обладать свойствами, исключающими появление бликов в поле зрения программиста.

Большое значение придается характеристикам рабочего стула (кресла).

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

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400 - 550 мм и углов наклона вперед до 15° и назад до 5°;
- высоту опорной поверхности спинки 300 ± 20 мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм.

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

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

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

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

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

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

6.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В рамках раздела «Социальная ответственность» был проведен анализ вредных и опасных факторов на рабочем месте исследователя, анализ вероятных чрезвычайных ситуаций, которые могут возникать в процессе выполнения работы. Согласно проведенным исследованиям можно сделать вывод, что, при выполнении работ по разработке алгоритмов фазочастотного прослеживания, в полной мере обеспечена безопасность охраны труда и окружающей среды. Рабочее место организовано согласно соответствующим нормам производственной санитарии, технике безопасности, влияние вредных и опасных факторов минимально, так как выполнены все соответствующие мероприятия по минимизации воздействия факторов на организм исполнителя работ, а также на окружающую среду.

Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

– проведенный анализ существующих методов прослеживания показал, что при их реализации в основном используются два подхода: расчет функции взаимной корреляции с эталоном и деконволюция. Однако в обоих подходах информация о фазовых спектрах не учитывается, что существенно снижает качество данных методов в сложных сейсмогеологических условиях;

– разработанные и протестированные в данной работе алгоритмы фазочастотного прослеживания сейсмических сигналов с равновесной и неравновесной обработкой используя лишь данные о форме ФЧХ регистрируемых волн в качестве априорной информации, позволяют в условиях интенсивных помех обеспечить определение временного положения сигнала с высокой точностью, а также существенно увеличить разрешение сигналов на сейсмических записях, тем самым выделяя даже очень слабые по интенсивности отражения. Это позволяет говорить о целесообразности использования данных алгоритмов для прослеживания волн в сложных сейсмогеологических условиях;

– проведенные исследования на реальных данных, подтвердили перспективность практического использования разработанных фазочастотных алгоритмов для решения задач прослеживания сейсмических волн.

Список использованных источников

1. Гольдин С.В., Митрофанов Г.М. Спектрально-статистический метод учета поверхностных неоднородностей в системах многократного прослеживания отраженных волн. // Геология и геофизика. - 1975. - № 6. - С. 102-112.
2. Кочнев В.А., 1983, Адаптивное прослеживание отраженных волн и оценка их параметров по данным многократных систем наблюдений: Геология и геофизика 2, 95-103.
3. Кочнев В.А., 1989, Адаптивные методы прослеживания сейсмических волн и оценки параметров среды, Новосибирск, 55-61.
4. Антоненко А.В. Адаптивный метод прослеживания сейсмических волн в первых вступлениях с оценкой параметров модели ВЧР: автореферат дис. кандидата геолого-минералогических наук: 04.00.12. - Новосибирск, 1992. - 21 с.: ил.
5. Степанов Д.Ю., Алгоритмическое и программное обеспечение обработки сейсмической информации на основе методов фильтрации по направлению. Томск: ТПУ, - 2000. -С. 221-222.
6. Аржевикин Ю.А. Статистический алгоритм прослеживания геофизических объектов. В сб.: Труды 3 конференции молодых ученых НИИ физики Ленинградского университета. Ленинград. -Л., 1983, с. 209-217 (Рукопись деп. ВИНТИ 14 декаб. 1983, № 6764-83 Деп).
7. Белкина В.А. Алгоритмы поиска замкнутых вариантов прослеживания сейсмических волн в произвольных системах наблюдений. -Дис. канд. физ.-мат.наук. Тюмень, 1980, - 168 с.
8. Быков И.А. Прослеживание сейсмических волн при трехкомпонентных скважинных наблюдениях. В сб.: Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн. - Вып. 22.

9. Пахомов А.А. Статистические алгоритмы прослеживания отражающих площадок. В сб.: Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн. - Вып. 16. - Л., Наука, 1976, с. 183-191.
10. Устюжанин В.В. Прослеживание сейсмических волн с учетом априорной информации. Геология и геофизика, 1982, 9, с. 90-95.
11. Крауклис Л.А., Моисеева Л.А. Программа корреляции сейсмических волн. В кн.: Программы для интерпретации сейсмических наблюдений. - Л., Наука, 1972, с. 11-75.
12. Форсайт Дж.Е., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. М., Мир, 1980, - 280 с.
13. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М., Наука, 1973, - 831 с. Научная библиотека диссертаций и авторефератов
14. Каратаев Г.И. Корреляционная схема геологической интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. Новосибирск, Наука, 1966, - 135 с.
15. Боганик Г.Н. Алгоритм статистического прослеживания волн для обработки наблюдений МОБ. Изв. ВУЗов. Геология и разведка, 1977, II, с. 136-143.
16. Боганик Г. Н. Сейсморазведка: Учеб. для вузов / Г. Н. Боганик, И. И. Гурвич. Тверь: Изд-во АИС, 2006.
17. Фазочастотная деконволюция сейсмических волн [Электронный ресурс] / А. И. Кочегуров [и др.] // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) . — 2017. — Т. 328, № 12 . — [С. 84-93].
18. Mohamed Mhmod, Feng Xuan, Xu Cong. Parameters effects on spiking deconvolution of land seismic data // Global Geology. – 2015. – V. 18 (4). – P. 226–231.

19. Романов В.В. Возможности повышения разрешенности сейсмограмм метода преломленных волн (МПВ) // Технологии сейсморазведки. – 2013. – № 4. – С. 67–73.
20. Станкевич Л.С. Обработка сейсмических разрезов методом динамического сжатия // Геофизика, геофизическое приборостроение. – 2015. – № 1 (21). – С. 78–85.
21. Митрофанов Г.М. Гомоморфная фильтрация и слепая деконволюция // Технологии сейсморазведки. – 2015. – № 1. – С. 46–56.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. Сильвия М.Т., Робинсон Э.А. Обратная фильтрация геофизических временных рядов при разведке на нефть и газ. – М.: Недра, 1983. – 382 с.
27. Гурвич И.И., Боганик Г.Н. Сейсморазведка. Учебник для вузов. –Тверь: Изд-во АИС, 2006. -744 с.
28. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. -М.: Радио и связь,1981. -416с.
29. Гольдин С.В. Линейные преобразования сейсмических сигналов. -М.: Недра, 1974. -352 с.

30. Никитин А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации. – М.: Недра, 1986. – 342 с.
31. Материалы по продуктам MATLAB & Toolboxes [Электронный ресурс]. URL: <http://matlab.exponenta.ru/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения: 20.04.2019 г.
32. Статистическая интерпретация геофизических данных /Под ред. Ф.М. Гольцмана. Л., ЛГУ, 1981, - 256 с.
33. Кочегуров А.И. Исследование функции правдоподобия, формируемой при реализации методов фазочастотного прослеживания сейсмических волн // «Наука и образование – ведущий фактор стратегии Казахстан–2030». (Сагиновские чтения № 2): Сб. трудов Междунар. научн. конф. Караганда, 24–26 июня 2010. – Ч. 3. – Караганда: КарГТУ, 2010. – С. 364–365.
34. Тяпкин Ю.К. Оптимальная линейно-фазовая полосовая фильтрация сейсмических записей // Геология и геофизика. – 1984. – № 3. – С. 99–105.
35. Иванченков В.П., Вылегжанин О.Н., Орлов О.В., Козлов А.А. 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.
36. Иванченков В.П., Кочегуров А.И., Орлов О.В. О точности определения временного положения сейсмических сигналов по оценкам их фазочастотных характеристик // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 5. – С. 49–53.
37. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоатом-издат, 1982. – 800 с.
38. Кнорринг Г.М. Осветительные установки. – Л.: Энергия, 1981. – 412 с.
39. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г.М. Кнорринга. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
40. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
41. ГОСТ 6825-91. Лампы люминесцентные трубчатые для общего освещения.

42. ГОСТ 2239-79. Лампы накаливания общего назначения.
43. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
44. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
45. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
46. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
47. ГОСТ 12.1.003–83. Шум. Общие требования безопасности труда.
48. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
49. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
50. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.
51. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

Приложение А

(обязательное)

Chapter 2

Algorithm development to determine temporal position of seismic signals based on phase-frequency tracking method

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ71	Кураксин Александр Юрьевич		

Консультант отделения информационных технологий ИШИТР

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

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ИШИТР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШИТР	Сидоренко Татьяна Валерьевна	к.п.н.		

2 Algorithm development to determine temporal position of seismic signals based on phase-frequency tracking method

The main tasks of tracking seismic waves are: the detection of fixed waves and the determination of their temporary position. A number of methods have been proposed for these tasks in seismic prospecting, using mainly the energy characteristics of signals as informative features. At the same time, in complex seismic and geological conditions, the informativeness of the phase-frequency characteristics (phase response) may be significantly higher compared with the energy ones. In the phase of the signal, more precisely in the complex law of change in the phase spectrum, information can be laid down, which makes it possible to most effectively isolate signals from interference and evaluate their parameters [27 - 28].

In this regard, we proceed to the development of methods for detecting and determining the temporal position of signals using information extracted from the phase response of the recorded waves.

2.1 Phase-frequency seismic wave tracking method

The usual solution of the problem of determining the temporal position of a signal reduces it to estimating one of the non-energy parameters of a normal random process and does not take into account the specifics of the time parameter. At the same time, the representation of the temporal position of the signal in the exponential basis is completely determined by its phase response. Therefore, optimal processing of the frequency response of the signal implements the optimal method for determining its temporal position [27].

2.2. Development of algorithms for determining the temporal position of seismic signals

The tasks of tracking were solved by a variety of methods that, in their work, needed only information on the phase spectra of the recorded signals [35]. So in [35] the optimal method for tracking fixed waves observed against Gaussian interference was considered, which is implemented as a procedure for finding the maximum probability function:

$$L(t) = \sum_{k=1}^m \delta(\omega_k) \cos(\Delta\phi(\omega_k) - \omega_k t), \quad (2.2.1)$$

Here $\Delta\phi(\omega_k) = \phi_x(\omega_k) - \phi_s(\omega_k)$ – the deviation of the phase spectrum of the signal from the phase spectrum of the mixture of signal and noise, $\delta(\omega_k) = A(\omega_k) / \sigma(\omega_k)$ – peak signal to noise ratio at frequency ω_k , m – number of frequency components analyzed.

Practical application of optimal phase-frequency algorithms of the form (2.2.1) encounters a number of problems, particularly related to the assessment of the distribution of relationships $\delta(\omega_k)$ in the studied frequency range. Indeed, the shape of the recorded seismic signals, as a rule, is unknown, and, therefore, unknown $\delta(\omega_k)$, $k = \overline{1, m}$. At the same time, the exact values of the phase spectrum of the selected signals are also usually unknown. At the same time, the exact values of the phase spectrum of the selected signals are also usually unknown.

In this regard, the development of phase-frequency algorithms with equilibrium and non-equilibrium processing takes place. These algorithms can be obtained from the optimal method by replacing in (2.2.1) weight function $\delta(\omega_k)$ to other specially selected functions. In the general case, the algorithm can be represented as follows:

In a given analysis window, a discrete Fourier transform is performed, according to which the process of calculating the phase response takes the form:

$$a(k) = \sum_{T=1}^{31} X(t_i) \cdot \cos((\omega_h + k\Delta\omega) \cdot (t_h + T\Delta t)), \quad (2.2.2)$$

$$b(k) = \sum_{T=1}^{31} X(t_i) \cdot \sin((\omega_h + k\Delta\omega) \cdot (t_h + T\Delta t)), \quad (2.2.3)$$

$$\varphi(k) = \text{arctg}\left(\frac{b(k)}{a(k)}\right), \quad (2.2.4)$$

for all $k = \overline{1, m}$, where

m – number of frequency components analyzed;

T – position in the analysis window;

ω_H – lower frequency;

Δt , $\Delta\omega$ – sampling time and frequency, respectively.

Next, you need to calculate the likelihood (quality) function. In the general case, the likelihood function (criterion for estimating the temporal position of signals) for such an algorithm can be written in the form:

$$L(\tau) = \sum_{k=1}^m W(k) \cdot \cos(\varphi(k) - \omega_k \tau), \quad (2.2.5)$$

$W(k)$ – frequency weighting function, the form of which depends on the phase-frequency algorithm implemented;

$\varphi(k)$ – current phase spectrum of the seismic tract (2.2.4), calculated in the analysis window;

τ – sequence number of the analysis window.

After calculating the likelihood function (2.2.5), the analysis window is shifted by iteration, as shown in (Fig. 4). Considering that the analysis window moves along a seismic trace with a step equal to the trace discretization step, it is a matter of calculating the instantaneous (current) phase response [33].

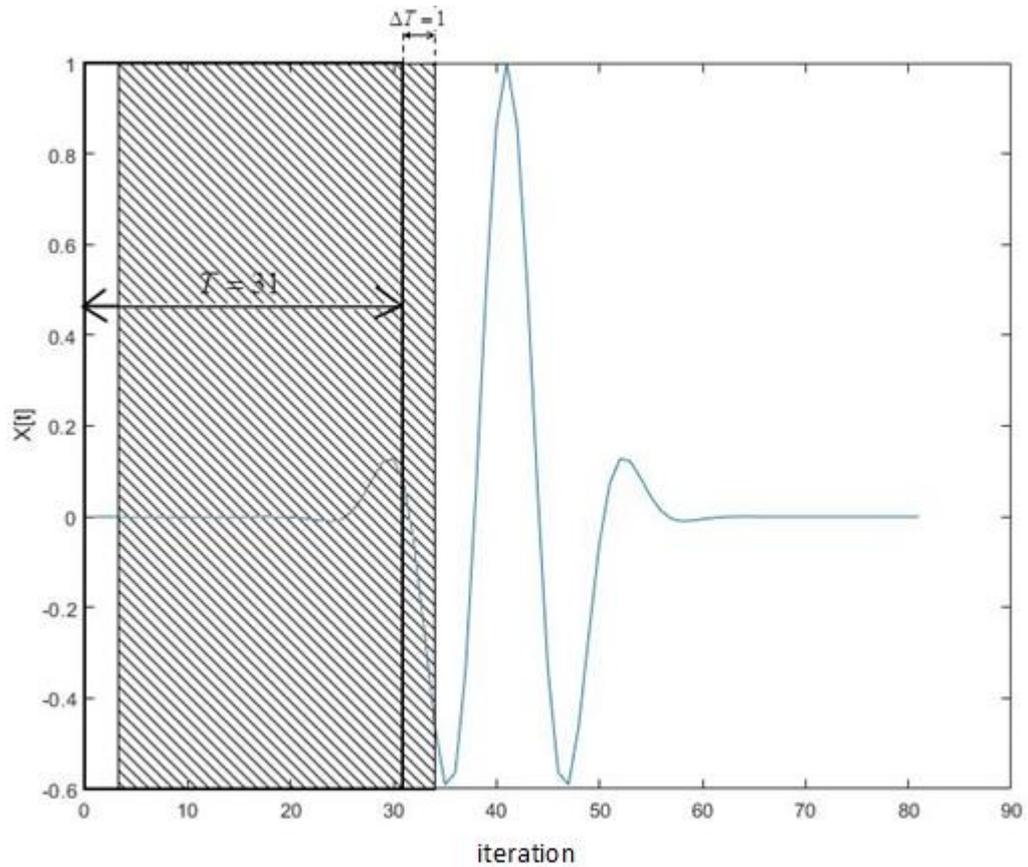


Figure 4 – sliding analysis window

The instantaneous phase response is “sliding” integration, while the integration interval has a constant duration T , equal to the duration of the signal.

Thus, the phase-tracking wave tracking algorithm should represent a sequence of actions, as a result of which the quality functions (2.2.5) will be constructed for different observation points on the profiles. At the same time, the positions of the maxima of the quality function will determine the temporal position of the signals by which the reflecting boundaries in the time sections will be traced.

2.2.1 Algorithm for determining the temporal position of seismic signals based on the method of phase-frequency tracking with equilibrium processing

Referring to the expression (2.2.5) from which it follows that to build an algorithm for phase-frequency tracking with equilibrium processing, it is necessary:

- 8) set the duration of the analysis window and the frequency range in which the main signal energy is concentrated;
- 9) set the analysis window to its original position on the seismic line;
- 10) for the algorithm with equilibrium processing, take the weight function $W(k)$ equal to one in the whole frequency band;
- 11) calculate in the specified analysis window the frequency response of the signal for the selected frequency range;
- 12) computed phase response subjected to trigonometric transformation (take the cosine of the angle);
- 13) sum up the transformed phase spectra over the entire frequency range, thereby forming the value of the likelihood function (2.2.5) for a specific τ ;
- 14) move the analysis window along the seismic line and repeat the operations described in clauses 4-6 until the entire analyzed section is traced.

The tracking interval, as noted above, is determined by the duration of the signal in the reflection area, so the initial position of the analysis window is not difficult to establish. However, in order to ensure a high accuracy of the obtained estimate of the temporal position of the signal, the step of moving the analysis window along the track must be equal to the seismic trace sampling step, those $\Delta T = 1$.

Now, taking into account the above, the structure of the tracking algorithm with equilibrium processing has the form shown in (Fig. 5).

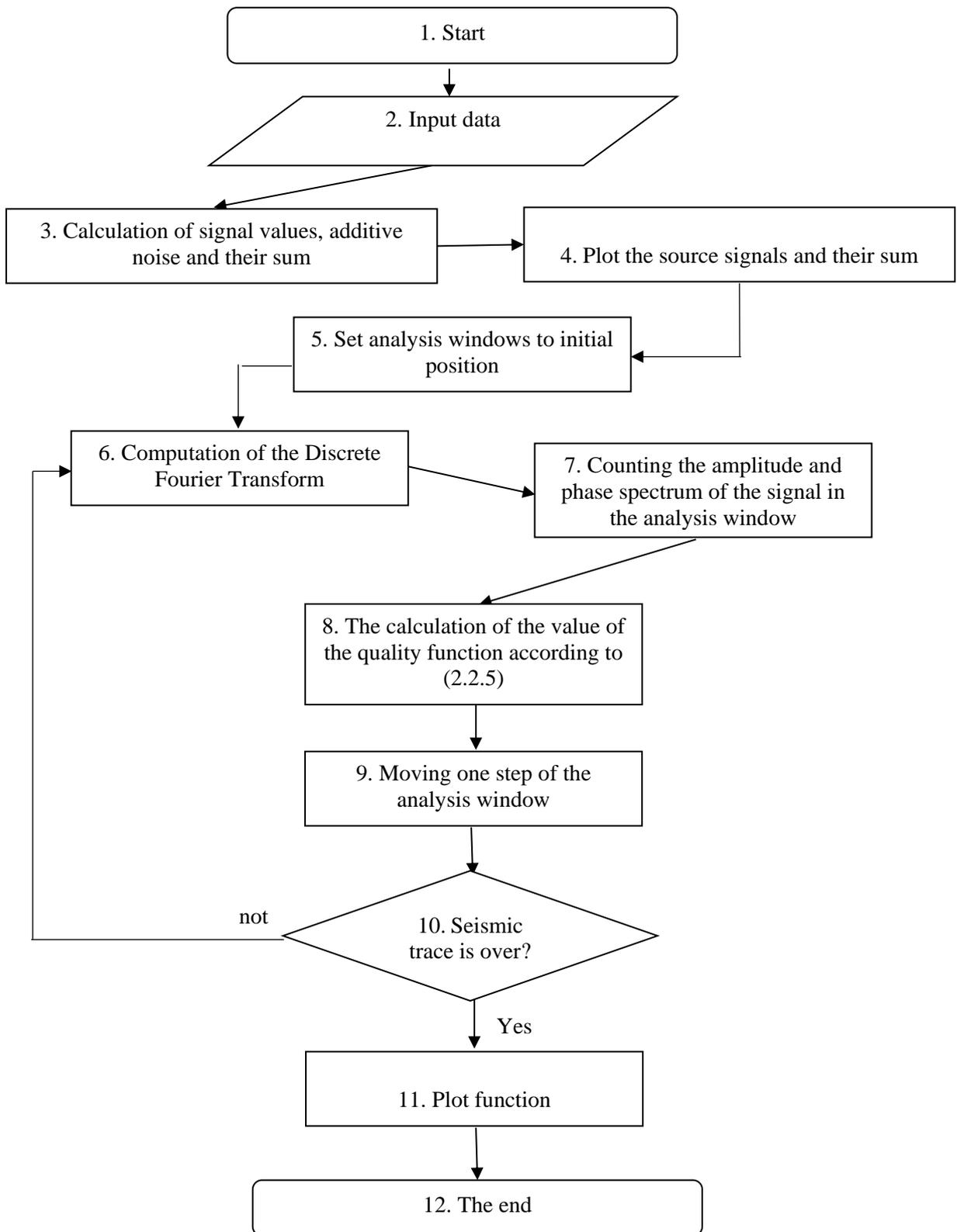


Figure 5 – Block diagram of the phase-tracking algorithm with the equilibrium processing

To test the efficiency of the obtained algorithm, it was tested on the selected model of the seismic line (1.2.3) with one impulse (Fig.6, a), the results of the executed tracking algorithm are shown in (Fig.6, b).

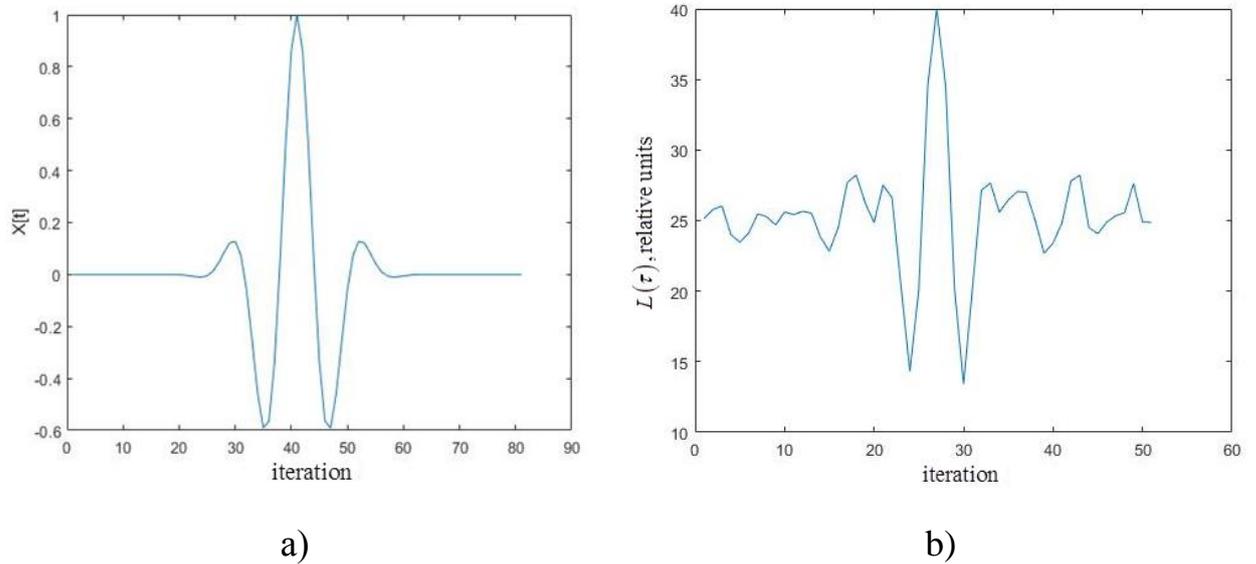


Figure 6 – Testing the phase-tracking tracking algorithm with equilibrium processing

Based on the results obtained, it can be concluded that the tracking algorithm has a sufficiently high accuracy of the obtained estimate of the temporal position of the signal.

2.2.2 Algorithm for determining the temporal position of seismic signals based on the method of phase-frequency tracking with non-equilibrium processing

For non-equilibrium processing algorithm, the weight function $W(k)$ can be specified in a triangular, sinusoidal or exponential form. As studies have shown in [33], the results of which will be given below, the weight functions of a triangular type have all the necessary properties to increase the resolution of the signals, therefore these functions were used in the developed algorithms. So, with further research $W(k)$ was set as a triangular function:

$$W(k) = \frac{125}{2\omega_c^2} \begin{cases} 0, & \omega \leq \omega_H \\ \frac{1}{28}(\omega - \omega_H), & \omega_H < \omega \leq \omega_C \\ -\frac{1}{4\omega_C}(\omega - \omega_B), & \omega_C < \omega \leq \omega_B \end{cases} \quad (2.2.2.1)$$

where ω_B and ω_H – high and low frequencies respectively, ω_C – maximum frequency.

To build a phase-tracking algorithm with equilibrium processing is necessary:

- 10) set the duration of the analysis window and the frequency range in which the main signal energy is concentrated;
- 11) set the analysis window to its original position on the seismic line;
- 12) select the type of weight function and calculate its values in a given frequency range;
- 13) calculate in the specified analysis window the phase response of the seismic tract for the selected frequency range;
- 14) calculated deviations subject to trigonometric transformation (cosine of an angle);
- 15) amplify selected harmonics of transformed deviations;
- 16) sum up the transformed phase spectra over the entire frequency range, thereby forming the value of the likelihood function (2.2.5) for a specific τ ;
- 17) move the analysis window along the seismic line and repeat the operations described in sections 4 - 7 until the entire analyzed area is traced.

The structure of the tracking algorithm with the equilibrium processing has the form shown on (Fig. 7).

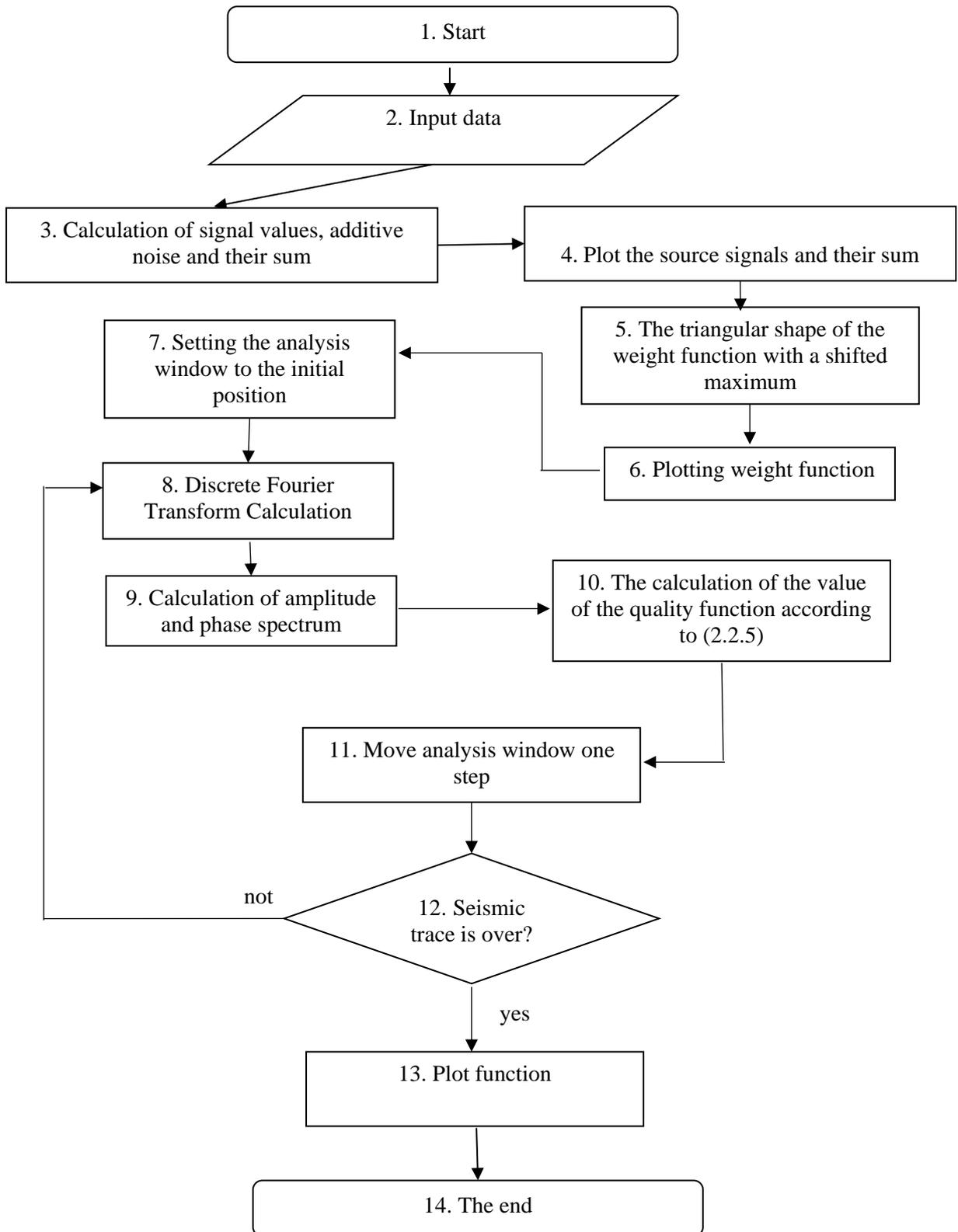


Figure 7 – Block diagram of the phase-tracking algorithm with the non - equilibrium processing

To test the performance of the algorithm with non-equilibrium processing, it was tested on the selected seismic trace model (1.2.3) with a single pulse (Fig.8, a), a triangular weight function with a shifted maximum is represented by (Fig.8, c), the results of the tracking algorithm are shown in (Fig.8, b).

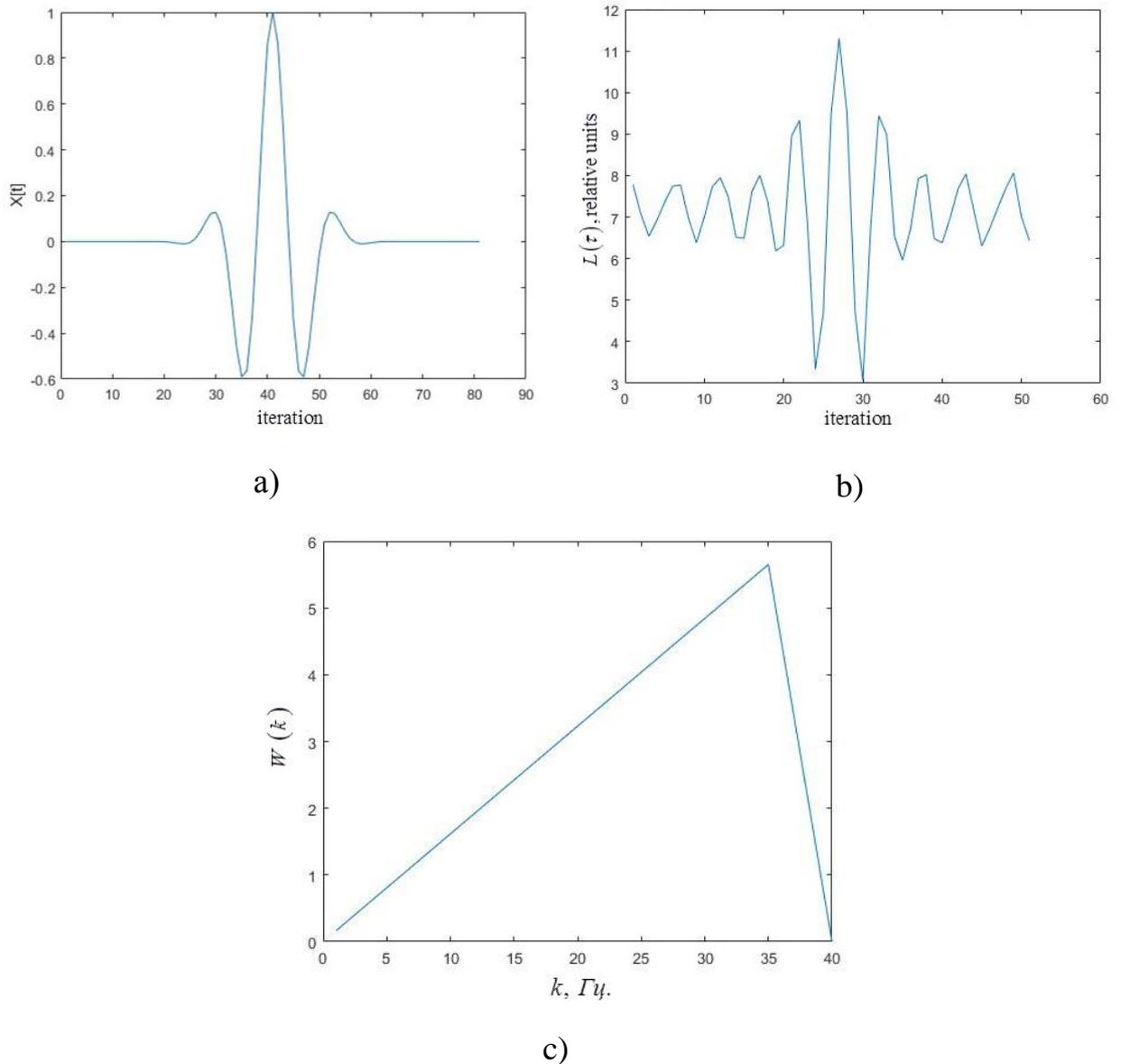


Figure 8 – Testing the phase-tracking tracking algorithm with non - equilibrium processing

It is important to note that the synthesis of algorithms with equilibrium and non - equilibrium processing is based on the previously established stationarity property of the phase spectra of pulses of a single reflected wave. This property is that when combining the origin with the center of the analysis window, the phase spectra of seismic pulses take a constant, frequency independent value [36].

Consider the image obtained in the process of tracking. First of all, we note the presence of signal compression, and, therefore, there is a real opportunity to increase the resolution of the signals on the recording. In addition, when implementing such an algorithm, by setting weights, you can control its frequency response, thereby enhancing or attenuating various frequency components of the signal.

Приложение Б

(справочное)

Тексты программного кода, написанного в среде MATLAB

Листинг 1. Листинг основного m – файла *prog.m*

```
clc
clear all
%начальные данные
a0 = 1;
f0 = 40;%нижний порог частоты
beta = 60;
fi = 0;
t0 = -0.07;
T = 0.07;
dt = 0.002;
tau = 0.06;
omega = 2*pi*f0;
%Отсчёты
n = T/dt;
t = t0:dt:T;
sigma = a0/5;%дисперсия нормального распределения
(среднеквадратическое отклонение)
ksi = normrnd(0,sigma,[1,length(t)]); %шум (1я вариация)

snrt = [1,3,5,10,15]; % соотношение сигнал/шум
snr = 1;
S = a0*exp(-(beta^2).*(t).^2).*cos(omega*t+fi);
%сигнал
Sh = awgn(S,snr,'measured','db'); %мощность сигнала не считается
равной 0 дБ, а автоматически измеряется.

% figure
% plot(t,S,t,Sh); % график сигнала и шума
% ylabel('X[t]');
% xlabel('t,c');

% figure
% plot(S);
% ylabel('X[t]');
% xlabel('итерация');
%полезный сигнал, импульс с колокольной огибающей со сдвигом
t = t + tau;
Stau = a0*exp(-(beta^2).*((t).^2)).*cos(omega*(t)+fi);
%сигнал со сдвигом
% figure
% plot(t,S,t,Stau);
%окончательная математическая модель модель
X = S+Stau;
%figure
%plot(X);
c = 1;
```

```

TT = 31; % дискретных элементов в окне анализа
tn = -0.03;
wn = 20*2*pi;
dw = 1*2*pi;
%Окно анализа
for i = 1:1:length(S)-TT+1
    okno = S(i:i+TT-1);
    for K = 1:1:40 % анализируемые частотные компоненты 20 - 60
        Гц
            for j = 1:1:length(okno)
                aa(j) = okno(j) * cos((wn + K * dw)*(tn + j*dt));
                bb(j) = okno(j) * sin((wn + K * dw)*(tn + j*dt));
            end
            a(K) = sum(aa);
            b(K) = sum(bb);
            fi(K) = atan(b(K)/a(K));
            L(K) = cos(fi(K));
        end
        if (i > 30) && (i < 35) %построение фазового спектра в
промежутке
            % plot (fi);hold on;
        end
        LL(i) = sum(L);
    end

M = find(LL == max(LL));

for z = 1:1:length(snr)
    snr = snr(z);
    % figure
    % plot(t,S,t,Sh);
    for q = 1:1:100
        Sh = awgn(S,snr);
        for i = 1:1:length(Sh)-TT+1 % сигнал с шумом
            okno = Sh(i:i+TT-1);
            for K = 1:1:40 % анализируемые частотные компоненты
20 - 60 Гц
                for j = 1:1:length(okno)
                    aa(j) = okno(j) * cos((wn + K * dw)*(tn +
j*dt));
                    bb(j) = okno(j) * sin((wn + K * dw)*(tn +
j*dt));
                end
                a(K) = sum(aa);
                b(K) = sum(bb);
                fi(K) = atan(b(K)/a(K));
                L(K) = cos(fi(K));
            end
            if (i > 30) && (i < 35) %построение фазового спектра в
промежутке
                % plot (fi);hold on;
            end
            LLh(i) = sum(L);
        end
    end
end

```

```

        end
        Mh(q) = abs(M - find(LLh == max(LLh)));
    end
    MO(z) = mean(Mh)*0.002;
    MMv(z) = MO(z) + 0.15 * MO(z);
    MMn(z) = MO(z) - 0.15 * MO(z);
    DIS(z) = sqrt(cov(Mh))*0.002;
    DDv(z) = DIS(z) + 0.15 * DIS(z);
    DDn(z) = DIS(z) - 0.15 * DIS(z);
end

% figure
% plot(LL);
% ylabel('f, Гц');
% xlabel('итерация');
% figure
% plot(LLh);
%
% figure
% plot(S);
figure;
plot(snrt,MO,snrt,MMv,'m--',snrt,MMn,'m--');
ylabel('M[X], мс');
xlabel('соотношение - сигнал/шум');

figure;
plot(snrt,DIS,snrt,DDv,'m--',snrt,DDn,'m--');
ylabel('D[X]');
xlabel('соотношение - сигнал/шум');

```

Листинг 2. Листинг файла – функции *Wes2.m*

```

function W = Wes2(KK,wn,wv,wc) % из файла алгоритм
    if (KK <= wn)
        W = 0;
    else if (KK > wn) && (KK <= wc)
        W = (125/2 * ((wc)^2))*1/28*(KK - wn);
    else if (KK > wc) && (KK <= wv)
        W = (125/2 * ((wc)^2)) * (-1/4) * (KK - wv);
    end
    end
end
end
end

```

Листинг 3. Листинг основного m – файла *prog_with_wes.m*

```

clc
clear all
%начальные данные
a0 = 1;
f0 = 40;%нижний порог частоты
beta = 60;
fi = 0;

```

```

t0 = -0.06;
T = 0.06;
dt = 0.002;
tau = 0.06;
omega = 2*pi*f0;
%Отсчёты
n = T/dt;
t = t0:dt:T;
sigma = a0/5;%дисперсия нормального распределения
(среднеквадратическое отклонение)
ksi = normrnd(0,sigma,[1,length(t)]); %шум (1я вариация)

snrt = [1,3,5,10,15]; % соотношение сигнал/шум
snr = 10;
S = a0*exp(-(beta^2).*(t).^2).*cos(omega*t+fi);
%сигнал
Sh = awgn(S,snr,'measured'); % мощность сигнала не считается
равной 0 дБ, а автоматически измеряется.

% figure
% plot(S);
% ylabel('X[t]');
% xlabel('итерация');
% figure
% plot(t,S,t,Sh); % график сигнала и шума

%полезный сигнал, импульс с колокольной огибающей со сдвигом
t = t + tau;
Stau = a0*exp(-(beta^2).*(t).^2).*cos(omega*(t)+fi);
%сигнал со сдвигом
%figure
%plot(t,S,t,Stau);
%окончателная математическая модель модель
X = S+Stau;
%figure
%plot(X);
с = 1;
ТТ = 31; % дискретных элементов в окне анализа
tn = -0.03;
wn = 20*2*pi;
%wc = 2*wn;
wc = 54*2*pi;
wv = 60*2*pi;
dw = 1*2*pi;
%Окно анализа
for i = 1:1:length(S)-ТТ+1
    okno = S(i:i+ТТ-1);
    for К = 1:1:40 % анализируемые частотные компоненты 20 - 60
        Гц
            for j = 1:1:length(okno)
                aa(j) = okno(j) * cos((wn + К * dw)*(tn + j*dt));
                bb(j) = okno(j) * sin((wn + К * dw)*(tn + j*dt));
            end
        end
    end
end

```

```

        a(K) = sum(aa);
        b(K) = sum(bb);
        fi(K) = atan(b(K)/a(K));
        KK = wn + K * dw;
        W(K) = Wes2(KK,wn,wv,wc);
        L(K) = W(K) * cos(fi(K));
    end
% if (i > 30) && (i < 35)    %построение фазового спектра в
% промежутке
%     plot (fi);hold on;
% end
    LL(i) = sum(L);
end

M = find(LL == max(LL));

for z = 1:1:length(snrt)
    snr = snrt(z);
%     figure
%     plot(t,S,t,Sh);
    for q = 1:1:100
        Sh = awgn(S,snr);
        for i = 1:1:length(Sh)-TT+1    % сигнал с шумом
            okno = Sh(i:i+TT-1);
                for K = 1:1:40 % анализируемые частотные компоненты
20 - 60 Гц
                    for j = 1:1:length(okno)
                        aa(j) = okno(j) * cos((wn + K * dw)*(tn +
j*dt));
                        bb(j) = okno(j) * sin((wn + K * dw)*(tn +
j*dt));
                    end
                    a(K) = sum(aa);
                    b(K) = sum(bb);
                    fi(K) = atan(b(K)/a(K));
                    KK = wn + K * dw;
                    W(K) = Wes2(KK,wn,wv,wc);
                    L(K) = W(K) * cos(fi(K));
                end
            if (i > 30) && (i < 35)    %построение фазового спектра в
% промежутке
%                 plot (fi);hold on;
            end
            LLh(i) = sum(L);
        end
        Mh(q) = abs(M - find(LLh == max(LLh)));
    end
    MO(z) = mean(Mh)*0.002;
    MMv(z) = MO(z) + 0.10 * MO(z);
    MMn(z) = MO(z) - 0.10 * MO(z);
    DIS(z) = sqrt(cov(Mh))*0.002;
    DDv(z) = DIS(z) + 0.10 * DIS(z);
    DDn(z) = DIS(z) - 0.10 * DIS(z);

```

```

end
figure
plot(snr,MO,snrt,MMv,'m--',snrt,MMn,'m--');
ylabel('M[X],мс');
xlabel('соотношение - сигнал/шум');

figure
plot(snr,DIS,snrt,DDv,'m--',snrt,DDn,'m--');
ylabel('D[X]');
xlabel('соотношение - сигнал/шум');

```

Листинг 4. Листинг основного m – файла *interfer_signal.m*

```

clc
clear all
%начальные данные
a0 = 1;
f0 = 40;%нижний порог частоты
beta = 60;
fi = 0;
t0 = -0.06;
T = 0.06;
dt = 0.002;
tau = 0.0145;
omega = 2*pi*f0;
% для весовой функции
wc = 54*2*pi;
wv = 60*2*pi;
dw = 1*2*pi;
%Отсчёты
n = T/dt;
t = t0:dt:T;
sigma = a0/5;%дисперсия нормального распределения
(среднеквадратическое отклонение)
ksi = normrnd(0,sigma,[1,length(t)]); %шум (1я вариация)

snrt = [1,3,5,10,15]; % соотношение сигнал/шум
snr = 3;
S = a0*exp(-(beta^2).*(t).^2).*cos(omega*t+fi);
%сигнал
Sh = awgn(S,snr,'measured','db'); %мощность сигнала не считается
равной 0 дБ, а автоматически измеряется.

% figure
% plot(t,S,t,Sh); % график сигнала и шума

%полезный сигнал, импульс с колокольной огибающей со сдвигом
t = t + tau;
Stau = a0*exp(-(beta^2).*((t).^2)).*cos(omega*(t)+fi);
%сигнал со сдвигом

figure
plot(t,S,t,Stau);

```

```

%окончательная математическая модель модель
S = S+Stau;
%figure
%plot(X);
c = 1;
TT = 31; % дискретных элементов в окне анализа
tn = -0.03;
wn = 20*2*pi;
dw = 1*2*pi;
%Окно анализа
for i = 1:1:length(S)-TT+1
    okno = S(i:i+TT-1);
    for K = 1:1:40 % анализируемые частотные компоненты 20 - 60
        Гц
            for j = 1:1:length(okno)
                aa(j) = okno(j) * cos((wn + K * dw)*(tn + j*dt));
                bb(j) = okno(j) * sin((wn + K * dw)*(tn + j*dt));
            end
            a(K) = sum(aa);
            b(K) = sum(bb);
            fi(K) = atan(b(K)/a(K));
            KK = wn + K * dw;
            W(K) = Wes2(KK,wn,wv,wc);
            L(K) = W(K) * cos(fi(K));
        end
        if (i > 30) && (i < 35) %построение фазового спектра в
промежутке
            % plot (fi);hold on;
        end
        LL(i) = sum(L);
    end

pks = findpeaks(LL); % ПОИСК ДВУХ ЛОКАЛЬНЫХ МАКСИМУМОВ
M2 = 0;
for mm = 1:1:length(pks)
    if (pks(mm) == max(pks))
        M = pks(mm);
    else if(pks(mm) > M2)
        M2 = pks(mm);
    end
end
end
M = find(LL == M);
M2 = find(LL == M2);

for z = 1:1:length(snrt)
    snr = snrt(z);
    % figure
    % plot(t,S,t,Sh);
    for q = 1:1:100
        Sh = awgn(S,snr);
        for i = 1:1:length(Sh)-TT+1 % СИГНАЛ С ШУМОМ

```

```

        okno = Sh(i:i+TT-1);
        for K = 1:1:40 % анализируемые частотные компоненты
20 - 60 Гц
            for j = 1:1:length(okno)
                aa(j) = okno(j) * cos((wn + K * dw)*(tn +
j*dt));
                bb(j) = okno(j) * sin((wn + K * dw)*(tn +
j*dt));
            end
            a(K) = sum(aa);
            b(K) = sum(bb);
            fi(K) = atan(b(K)/a(K));
            L(K) = cos(fi(K));
        end
        if (i > 30) && (i < 35) %построение фазового спектра в
промежутке
            % plot (fi);hold on;
        end
        LLh(i) = sum(L);
    end
    Mh(q) = abs(M - find(LLh == max(LLh)));
end
MO(z) = mean(Mh);
DIS(z) = cov(Mh);

end

```