

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

Институт кибернетики _____
Направление подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика _____
Кафедра Прикладной математики _____

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Алгоритмы определения временного положения сложных сигналов на основе спектральных представлений	

УДК 621.391:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б21	Ильясова Ильмира Эльмировна		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. менеджмента ИСГТ	Николаенко Валентин Сергеевич			

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой ПМ ИК	Гергет Ольга Михайловна	к. т. н., доцент		

Томск – 2016 г.

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

Институт кибернетики _____
Направление подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика _____
Кафедра Прикладной математики _____

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Гергет О.М.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
8Б21	Ильясовой Ильмире Эльмировне

Тема работы:

Алгоритмы определения временного положения сложных сигналов на основе спектральных представлений	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	– руководство по пакету прикладных программ MATLAB; – литературные источники.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	– сложные сигналы и их применение в задачах обработки сейсмических данных; – алгоритм определения временного положения сложных сигналов на основе дискретного преобразования Фурье; – алгоритм прямого и обратного вейвлет-преобразования сложных сигналов; – исследование точности определения временного положения сейсмических сигналов с помощью разработанных алгоритмов; – финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; – социальная ответственность.
Перечень графического материала	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Ассистент кафедры менеджмента Николаенко Валентин Сергеевич
Социальная ответственность	Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Антоневиц Ольга Алексеевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б21	Ильясова Ильмира Эльмировна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Б21	Ильясова Ильмира Эльмировна

Институт	Институт кибернетики	Кафедра	Прикладной математики
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Прикладная математика и информатика

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Разработка алгоритмов, предназначенных для оценки временного положения сложных сигналов при решении практических задач в условиях, когда сигналы распространяются в дисперсионных средах.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. 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
Ассистент каф. менеджмента ИСГТ	Николаенко Валентин Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б21	Ильясова Ильмира Эльмировна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Б21	Ильсова Ильмира Эльмировна

Институт	Институт кибернетики	Кафедра	Прикладной математики
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Прикладная математика и информатика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Рабочим местом является аудитория №105 Кибернетического центра Томского политехнического университета. В аудитории рабочей зоной является место за персональным компьютером с периферийными устройствами. Программный комплекс будет использоваться для анализа сейсмических волн. Предприятие, по проблеме которого будет выполнена работа: ООО «Сибнефтегазинновация», г. Томск
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность	Анализ выявленных вредных факторов: – недостаточная освещенность рабочей зоны; – отсутствие или недостаток естественного света; – повышенный уровень шума; – повышенный уровень электромагнитных излучений; – повышенная напряжённость электрического поля; – повышенная или пониженная влажность воздуха. Анализ выявленных опасных факторов: – статическое электричество; – пожароопасность.
--	--

(причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).	
2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Анализ негативного воздействия на окружающую природную среду: утилизация люминесцентных ламп.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	Возможные чрезвычайные ситуации: – пожар на рабочем месте разработчика.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Рабочее место при выполнении работ сидя регулируется ГОСТом 12.2.032 – 78. Организация рабочих мест с электронно-вычислительными машинами регулируется СанПиНом 2.2.2/2.4.1340 – 03.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б21	Ильясова Ильмира Эльмировна		

**Планируемые результаты обучения по направлению
01.03.02 «Прикладная математика и информатика»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Умение использовать междисциплинарные знания при определении задач математического моделирования объектов и явлений в различных предметных областях
P2	Способность осуществлять социально-ориентированную деятельность в соответствии с корпоративной политикой, с соблюдением норм профессиональной этики
P3	Способность применять полученные профессиональные знания для определения, формулирования и решения производственных задач и обоснованно выбирать эффективные методы проектирования для достижения новых результатов.
Общекультурные компетенции	
P4	Эффективно работать индивидуально (или в качестве члена команды) или руководителем производственного или научного коллектива по междисциплинарной тематике, демонстрировать ответственность за результаты работы.
P5	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности, расширять и углублять свое научное мировоззрение. Способность к интеллектуальному, культурному, нравственному и профессиональному саморазвитию.

Реферат

Выпускная квалификационная работа: 92 с., 23 рис., 26 табл., 23 источника, 2 прил.

Ключевые слова: сейсмический сигнал, дискретное преобразование Фурье (ДПФ), дискретное вейвлет-преобразование (ДВП), шумоподавление.

Объектом исследования являются сложные сейсмические сигналы.

Цель работы – разработка и исследование алгоритмов определения временного положения сложных сигналов на основе их спектральных представлений.

В процессе исследования проводилось теоретическое ознакомление с ДПФ и ДВП, разработка алгоритмов на их основе и реализация в системе MATLAB.

В результате исследования выявлено, что использование алгоритмов на основе ДВП в задачах обработки и интерпретации сейсмических данных имеет ряд преимуществ по сравнению с ДПФ.

Степень внедрения: разработанные в рамках бакалаврской работы алгоритмы будут использованы в ООО «Сибнефтегазинновация», г. Томск.

Область применения: разработанные алгоритмы могут применяться в задачах обработки и интерпретации сейсмических данных.

Экономическая эффективность работы в высокой научной значимости и актуальности поставленной задачи.

В будущем планируется проводить исследование и улучшение алгоритмов на основе вейвлет-преобразования.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

аддитивность: свойство величин, состоящее в том, что значение величины, соответствующее целому объекту, равно сумме значений величин, соответствующих его частям, в некотором классе возможных разбиений объекта на части.

апостериорный: опытный, выведенный из опыта.

априорный: не зависящий от опыта, предшествующий опыту.

квазиоптимальный: близкий к оптимальному.

упругие волны: волны, распространяющиеся в жидких, твёрдых и газообразных средах за счёт действия упругих сил.

сейсмоприёмник: прибор, преобразующий механические колебания упругих волн в электрический ток переменного напряжения.

сеймотрасса: графики колебаний, получаемые в результате работы сейсмоприёмника.

сила упругости: сила, возникающая в теле в результате его деформации и стремящаяся вернуть тело в исходное состояние.

трансформант: результат преобразования.

трешолдинг: определение пороговой величины.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- 1 ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- 2 ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
- 3 ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

4 ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

5 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

6 ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.

Обозначения

ВП – вейвлет-преобразование;
ДВП – дискретное вейвлет-преобразование;
ДПФ – дискретное преобразование Фурье;
КЕО – коэффициент естественного освещения;
МОВ – метод отражённых волн;
НИР – научно-исследовательская работа;
ПК – персональный компьютер;
СКО – среднеквадратичное отклонение;
ФГЗ – функция группового запаздывания;
ФЗП – фазочастотное прослеживание;
ФЧХ – фазочастотная характеристика.

Оглавление

Введение.....	14
1 Сложные сигналы и их применение в сейсморазведке	16
1.1 Формирование и особенности сейсмических сигналов	16
1.2 Определение временного положения сигналов при обработке сейсмической информации	19
2 Алгоритм определения временного положения сложных сигналов на основе дискретного преобразования Фурье	22
2.1 Дискретное преобразование Фурье.....	22
2.2 Определение временного положения сложных сигналов по их фазочастотным характеристикам и функциям групповой задержки	24
2.3 Разработка фазочастотного алгоритма определения временного положения сигналов	28
3 Алгоритм прямого и обратного вейвлет-преобразования сложных сигналов	31
3.1 Описание вейвлет-анализа	31
3.1.1 Признаки вейвлета.....	31
3.1.2 Примеры материнских вейвлетов	32
3.1.3 Непрерывное вейвлет-преобразование.....	34
3.1.4 Свойства вейвлет-преобразования.....	35
3.1.5 Дискретное вейвлет-преобразование.....	36
3.1.6 Удаление шумов из сигнала с использованием вейвлет-преобразования	38
3.2 Разработка алгоритма вейвлет-преобразования на основе базиса Мейера.....	40
4 Исследование точности определения временного положения сейсмических сигналов с помощью разработанных алгоритмов	42
4.1 Построение математической модели сейсмической записи в программной среде MATLAB.....	42
4.2 Исследование на построенной модели фазочастотного алгоритма определения временного положения сейсмических сигналов.....	45
4.3 Анализ применения алгоритма вейвлет-преобразования	50
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	56
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	56
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	56
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	56
5.1.3 Технология QuaD.....	57

5.1.4	SWOT-анализ	59
5.2	Планирование научно-исследовательских работ	61
5.2.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	61
5.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	62
5.2.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	63
5.4.2	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	64
5.3	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	67
6	Социальная ответственность.....	70
6.1	Производственная безопасность	70
6.2	Недостаточная освещённость рабочей зоны; отсутствие	71
6.3	Повышенный уровень шума	73
6.4	Повышенный уровень электромагнитных излучений; повышенная напряжённость электрического поля	74
6.5	Повышенная или пониженная влажность воздуха	76
6.6	Электрический ток (источник: ПК).....	77
6.7	Экологическая безопасность	78
6.8	Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Пожарная безопасность.....	78
6.9	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	80
6.9.1	Организационные мероприятия обеспечения безопасности.....	80
6.9.2	Особенности законодательного регулирования проектных решений.....	81
	Заключение.....	82
	Список публикаций	84
	Список использованной литературы	85
	Приложение А.....	87
	Приложение Б	88

Введение

В настоящее время сложные сигналы широко применяются в радиолокации, навигации и связи, акустике и ряде других направлений, связанных, прежде всего, с передачей информации в дисперсионных средах. Особое место занимает использование сложных сигналов в геофизике при изучении строения земной толщи.

Сейсмическая разведка является одним из важнейших видов геофизической разведки. Она представляет собой совокупность методов исследования геологического строения земной коры, основанных на изучении распространения в ней упругих волн, возбуждаемых искусственным путем. Вызванные взрывом или ударом упругие волны распространяются во все стороны от источника возбуждения и проникают в толщу коры на большую глубину. Здесь они претерпевают преломление и отражение и частично возвращаются к поверхности земли, где создаваемые ими колебания регистрируются специальной аппаратурой. Измеряя время распространения волн, и исследуя характер колебаний почвы, можно определить глубину залегания и форму тех геологических границ, на которых произошло преломление или отражение волны, а также составить суждение о составе пород, через которые прошла волна. Сейсморазведка позволяет с высокой точностью определять углы наклона слоев осадочной толщи даже при большой глубине их залегания. Поэтому сейсмические методы особенно широко используют при решении структурно-геологических задач, особенно при поисках месторождений нефти и газа.

Основным методом сейсморазведки является метод отраженных волн (МОВ). МОВ основан на изучении упругих волн, отраженных от поверхности раздела двух геологических пластов. Определяя времена пробега одной и той же волны от точки взрыва до нескольких точек наблюдения можно вычислить скорость волны, а, следовательно, и определить положение границы, на которой произошло отражение.

Решение сложнейших задач, связанных с высокоточным определением временного положения границ стало возможным благодаря применению современных информационных технологий и математических методов обработки сейсмической информации, базирующихся на извлечении полезной информации из динамических параметров сейсмических сигналов. Поэтому построение адекватных математических моделей сейсмических сигналов и спектральный анализ волновых сейсмических полей являются важным инструментом для построения эффективных алгоритмов определения временного положения отражающих границ и проведения вычислительного эксперимента. При этом, не следует забывать, что все сейсмические сигналы относятся к сложным, не гармоническим колебаниям.

Целью данной работы является разработка и исследование алгоритмов определения временного положения сложных сигналов на основе их спектральных представлений. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ информационных свойств сложных сигналов и их применение для определения временного положения отражающих границ при проведении сейсмических наблюдений;
- изучить особенности представления сложных сигналов в частотной и частотно-временной областях на основе дискретного преобразования Фурье (ДПФ) и дискретного вейвлет-преобразования (ДВП).
- построить математическую модель волнового сейсмического поля.
- разработать и реализовать в математическом пакете MATLAB алгоритм определения временного положения сложных сигналов на основе ДПФ и ДВП.
- исследовать разработанные алгоритмы на сформированной модели путем вычислительного эксперимента.

1 Сложные сигналы и их применение в сейсморазведке

Сложные сигналы нашли широкое применение в сейсморазведке для решения многих задач, в том числе для построения структуры и глубины залегания отражающих границ раздела геологических сред. В этом случае решается задача определения временного положения сложных сигналов при их распространении в дисперсионных средах, где форма сигнала существенно изменяется. Рассмотрим особенности сейсмических сигналов.

1.1 Формирование и особенности сейсмических сигналов

Как известно из радиотехники [6], сложными сигналами называются сигналы, у которых база B больше единицы:

$$B = T \cdot F, \quad (1.1)$$

где T – длительность сигнала;

F – полоса частот, в которой сосредоточена основная энергия сигнала.

Придерживаясь данного определения, нетрудно показать, что сейсмические сигналы относятся к классу сложных сигналов. Действительно, длительность сейсмических сигналов составляет порядка 80-100 мс, а полоса частот покрывает 100 Гц, тогда база $B = 8-10$.

Теперь рассмотрим кратко принципы формирования сейсмических сигналов. Сейсмические сигналы образуются на основе регистрации упругих волн, источником возбуждения которых является, как правило, взрыв. Упругие волны, вызванные взрывом, распространяются в земную толщу на значительную глубину. Эти волны преломляются, отражаются и частично возвращаются к поверхности земли, а созданные ими колебания фиксируются приемниками, расположенными вдоль профиля наблюдения (рисунок 1.1). Определить глубину залегания и форму геологических отражающих границ, а также говорить о строении пород, через которые прошла волна можно путём измерения времени распространения волн, и, изучая характер колебаний.

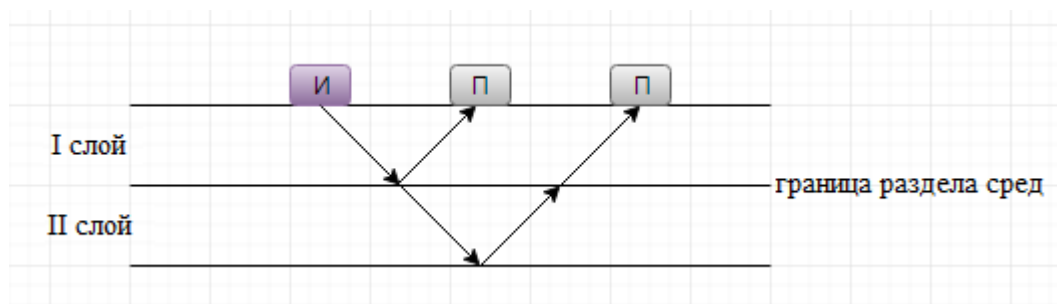


Рисунок 1.1 – Распространение сейсмической волны в двухслойной геологической среде (И – источник возбуждения волн, П – приёмник)

В настоящее время в сейсморазведке наибольшее распространение получил метод отраженных волн (МОВ), основанный на изучении параметров волн, отразившихся от границ раздела геологических сред. В качестве примера на рисунке 1.2 приведена общая схема формирования сейсмического волнового поля МОВ.

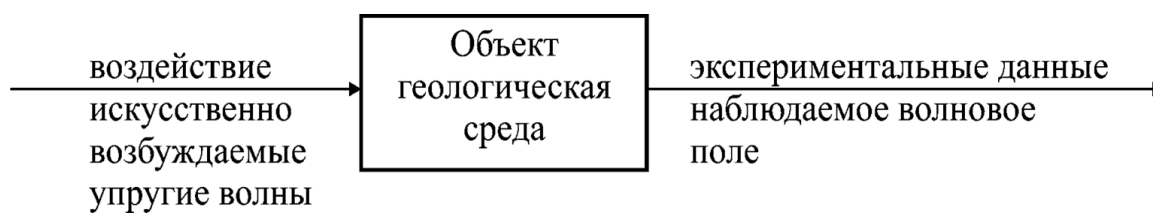


Рисунок 1.2 – Общая схема формирования сейсмического волнового поля

Извлечение полезной информации из наблюдаемого волнового поля МОВ происходит в процессе его обработки и интерпретации. Основное содержание этого процесса составляет решение обратных кинематических и динамических задач, когда по зафиксированному на поверхности полю, устанавливается структура и свойства геологической среды. Точное решение данных задач не достижимо на практике из-за ряда ограничений, наиболее существенны среди них следующие:

- конечность пространства, в котором регистрируется волновое поле;
- дискретность систем наблюдения, понижающая точность и детальность восстановления поля;
- отсутствие достаточно полной математической модели, учитывающей все характерные особенности распространения сейсмических волн в геологических средах;

- волновой характер сейсмического поля, создающий свойственный предел подробного изучения геологической среды;
- наличие разного рода помех, уменьшающих количество и качество данных, извлекаемых из экспериментального материала.

Эти обстоятельства ограничивают точность и полноту получаемой информации о структуре геологической среды. Но, и при данных ограничениях, есть реальные возможности, позволяющие построить высокоэффективные алгоритмы обработки и интерпретации сейсмических данных, обеспечивающие необходимую точность оценок реальных структур.

В таких условиях большое значение приобретают оптимальные и квазиоптимальные в статистическом смысле и эффективные в вычислительном отношении алгоритмы обработки и интерпретирования экспериментальных данных, работающие достаточно надежно при незначительной априорной информации.

Для построения подобных алгоритмов необходимо получить максимально возможную информацию о сейсмических сигналах. В начале раздела мы уже отмечали, что данные сигналы относятся к классу сложных. Здесь важно понимать, что сейсмические сигналы, как любой сложный сигнал, могут быть представлены суперпозицией простых гармонических сигналов со своей амплитудой, частотой и фазой. Поэтому такие сигналы можно также назвать многочастотными. При распространении многочастотных сигналов в дисперсионных средах, а геологическая среда является дисперсионной, форма сигнала меняется, так как скорость распространения зависит от частоты. Поэтому для надежного определения временного положения сигналов необходимо привлекать их динамические характеристики, определяемые путем спектральных преобразований. Наиболее перспективными здесь являются ДПФ и ДВП.

1.2 Определение временного положения сигналов при обработке сейсмической информации

Одним из наиболее важных этапов создания программных комплексов обработки и интерпретации сейсмической информации является разработка надежных алгоритмов определения временного положения сейсмических сигналов, так как многие задачи сейсморазведки, такие как построение структурных карт, решаются по данным корреляции волн. При этом под корреляцией волн в сейсморазведке понимают процесс последовательного прослеживания от трассы к трассе какой либо особенности волны [1], как правило экстремума, который и считается временным положением сигнала.

Определение временного положения сейсмических сигналов производится практически при обработке всех сейсмических материалов и основано, как правило, на использовании алгоритмов, реализующих процедуры статистического принятия решений. Реализация данных алгоритмов осложняется следующими факторами:

- при взрывных методах возбуждения упругих волн, их форма при регистрации на профиле наблюдения, как правило, неизвестна;
- отраженные волны регистрируются на сравнительно небольших удалениях от источника, так что их запись часто осложняется помимо нерегулярных волн, регулярными волнами, имеющими ту же природу, что и полезная волна.

С позиций процедуры статистического принятия решений всегда возникает желание использовать оптимальные методы оценки параметров сигналов, обеспечивающие наилучший результат в среднем по множеству случаев его применения. Так, при полной априорной информации относительно свойств полезного сигнала и помех, структуру оптимальных методов можно получить из известной формулы Байеса, определяющей в явном виде зависимость между апостериорными вероятностями параметров и выборкой экспериментального материала [2]. Однако, наилучший результат достигим

только при условии, что экспериментальный материал полностью соответствует модели, для которой построен оптимальный метод. Оценим, какой априорной информацией для построения модели волнового поля мы располагаем в начале обработки. Из геологических исследований, каротажа скважин, а также других видов разведки обычно известна некоторая приближенная картина среды под профилем наблюдения. Она может включать такие сведения, как диапазоны изменения основных величин, характеризующих сейсмический разрез; глубины залегания границ или времена регистрации приходящих от них волн; интервальные или средние скорости; углы наклона границ; интенсивность отражений от основных горизонтов; наличие кратнообразующих границ и т.п. Эти сведения, как правило, позволяют считать, что возможные значения параметров отражений равномерно распределены и, следовательно, критерий Байеса трансформируется в критерий максимального правдоподобия, для которого оценки по центру тяжести апостериорной плотности вероятностей совпадают с оценками центра тяжести функции правдоподобия. В этом случае, когда все не измеряемые параметры сигнала точно известны, а аддитивная помеха подчиняется нормальному (гауссову) закону распределения, критерий максимального правдоподобия сводится к вычислению и анализу корреляционного интеграла вида [5]:

$$R(\tau) = \int_0^T x(t)s(t - \tau)dt, \quad (1.2)$$

где T – длительность сигнала, $x(t)$ – сигнал с помехами, $s(t - \tau)$ – «чистый» сигнал. Значение τ , при котором наблюдается максимум функции взаимной корреляции (ФВК) в выражении (1.2), и является временным положением волны. Процедуру, аналогичную (1.2) можно реализовать с помощью согласованной (оптимальной) фильтрации. Однако, при больших базах корреляционный приём предпочтительнее, так как для согласованной фильтрации приходится синтезировать сложную частотную характеристику [3]. Поэтому в практике обработки и интерпретации сейсмической информации, наиболее широкое распространение получил подход, базирующийся на вычислении и анализе

функции взаимной корреляции [4]. В условиях, когда сигнал точно известен, метод, описываемый выражением (1.2) реализует оптимальную обработку всей имеющейся информации о зарегистрированном сигнале на интервале наблюдения, а, следовательно, является абсолютно оптимальным в данной помеховой обстановке. При этом, качество обнаружения зависит только от отношения энергии сигнала к спектральной плотности помехи. Однако, обеспечение предельно достижимой точности оценок временного положения сейсмических сигналов возможно только для случая, когда все параметры регистрируемого на профиле наблюдения сигнала точно известны, что в сейсморазведке практически не встречается. Поэтому для решения задач прослеживания, в таких условиях, можно использовать два подхода:

- в выражении (1.2) вместо неизвестных параметров подставить их оценки (адаптивный подход) [2];
- применять методы прослеживания, основанные на анализе только имеющейся априорной информации.

Рассмотрим второй подход и синтезируем алгоритмы определения временного положения сейсмических сигналов на основе спектральных преобразований.

2 Алгоритм определения временного положения сложных сигналов на основе дискретного преобразования Фурье

Хорошо известно, что информация о временном положении сигналов находится в их фазочастотной характеристике (ФЧХ), которая для случая сложных сигналов показывает, насколько одни гармоники запаздывают или опережают другие. Поэтому оптимальный метод обработки ФЧХ реализует оптимальную процедуру определения временного положения сигналов. Для вычисления ФЧХ используется ДПФ. Рассмотрим предварительно данное преобразование.

2.1 Дискретное преобразование Фурье

В соответствии с общей спектральной теорией сигналов, любой процесс может быть полностью описан как во временной области в виде функции времени $x(t)$, так и в частотной в виде комплексного спектра $X(\omega)$. Обе эти формы представления процессов равноправны и связаны между собой парой преобразований Фурье:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(i\omega) e^{i2\pi\omega t} d\omega, \quad (2.1)$$

$$X(i\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i2\pi\omega t} dt. \quad (2.2)$$

$X(i\omega)$ является комплексной функцией. Она может быть представлена в виде

$$X(i\omega) = A(\omega) - iB(\omega) = C(\omega) e^{-i\varphi(\omega)}, \quad (2.3)$$

где $C(\omega) = |X(i\omega)| = \sqrt{\text{Re}^2(X(i\omega)) + \text{Im}^2(X(i\omega))}$ – амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), а $\varphi(\omega) = \arctg \frac{B(\omega)}{A(\omega)}$ – фазовый спектр.

Учитывая, что модели сейсмических записей описываются последовательностями ограниченной длительности, для вычисления спектральных характеристик сейсмических сигналов будем использовать ДПФ.

Прямое преобразование ДПФ:

$$X(i\omega)_k = \sum_{n=0}^{N-1} x(t)_n e^{\frac{-2\pi i}{N} kn}, k = 0, \dots, N-1, \quad (2.4)$$

где k индексирует спектральные отсчёты.

Обратное преобразование ДПФ:

$$x(t)_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(i\omega)_k e^{\frac{2\pi i}{N} kn}, n = 0, \dots, N-1, \quad (2.5)$$

где n индексирует временные отсчеты сигнала. N – число дискретных точек в окне анализа.

ФЧХ на основе ДПФ может быть найдена из соотношения:

$$\varphi(\omega_k) = \arctg \frac{\text{Im}(X(i\omega_k))}{\text{Re}(X(i\omega_k))}, \quad (2.6)$$

$$\text{Re}(X(i\omega_k)) = \sum_{n=0}^{N-1} x(t)_n \cdot \cos(T_0 + \Delta t \cdot n)(\omega_H + k \cdot \Delta\omega), \quad (2.7)$$

$$\text{Im}(X(i\omega_k)) = \sum_{n=0}^{N-1} x(t)_n \cdot \sin(T_0 + \Delta t \cdot n)(\omega_H + k \cdot \Delta\omega), \quad (2.8)$$

где T_0 – начальное время;

ω_H – начальная круговая частота;

Δt – шаг дискретизации по времени;

$\Delta\omega$ – шаг дискретизации по частоте.

Функция группового запаздывания (ФГЗ) определяется выражением:

$$\varphi_p'(\omega_k) = t_{gp}(\omega_k) = \frac{\text{Im}'(X(i\omega_k))\text{Re}(X(i\omega_k)) - \text{Re}'(X(i\omega_k))\text{Im}(X(i\omega_k))}{\text{Re}^2(X(i\omega_k)) + \text{Im}^2(X(i\omega_k))} \quad (2.9)$$

где $t_{gp}(\omega_k)$ – групповая задержка на частоте ω_k , определяющая задержку максимума огибающей на этой частоте.

$$\text{Re}'(X(i\omega_k)) = -\sum_{n=0}^{N-1} x(t)_n \cdot \sin(T_0 + \Delta t \cdot n)(\omega_H + k \cdot \Delta\omega) \cdot (T_0 + \Delta t \cdot n), \quad (2.10)$$

$$\text{Im}'(X(i\omega_k)) = \sum_{n=0}^{N-1} x(t)_n \cdot \cos(T_0 + \Delta t \cdot n)(\omega_H + k \cdot \Delta\omega) \cdot (T_0 + \Delta t \cdot n). \quad (2.11)$$

Теперь, когда все необходимые спектральные характеристики определены перейдем непосредственно к процедуре построения алгоритма определения временного положения сигналов по их ФЧХ.

2.2 Определение временного положения сложных сигналов по их фазочастотным характеристикам и функциям групповой задержки

Обычное решение задачи определения временного положения сигнала сводит её к оценке неэнергетического параметра нормального случайного процесса и не учитывает специфики временного параметра. При этом представление временного положения сигнала в экспоненциальном базисе полностью определяется его ФЧХ. Поэтому оптимальная обработка ФЧХ сигнала и реализует оптимальный метод определения его временного положения [6].

Математическую модель участка сейсмотрассы можно представить в виде:

$$x(t) = S(t - \tau) + N(\tau), \quad (2.12)$$

где $S(t - \tau)$ – полезные сейсмические сигналы, по которым ведётся интерпретация;

$N(\tau)$ – аддитивный нерегулярный шум, с числовыми характеристиками $m_x \sigma_x^2$;

τ – временное положение сейсмического сигнала.

Алгоритм определения временного положения сигналов, когда оптимальной обработке подвергается лишь ФЧХ смеси сигнала и шума можно построить исходя из минимизации среднеквадратической ошибки [5], решив уравнение правдоподобия:

$$\left. \frac{\partial}{\partial \tau} [\ln L(\varphi_x | \tau)] \right|_{\tau = \tau_{\text{опт}}} = 0. \quad (2.13)$$

В качестве функции правдоподобия в (2.13) возьмем статистику отношения правдоподобия:

$$L(\varphi_x | \tau) = \frac{L_{\varphi_x}(\tau)}{L_{\varphi_x}(\tau_0)}, \quad (2.14)$$

где τ_0 – фиксированное значение τ ;

$L_{\varphi_x}(\tau) = W(\varphi_x | \tau)$ – условная апостериорная многомерная функция распределения ФЧХ смеси;

φ_x – вектор с компонентами $\varphi_x(\omega_k)$.

Будем считать, что сигнал слабый, т.е. $\delta(\omega_k) \ll 1$, для всех ω_k . Тогда, воспользуемся выражением плотности вероятности $\Delta\varphi(\omega_k)$ в условиях нормальных помех из [5] и, рассматривая её как функцию от τ , а также учитывая, что временное положение сигнала является незнергетическим параметром, нетрудно получить:

$$L(\tau) = \prod_{k=1}^m \left\{ \frac{1}{2\pi} \exp\left(-\frac{\delta^2(\omega_k)}{2}\right) + \frac{\delta(\omega_k)}{\sqrt{2\pi}} \cdot \cos(\Delta\varphi(\omega_k) - \omega_k\tau) \cdot \varphi[\delta(\omega_k) \cdot \cos(\Delta\varphi(\omega_k) - \omega_k\tau)] \cdot \exp\left(-\frac{\delta^2(\omega_k)}{2} \cdot \sin^2(\Delta\varphi(\omega_k) - \omega_k\tau)\right) \right\}. \quad (2.15)$$

Прологарифмируем (2.15) и, рассматривая случай слабого сигнала ($\delta(\omega_k) \ll 1$), запишем

$$\ln L(\tau) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^m \left(-\frac{\pi}{8} \delta^2(\omega_k) + \frac{\sqrt{\pi}}{2} \delta(\omega_k) \cdot \cos(\Delta\varphi(\omega_k) - \omega_k\tau) \right), \quad (2.16)$$

Опустим в (2.16) члены, не зависящие от τ . Тогда

$$\ln L(\tau) \cong \sum_{k=1}^m \delta(\omega_k) \cdot \cos(\Delta\varphi(\omega_k) - \omega_k\tau). \quad (2.17)$$

Полученное выражение (2.17) может быть использовано для построения оптимального фазочастотного алгоритма определения временного положения сигналов. В этом случае за оценку временного положения принимается оценка $\hat{\tau}_{\text{опт}} = \tau$, при которой достигается максимум функции (2.17) [7]. Практически реализация данного алгоритма осуществляется как процедура поиска положения максимума $L(\tau)$ при перемещении вдоль сейсмической трассы некоторого окна анализа заданной протяженности. При этом дисперсия оценки составляет [8]:

$$D[\hat{\tau}_{\text{опт}}] = \frac{4}{\pi} \left[\int_{\Omega} \delta^2(\omega) \omega^2 d\omega \right]^{-1}. \quad (2.18)$$

Или переходя к общепринятым обозначениям:

$$\sigma_{\hat{\tau}_{\text{опт}}}^2 = \frac{4}{\pi(q_{\Sigma})^2 \cdot (\sigma\omega)^2}, \quad (2.19)$$

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

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

Можно показать, что оптимальная оценка из (2.18) для случая слабого сигнала является оптимальной и для случая сильного сигнала, но не наоборот. Поэтому в дальнейших исследованиях в качестве оптимальной процедуры определения временного положения сейсмических сигналов будем использовать максимизацию выражения $\ln L(\tau)$ из (2.18).

Применение оптимального фазочастотного алгоритма (2.18) часто приводит к проблемам, связанным с оценкой распределения отношений сигнал/помеха $\delta(\omega_k)$ в анализируемом диапазоне частот. Поэтому рассмотрим наряду с оптимальным квазиоптимальные фазочастотные алгоритмы, которые получены из оптимальных путем изменения весовых коэффициентов.

Примем в выражении (2.18) $\delta(\omega_k) = 1 \forall k = \overline{1, m}$ и получим оценку [8]:

$$\ln L(\tau) = \sum_{k=1}^m \cos(\Delta\varphi(\omega_k) - \omega_k \tau), \quad (2.20)$$

дисперсия которой составит:

$$\sigma_{\hat{\tau}}^2 = \frac{4 \sum_{k=1}^m (\sqrt{k} - \sqrt{k-1})^2}{\pi \cdot q_{\Sigma}^2 \cdot (\sigma\omega)^2}. \quad (2.21)$$

Как и следовало ожидать, при переходе к равновесной обработке, точность получаемой оценки снижается, однако, при практически используемом числе m снижается незначительно. Так, при $m = 3$ дисперсия возрастает в 1,27 раз, при $m = 10$, в 1,58 в раз, при $m = 20$, в 1,75 раза. В то же время, равновесная обработка позволяет получать оценки временного положения с высокой точностью, когда известна лишь априорная информация о значениях ФЧХ сигналов в исследуемом диапазоне частот.

Кроме равновесной обработки можно рассмотреть и неравновесную обработку, для которой выражение (2.17) перепишется в виде:

$$L(\tau) = \sum_{k=1}^N W(\omega_k) \cdot \cos(\Delta\varphi(\omega_k) - \omega_k \tau), \quad (2.22)$$

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

В этом случае дисперсию оценок временного положения сигнала удастся оценить только экспериментальным путем, что будет рассмотрено ниже.

В качестве весовых функций при неравновесной обработке можно использовать любые частотно-зависимые функции. Однако, основной смысл неравновесной обработки заключается в повышении разрешающей способности сейсмической записи, для чего предлагается использовать весовую функцию в виде треугольника со смещенным максимумом [9]:

$$W(\omega_k) = \frac{3}{4\omega_C} \cdot \begin{cases} 0, & \omega_k < \omega_H, \\ \frac{2}{\omega_C}(\omega_k - \omega_H), & \omega_H < \omega_k \leq \omega_C, \\ -\frac{1}{\omega_C}(\omega_k - \omega_B), & \omega_C < \omega_k \leq \omega_B \end{cases}, \quad (2.23)$$

где ω_H и ω_B – соответственно нижняя и верхняя частоты, определяющие $W(\omega_k)$;

ω_C – частота максимума $W(\omega_k)$. При этом $\omega_C = 2\omega_H$.

Оптимальные оценки временного положения сигналов можно также получить путем анализа ФГЗ, которые находятся через первую производную от ФЧХ. Данные оценки находятся путем максимизации следующего функционала [8]:

$$\ln J(\tau) = \sum_{k=1}^m \gamma(\omega_k) \cdot \cos(\omega_k(\Delta t_{\text{гп}}(\omega_k) - \tau)), \quad (2.24)$$

где $\Delta t_{\text{гп}}(\omega_k) = t_{\text{гп}}^x(\omega_k) - t_{\text{гп}}^s(\omega_k)$ – отклонения ФГЗ смеси сигнала с помехой от ФГЗ помехи;

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

m – число анализируемых частотных компонент.

Практическое применение оптимального алгоритма (2.24) требует формирования распределения отношения сигнал/помеха в области производных $\gamma(\omega_k)$ в анализируемой области частот, что является весьма непростой задачей. Поэтому, также как и при использовании ФЧХ, имеет смысл формирование алгоритмов на основе ФГЗ, отличных от оптимального. Так для случая равновесной обработки такой алгоритм примет вид:

$$\ln J(\tau) = \sum_{k=1}^m \cos(\omega_k(\Delta t_{\text{гп}}(\omega_k) - \tau)) \quad (2.25)$$

Таким образом, на основе оптимальной и квазиоптимальной обработки ФЧХ и ФГЗ могут быть синтезированы алгоритмы, один из которых приведён

ниже.

2.3 Разработка фазочастотного алгоритма определения временного положения сигналов

Алгоритм определения временного положения сейсмических сигналов на основе анализа ФЧХ регистрируемых волн реализует процедуру нахождения временного положения в соответствии со следующим выражением:

$$L(\tau) = \sum_{k=1}^m \delta(\omega_k) \cdot \cos(\Delta\varphi(\omega_k) - \omega_k \tau). \quad (2.26)$$

где $\delta(\omega_k)$ – частотная весовая функция, вид которой зависит от реализуемого фазочастотного алгоритма.

При этом рассматриваются варианты равновесной и неравновесной обработки. Для равновесного алгоритма весовая функция $\delta(\omega_k)$ принимается равной единице во всей полосе частот, а для алгоритма с неравновесной обработкой $\delta(\omega_k)$ задана в виде треугольной функции:

$$\delta(\omega_k) = \frac{3}{4\omega_C} \cdot \begin{cases} 0, & \omega_k < \omega_H, \\ \frac{2}{\omega_C}(\omega_k - \omega_H), & \omega_H < \omega_k \leq \omega_C, \\ -\frac{1}{\omega_C}(\omega_k - \omega_B), & \omega_C < \omega_k \leq \omega_B \end{cases}, \quad (2.27)$$

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

Из выражения (2.26) следует, что процедура оценки временного положения может быть реализована как оценка положения максимума функции правдоподобия при перемещении окна анализа вдоль сейсмической трассы. Тогда, как для случая равновесной, так и неравновесной обработки, алгоритм оценки временного положения может быть представлен в виде схемы (Приложение А).

Описание алгоритма:

1 – начало;

2 – задание значений отношения сигнал/шум, установка параметров окна прослеживания сигнала;

3 – установка окна на начало сейсмотрассы;

4 – вычисление коэффициентов A (чётная полуволна) и B (нечётная полуволна) ДПФ по формулам:

$$A(\omega) = \sum_{t=t_0}^{t_n} S(t) \cdot \cos(\omega t), \quad (2.28)$$

$$B(\omega) = \sum_{t=t_0}^{t_n} S(t) \cdot \sin(\omega t), \quad (2.29)$$

где $S(t)$ – значение сигнала в данный момент времени,

ω – частота,

t – рассматриваемый момент времени;

5 – вычисление АЧХ, ФЧХ и ФГЗ сигнала для данного положения окна до определение ФЧХ по формуле:

$$\varphi(\omega_1, \tau) = \varphi^p(\omega_1, \tau), \quad (2.30)$$

$$\varphi(\omega_m, \tau) = \varphi(\omega_{m-1}, \tau) + (\varphi^p(\omega_m, \tau) - \varphi^p(\omega_{m-1}, \tau)) + B, \quad (2.31)$$

где $1 \leq m \leq N$;

N – число частот;

$$B = \begin{cases} 0, & |\varphi^p(\omega_m, \tau) - \varphi^p(\omega_{m-1}, \tau)| < \pi, \\ +2\pi, & \varphi^p(\omega_m, \tau) - \varphi^p(\omega_{m-1}, \tau) \leq -\pi, \\ -2\pi, & \varphi^p(\omega_m, \tau) - \varphi^p(\omega_{m-1}, \tau) \geq \pi. \end{cases} \quad (2.32)$$

6 – Перемещение окна для анализа вдоль сейсмической трассы;

7 – Проверка достижения конца сейсмотрассы: если не закончилась, то осуществляется переход на шаг 5, в противном случае переход на шаг 8;

8 – Расчёт функции правдоподобия сигнала. После вычисления функции правдоподобия определяется положения максимума этой функции простым перебором чисел: сравнение двух соседних;

9 – Расчёт смещения временного положения и её дисперсии, где математическое ожидание и дисперсия находятся по формулам:

$$M[X] = \frac{1}{50} \sum_{i=1}^{50} X_i, \quad (2.33)$$

где X_i – положение максимума функции правдоподобия для одного наблюдения, наблюдений всего 50;

$$D[X] = M[|X - M[X]|^2]. \quad (2.34)$$

Разработанный алгоритм далее использовался для написания программы и её реализации в математическом пакете MATLAB (Приложение Б).

3 Алгоритм прямого и обратного вейвлет-преобразования сложных сигналов

Спектрально-временное представление сложных сигналов на основе вейвлет-преобразований можно использовать для выделения сигналов из помех и оценки их временного положения. Рассмотрим предварительно аппарат вейвлет-преобразований.

3.1 Описание вейвлет-анализа

Вейвлет-преобразование одномерного сигнала – это его представление в виде обобщенного ряда или интеграла Фурье по системе базисных функций

$$\Psi_{ab}(t) = |a|^{-1/2} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad (3.1)$$

сконструированных из материнского (порождающего) вейвлета $\Psi(t)$, обладающего определёнными свойствами, за счёт операций сдвига во времени b и изменения временного масштаба a . Множитель $|a|^{-1/2}$ обеспечивает независимость нормы этих функций от масштабирующего числа a . Итак, для заданных значений параметров a и b функция $\Psi_{ab}(t)$ и есть вейвлет, порождаемый материнским вейвлетом $\Psi(t)$.

3.1.1 Признаки вейвлета

Ограниченность. Квадрат нормы функции должен быть конечным:

$$\|\Psi\|^2 = \int_{-\infty}^{\infty} |\Psi(t)|^2 dt < \infty. \quad (3.2)$$

Локализация. ВП, в отличие от преобразования Фурье, использует локализованную исходную функцию и во времени, и по частоте.

Нулевое среднее. График исходной функции должен осциллировать (быть знакопеременным) вокруг нуля на оси времени и иметь нулевую площадь

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t) dt = 0. \quad (3.3)$$

Автомодельность. Т.к. вейвлеты базиса получаются из порождающего вейвлета посредством масштабирования и сдвига, то являются его масштабированными и сдвинутыми копиями.

3.1.2 Примеры материнских вейвлетов

Основные вейвлетообразующие функции, или материнские вейвлеты, приведены в таблице 1. Наиболее распространенные вещественные базисы конструируются на основе производных функции Гаусса $g_0(t) = \exp(-\frac{t^2}{2})$. Это обусловлено тем обстоятельством, что функция Гаусса имеет наилучшие показатели локализации как во временной, так и в частотной областях [10].

Таблица 3.1 – Материнские вейвлеты

Вейвлеты	Аналитическая запись $\Psi(t)$	Спектральная плотность $\Psi(\omega)$
Вещественные непрерывные базисы		
Гауссовы: - первого порядка, или WAVE-вейвлет - второго порядка, или МНАТ-вейвлет, "мексиканская шляпа" - n -ого порядка	$-te^{-\frac{t^2}{2}}$ $(1-t^2)e^{-\frac{t^2}{2}}$ $(-1)^n \frac{d^n}{dt^n} [\exp(-\frac{t^2}{2})]$	$(i\omega)\sqrt{2\pi} e^{-\frac{\omega^2}{2}}$ $(i\omega)^2 \sqrt{2\pi} e^{-\frac{\omega^2}{2}}$ $(-i\omega)^2 \sqrt{2\pi} e^{-\frac{\omega^2}{2}}$
DOG – difference of gaussians	$e^{-\frac{t^2}{2}} - 0.5e^{-\frac{t^2}{8}}$	$\sqrt{2\pi}(e^{-\frac{\omega^2}{2}} - 0.5e^{-2\omega^2})$
LP-Littlewood&Paley	$\frac{\sin 2\pi t - \sin \pi t}{\pi t}$	$\begin{cases} (2\pi)^{-1/2}, \pi \leq t \leq 2\pi \\ 0, \text{в противном случае} \end{cases}$

Продолжение таблицы 3.1

Вещественные дискретные базисы		
НААР-вейвлет	$\begin{cases} 1, 0 \leq t \leq 1/2 \\ -1, 1/2 \leq t \leq 1 \\ 0, t < 0, t > 1 \end{cases}$	$ie^{i\omega/2} \frac{\sin^2 \omega/4}{\omega/4}$
FNAT-вейвлет, или "французская шляпа"	$\begin{cases} 1, t \leq \frac{1}{3} \\ -1/2, \frac{1}{3} \leq t \leq 1 \\ 0, t > 1 \end{cases}$	$\frac{4}{3} \frac{\sin^2 \omega/3}{\omega/3}$
Комплексные базисы		
Морле (Morlet)	$e^{-i\omega_0 t} e^{-t^2/2}$	$\sigma(\omega) \sqrt{2\pi} e^{-(\omega-\omega_0)^2/2}$
Пауля (Paul) (чем больше n, тем больше нулевых моментов имеет вейвлет)	$\Gamma(n+1) \frac{i^n}{(1-n)^{n+1}}$	$\sigma(\omega) \sqrt{2\pi} \omega^n e^{-\omega}$

В данной работе были использованы функции Мейера, которые определены в частотной области следующим образом:

$$\Psi(\omega) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot v\left(\frac{3|\omega|}{2\pi} - 1\right)\right) e^{\frac{i\omega}{2}}, & \text{если } \frac{2\pi}{3} < |\omega| < \frac{4\pi}{3}, \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot v\left(\frac{3|\omega|}{4\pi} - 1\right)\right) e^{\frac{i\omega}{2}}, & \text{если } \frac{4\pi}{3} < |\omega| < \frac{8\pi}{3}, \\ 0, & \text{в иных случаях,} \end{cases} \quad (3.4)$$

где корневая (образующая) функция имеет вид:

$$v(a) = \begin{cases} 0, & \text{если } a < 0, \\ a, & \text{если } 0 < a < 1, \\ 1, & \text{если } a > 1. \end{cases} \quad (3.5)$$

Есть и другой способ для определения образующей функции:

$$v(a) = \begin{cases} a^4(35 - 84a + 70a^2 - 20a^3), & \text{если } 0 < a < 1, \\ 0, & \text{в иных случаях.} \end{cases} \quad (3.6)$$

$v(a)$ обеспечивает вывод временной сетки x , содержащей диадическое число N точек области определения вейвлета. Эффективный интервал задания вейвлета $[-8, 8]$.

Соответствующая масштабирующая функция есть [11]:

$$\Psi(\omega) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}}, & \text{если } |\omega| < \frac{2\pi}{3}, \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot v\left(\frac{3|\omega|}{2\pi} - 1\right)\right), & \text{если } \frac{2\pi}{3} < |\omega| < \frac{4\pi}{3}, \\ 0, & \text{в иных случаях.} \end{cases} \quad (3.7)$$

Вейвлет Мейера и его масштабирующая функция представлены на рисунке 3.1:

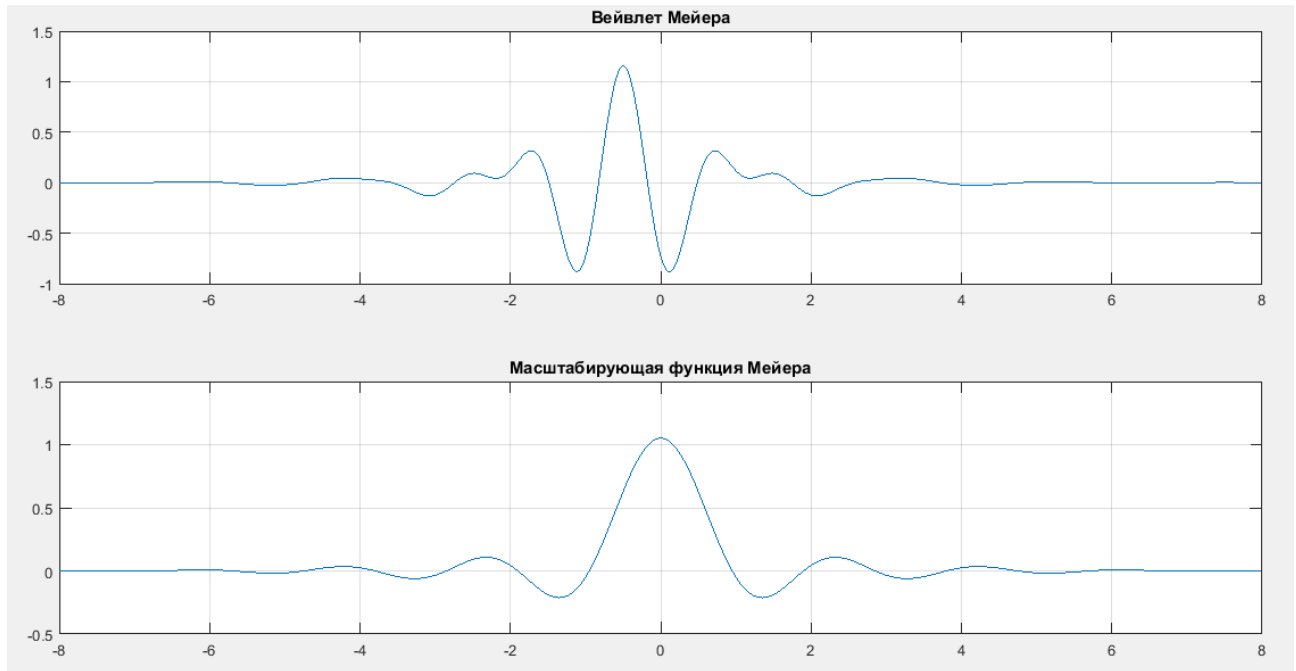


Рисунок 3.1 – Вейвлет Мейера и его масштабирующая функция

3.1.3 Непрерывное вейвлет-преобразование

Сконструируем базис $\Psi_{ab}(t)$ с помощью непрерывных масштабных преобразований и переносов материнского вейвлета $\Psi(t)$ с произвольными значениями базисных параметров a и b в формуле (3.1). Тогда по определению прямое вейвлет-преобразование сигнала $f(t)$ будет представлено в виде:

$$W_f(a, b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt. \quad (3.8)$$

Если для порождающего вейвлета $\Psi(t)$ выполняется равенство

$C_\Psi = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\Psi(\Omega)|^2}{\Omega} d\Omega < \infty$, то возможно обратное преобразование:

$$f(t) = \frac{1}{C_\Psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W_f(a, b) \Psi_{ab}(t) \frac{da db}{a^2}. \quad (3.9)$$

Здесь $\Psi(\Omega)$ – преобразование Фурье функции $\Psi(t)$.

Из (3.8) следует, что вейвлет-спектр $W_f(a, b)$, в отличие от спектра Фурье, является функцией двух аргументов: первый аргумент a (временной масштаб) аналогичен периоду осцилляций, то есть является обратной частоте, а второй b аналогичен смещению сигнала по оси времени. Следует отметить, что $W_f(a_0, b)$ характеризует временную зависимость при фиксированном значении $a = a_0$, тогда как зависимости $W_f(a, b_0)$ можно поставить в соответствие частотную зависимость при фиксированном значении $b = b_0$.

При непрерывном изменении параметров a и b для расчета вейвлет-спектра необходимы большие вычислительные затраты. Множество функций $\Psi_{ab}(t)$ является избыточным. Поэтому необходима дискретизация параметров a и b при сохранении возможности восстановления сигнала из его трансформанта. Дискретизация, как правило, осуществляется через степени двойки:

$$a = 2^j, b = k2^j, \Psi_{jk}(t) = a^{-1/2} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) = 2^{-\frac{j}{2}} \Psi(2^{-j}t - k), \quad (3.9)$$

где j и k – целые числа, а j называется параметром масштаба. В отличие от непрерывного вейвлет-преобразования, в данном случае рассматриваются не все сдвиги и растяжения базисной функции, а только взятые на некоторой дискретной сетке (обычно логарифмической).

3.1.4 Свойства вейвлет-преобразования

Прямое вейвлет-преобразование (3.8) содержит комбинированную информацию об анализируемом сигнале и анализирующем вейвлете. Несмотря на это, вейвлет-преобразование позволяет получить объективную информацию

о сигнале, потому что некоторые свойства вейвлет-преобразования не зависят от выбора анализирующего вейвлета. Независимость от вейвлета делает эти простые свойства очень важными:

- линейность (следует из скалярного произведения (3.8)):

$$W(\alpha f_1(t) + \beta f_2(t)) = \alpha W_{f_1}(a, b) + \beta W_{f_2}(a, b);$$

- сдвиг (смещение сигнала во временной области на b_0 ведёт к сдвигу вейвлет-образа также на b_0):

$$W(f(t - b_0)) = W_f(a, b - b_0);$$

- масштабирование (растяжение сигнала приводит к растяжению его вейвлет-образа $W_f(a, b)$).

$$W(f(t/a_0)) = \frac{1}{a_0} W_f\left[\frac{a}{a_0}, \frac{b}{a_0}\right];$$

- дифференцирование:

$$W(d_t^n f(t)) = (-1)^n \int_{-\infty}^{\infty} f(t) d_t^n [\Psi_{ab}(t)] dt,$$

где $d_t^n f(t) = \frac{d^n f(t)}{dt^n}$, $n \geq 1$. Из этого свойства следует, что проигнорировать, например, крупномасштабные составляющие и проанализировать особенности высокого порядка или мелкомасштабные вариации сигнала $f(t)$ можно дифференцированием нужное число раз либо вейвлета, либо самого сигнала;

- масштабно-временная локализация (обусловлена тем, что элементы базиса вейвлет-преобразования хорошо локализованы).

3.1.5 Дискретное вейвлет-преобразование

Дискретное вейвлет-преобразование (ДВП) сигнала x получают применением набора фильтров. Сначала сигнал пропускается через низкочастотный (*low-pass*) фильтр с импульсным откликом g , и получается свёртка:

$$y[n] = (x * g)[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]g[n - k]. \quad (3.10)$$

Одновременно сигнал раскладывается с помощью высокочастотного (*high-pass*) фильтра h . В результате получаются детализирующие коэффициенты (после ВЧ-фильтра) и коэффициенты аппроксимации (после НЧ-фильтра).

Так как половина частотного диапазона сигнала была отфильтрована, то, согласно теореме Котельникова (связывает непрерывные и дискретные сигналы и гласит, что «любую функцию $F(t)$, состоящую из частот от 0 до f_1 , можно непрерывно передавать с любой точностью при помощи чисел, следующих друг за другом через $1/(2f_1)$ секунд), отсчёты сигналов можно проредить в 2 раза:

$$y_{low}[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]g[2n - k], \quad (3.11)$$

$$y_{high}[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]h[2n - k]. \quad (3.12)$$

Такое разложение вдвое уменьшило разрешение по времени в силу прореживания сигнала. Однако каждый из получившихся сигналов представляет половину частотной полосы исходного сигнала, так что частотное разрешение удвоилось (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Схема разложения сигнала в ДВП

С помощью оператора прореживания $\downarrow$

$$(y \downarrow k)[n] = y[kn] \quad (3.13)$$

вышеупомянутые суммы можно записать короче:

$$y_{low} = (x * g) \downarrow 2, \quad (3.14)$$

$$y_{high} = (x * h) \downarrow 2. \quad (3.15)$$

Это разложение можно повторить несколько раз для дальнейшего увеличения частотного разрешения с дальнейшим прореживанием коэффициентов после НЧ и ВЧ-фильтрации. Дерево представляет структуру банка фильтров (рисунок 3.3).

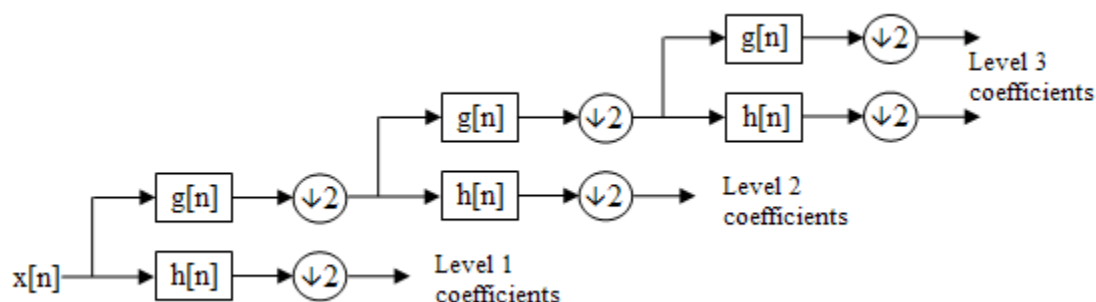


Рисунок 3.3 – Трёхуровневый банк фильтров

На каждом уровне вышеприведённой диаграммы сигнал раскладывается на низкие и высокие частоты. В силу двукратного прореживания длина сигнала должна быть кратна 2^n , где n – число уровней разложения [10].

3.1.6 Удаление шумов из сигнала с использованием вейвлет-преобразования

Основу данной методики составляет использование пороговых функций различной формы, на основе которых происходит ограничение уровня детализирующих коэффициентов. Задав определенный порог для их уровня и «отсекая» коэффициенты ниже этого порога, можно значительно снизить уровень шума и сжать сигнал. Пример пороговых функций, зачастую используемых в современных алгоритмах фильтрации, представлен на рисунке 3.4.

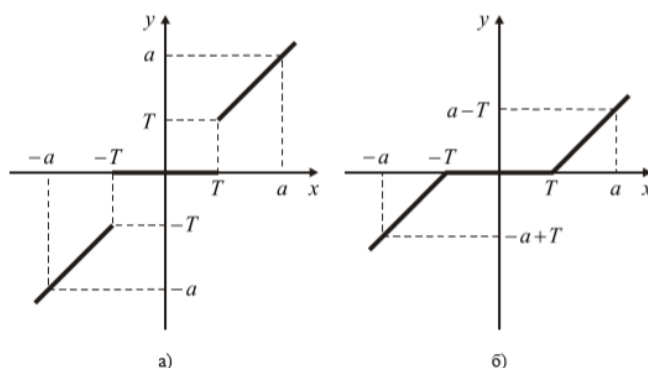


Рисунок 3.4 – Пороговые функции обработки коэффициентов преобразования:

а) жёсткая пороговая функция; б) мягкая пороговая функция

На рисунке 3.4а представлена жёсткая пороговая функция (жёсткая пороговая оценка), описываемая следующим выражением

$$y(x) = \begin{cases} x, & \text{если } |x| \geq T, \\ 0, & \text{если } |x| < T. \end{cases} \quad (3.16)$$

Здесь в качестве величины T выступает некоторое пороговое значение, в качестве x и y выступают входное и выходное значения коэффициентов преобразования.

На рисунке 3.4б представлена мягкая пороговая функция (мягкая пороговая оценка), описываемая следующим выражением

$$y(x) = \begin{cases} \text{sign}(x)(|x| - T), & \text{если } |x| \geq T, \\ 0, & \text{если } |x| < T. \end{cases} \quad (3.17)$$

Обозначения, представленные в выражение (3.17) те же, что и описанные выше, в качестве функции $\text{sign}(x)$ определяющей знак коэффициента x выступает функция вида

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x > 0, \\ 0, & \text{если } x = 0, \\ -1, & \text{если } x < 0. \end{cases} \quad (3.18)$$

Основное отличие мягкой пороговой функции от жёсткой заключается в том, что первая из них (мягкая пороговая функция) не содержит разрыва в точке, определяемой пороговым значением T . Иными словами, мягкая пороговая функция, в отличие от жёсткой, является непрерывной. Последнее обстоятельство, в случае мягкой пороговой обработки позволяет лучшим образом обрабатывать зашумлённый сигнал в окрестности точки его разрыва.

Основной проблематикой использования пороговых методов обработки является выбор порогового значения. В большом количестве научных работ выбор порога осуществлялся с использованием следующего выражения:

$$T = \sigma \sqrt{2 \ln(N)}. \quad (3.19)$$

Формула (3.19) записана для случая одномерного сигнала. В формуле использованы следующие обозначения: N – общее количество отсчётов обрабатываемого сигнала, σ – среднеквадратическое отклонение шума.

3.2 Разработка алгоритма вейвлет-преобразования на основе базиса Мейера

Вейвлет-преобразование было выполнено в системе MATLAB в соответствии с рассмотренными выше выражениями, для этого был разработан следующий алгоритм:

- а) задание параметров обработки:
 - 1) начального времени t_0 ;
 - 2) конечного времени t_n ;
 - 3) шага дискретизации по времени Δt ;
 - 4) математического ожидания шума m_x ;
 - 5) дисперсии шума σ_x^2 ;
 - 6) частоты сигнала f ;
 - 7) амплитуды сигнала a_0 ;
 - 8) коэффициента затухания сигнала β ;
 - 9) сдвиг сигнала τ по времени;
 - 10) фазы сигнала φ ;
 - 11) выбор критерия расчёта значения порога;
 - 12) выбор принципа пороговой обработки;
 - 13) глубины разложения сигнала;
 - 14) выбор вейвлет-базиса;
 - 15) выбор способа пересчёта порога;
- б) генерация псевдослучайных величин, распределённых по нормальному закону, необходимое количество раз;
- в) расчёт значений необходимого количества импульсов в соответствии с формулой;
- г) определение временного положения максимума «чистого» сигнала;
- д) вычисление суммы сигналов (на «чистый» сигнал накладывается сгенерированный псевдослучайный шум);

f) автоматическое удаление шума из сигнала при помощи встроенной функции «*wden*» на основе вейвлет-преобразования в одномерном случае. Она использует следующие входные параметры:

1) критерия, позволяющего выбрать правило расчёта значения порога, в данной работе был использован универсальный порог, определяемый выражением (3.19);

2) принципа пороговой обработки, задающего мягкий или жёсткий вид трешолдинга;

3) глубины разложения данных;

4) вейвлет-функции (выбран базис Мейера);

5) параметра, определяющего способ пересчёта порога. Так, значение параметра «*mln*» позволяет указать необходимость использования порога, пересчитываемого для каждого из уровней разложения данных, а, следовательно, каждого из уровней их обработки, значение «*sln*» – указать необходимость использования порога, пересчитанного только для первого уровня разложения, значение «*one*» – необходимость использования порога, единого для всех уровней разложения. При этом выходными параметрами функции являются отфильтрованная версия исходных данных, а также коэффициенты разложения, прошедшие процедуру трешолдинга, и их структура [12].

g) поиск временного положения максимума восстановленного сигнала в каждом наблюдении.

h) расчёт смещения временного положения и её дисперсии.

Разработанный алгоритм далее использовался для написания программы и её реализации в математическом пакете MATLAB (Приложение Б).

4 Исследование точности определения временного положения сейсмических сигналов с помощью разработанных алгоритмов

Для исследования надежности разработанных алгоритмов предварительно построим математическую модель волнового сейсмического поля.

4.1 Построение математической модели сейсмической записи в программной среде MATLAB

Предположим, что на некотором интервале записей наблюдаются сейсмические сигналы, регистрируемые на фоне нерегулярных помех. По сейсмограмме перемещается окно анализа, которое в каждый момент вырезает фиксированный участок записи. Математическая модель такого участка может быть представлена в виде:

$$x(t) = S(t - \tau) + N(\tau), \quad (4.1)$$

где $S(t - \tau)$ – полезные сейсмические сигналы, по которым ведётся интерпретация;

$N(\tau)$ – аддитивный нерегулярный шум, с числовыми характеристиками $m_x \sigma_x^2$;

τ – временное положение сейсмического сигнала.

Таким образом, любую сейсмограмму можно рассматривать как сумму двух независимых процессов: сигнального, представляющего собой наложение большого числа волн одинаковой формы, и шумового.

Далее сделаем некоторые допущения относительно сигналов и помех. Будем считать, что в (4.1) сигнал имеет заданную форму и интенсивность, неизвестный параметр – только τ .

$$S(t - \tau) = a_0 * e^{-\beta^2 * (t - \tau)^2} * \cos(2\pi f(t - \tau) + \varphi) \quad (4.2)$$

– сейсмический сигнал, который описывается с помощью «колокольной» огибающей функции, в литературе часто называемый импульсом Пузырёва (где

a_0 – амплитуда, β – коэффициент, определяющий затухание импульса, f – основная частота, φ – начальная фаза).

Соотношение между a_0 и σ_x определяет отношение сигнал/шум:

$$\gamma = \left(\frac{a_0}{\sigma_x} \right)^2. \quad (4.3)$$

Шумовой процесс $N(\tau)$ имеет сложный характер и определяется действием большого числа независимых причин. Поэтому можно считать, что $N(\tau)$ подчиняется нормальному закону распределения.

В условиях данной задачи заданы следующие параметры:

- $a_0 = 1$;
- $\beta = 60 \text{ с}^{-1}$;
- $f = 40 \text{ Гц}$;
- $\tau = 0 \text{ с}$;
- $\varphi = 0 \text{ рад}$;
- начальное время $t_0 = -0,05 \text{ с}$;
- конечное время $t_n = 0,05 \text{ с}$;
- шаг дискретизации по времени $\Delta t = 0,0002 \text{ с}$.

На рисунке 4.1 в качестве примера показана реализация сгенерированного нормального шума при $m_x = 0$ и $\sigma_x^2 = 0,1$. На рисунке 4.2 и на рисунке 4.3 показаны последовательности сейсмических импульсов как с псевдослучайным шумом, так и без него.

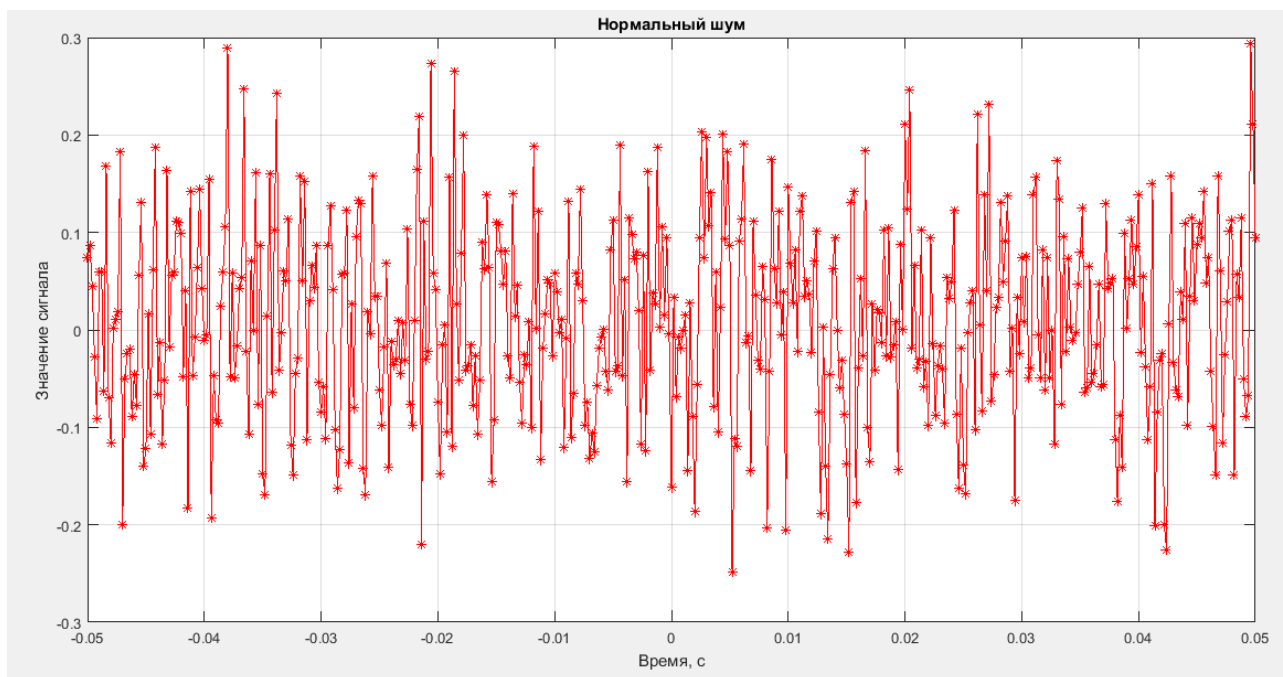


Рисунок 4.1 – Псевдослучайный нормальный шум

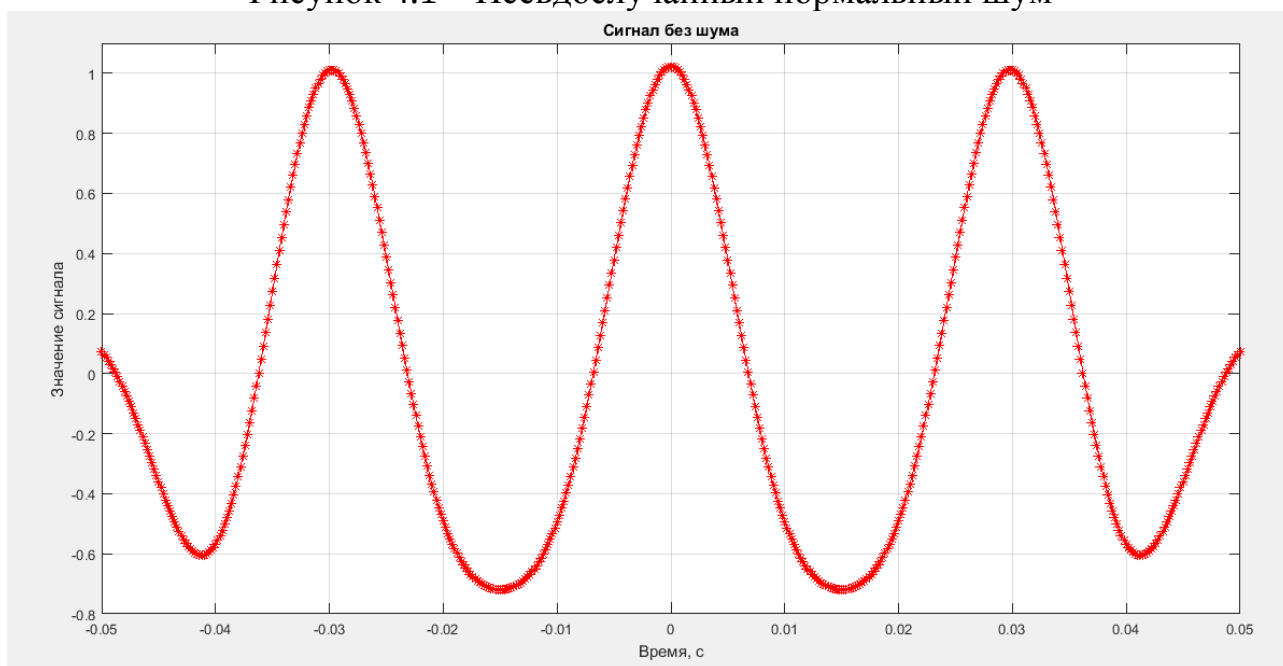


Рисунок 4.2 – Последовательность сейсмических импульсов в отсутствии псевдослучайного шума

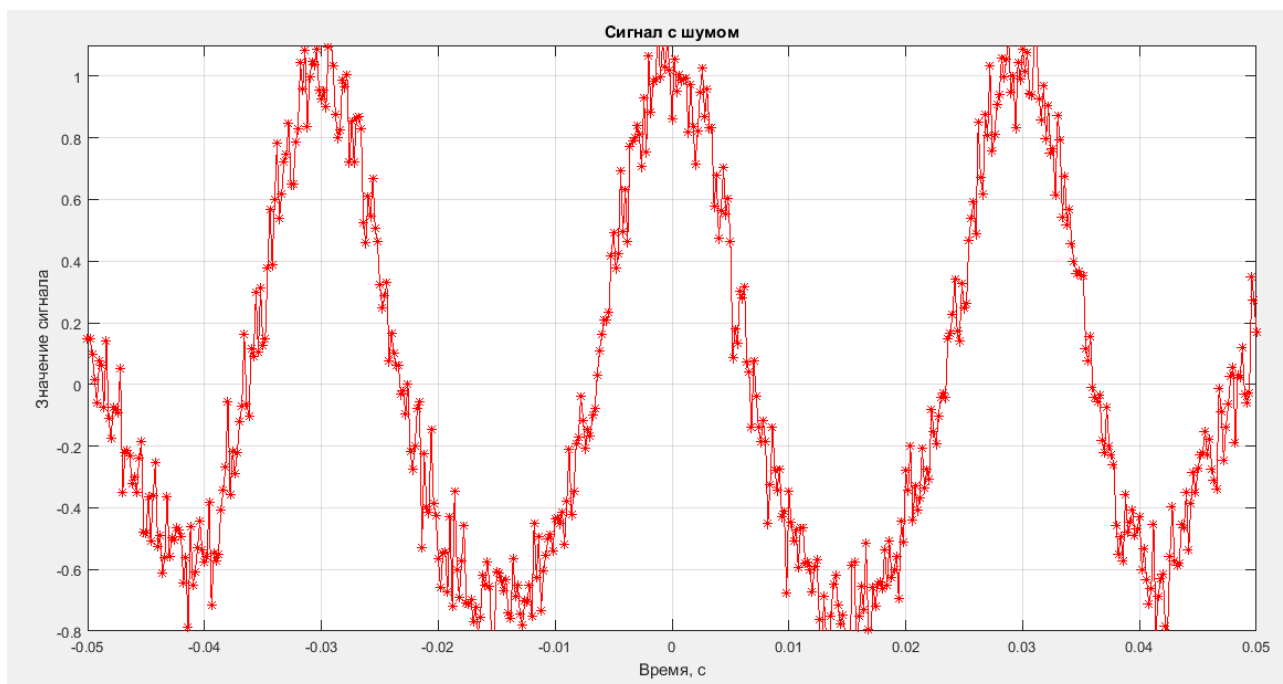


Рисунок 4.3 – Последовательность сейсмических импульсов в присутствии псевдослучайного шума

Перейдём теперь непосредственно к исследованию точности определения временного положения сейсмических сигналов с помощью разработанных алгоритмов на основе ДПФ и ДВП.

4.2 Исследование на построенной модели фазочастотного алгоритма определения временного положения сейсмических сигналов

Для того чтобы убедиться, что именно в ФЧХ и ФГЗ заложена информация о временном положении сигнала, предварительно приведем вид спектральных характеристик импульса с колокольной огибающей. На рисунках 4.4, 4.5 и 4.6 показаны АЧХ, ФЧХ и ФГХ данного сигнала. Из рисунков видно, что ФЧХ (рисунок 4.5) имеет линейный вид и наклон этой прямой определяет сдвиг сигнала по времени. ФГЗ непосредственно определяет значение сдвига (рисунок 4.6).

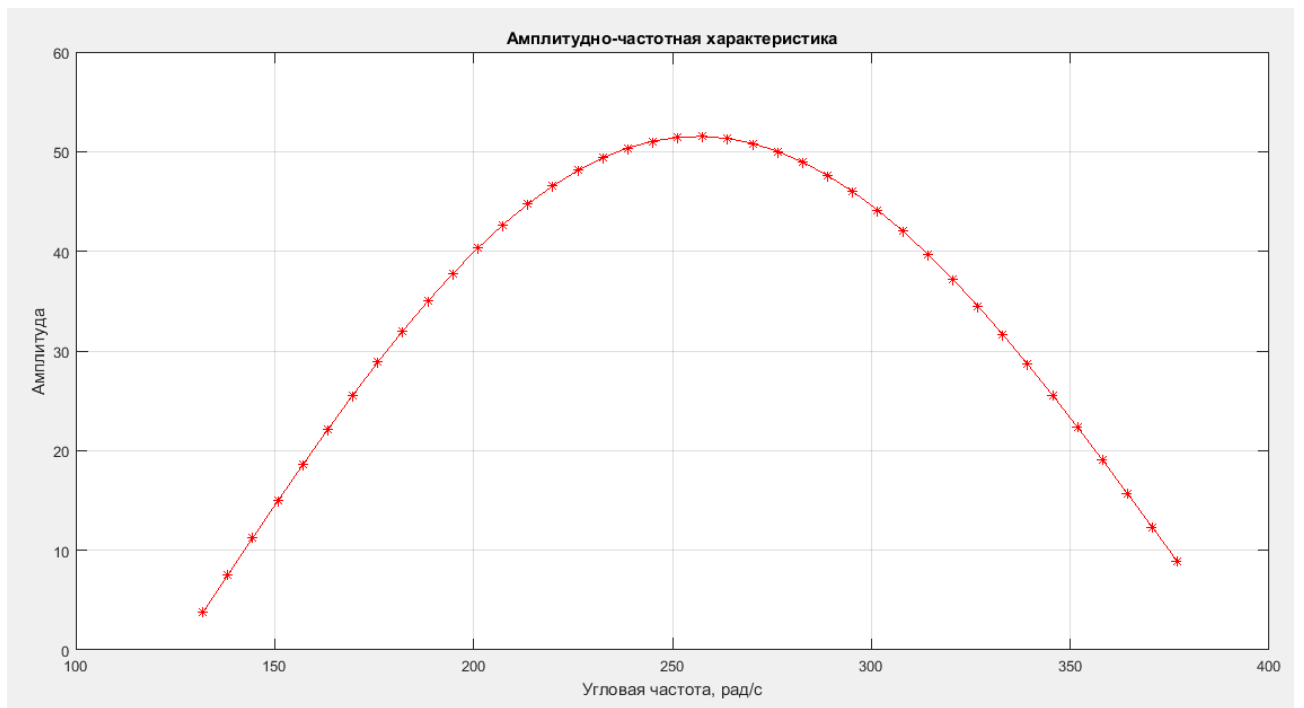


Рисунок 4.4 – АЧХ

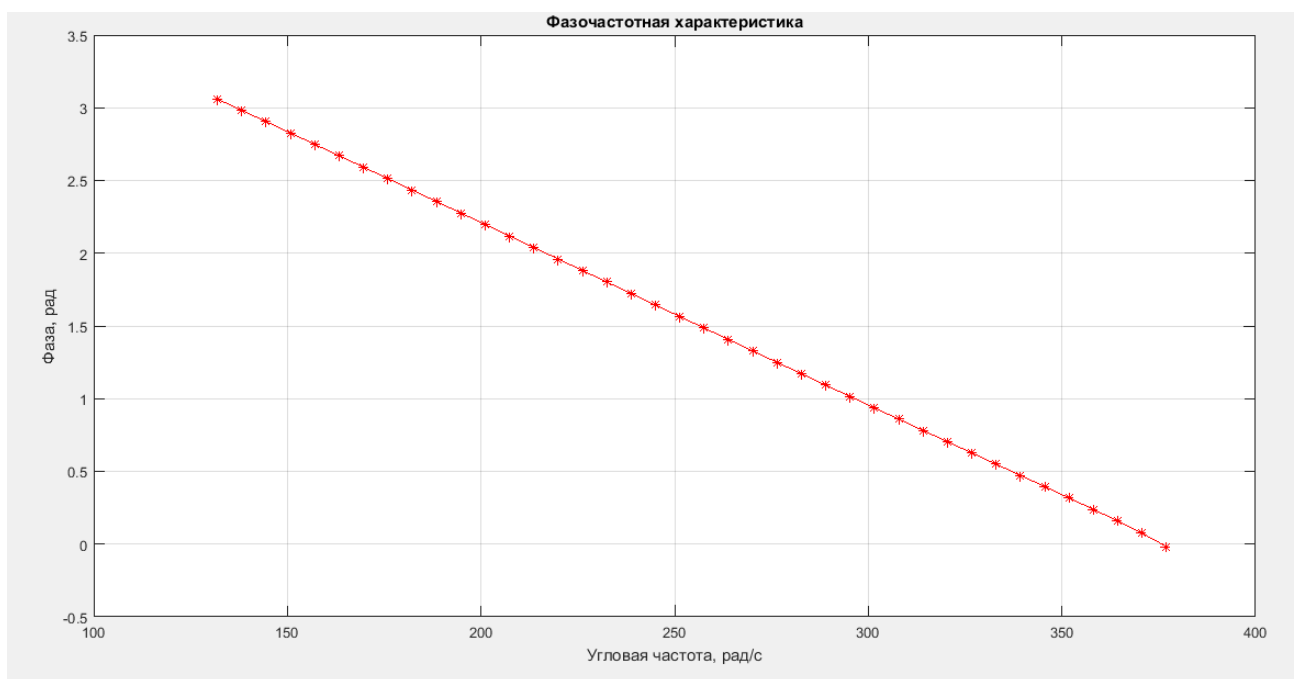


Рисунок 4.5 – ФЧХ

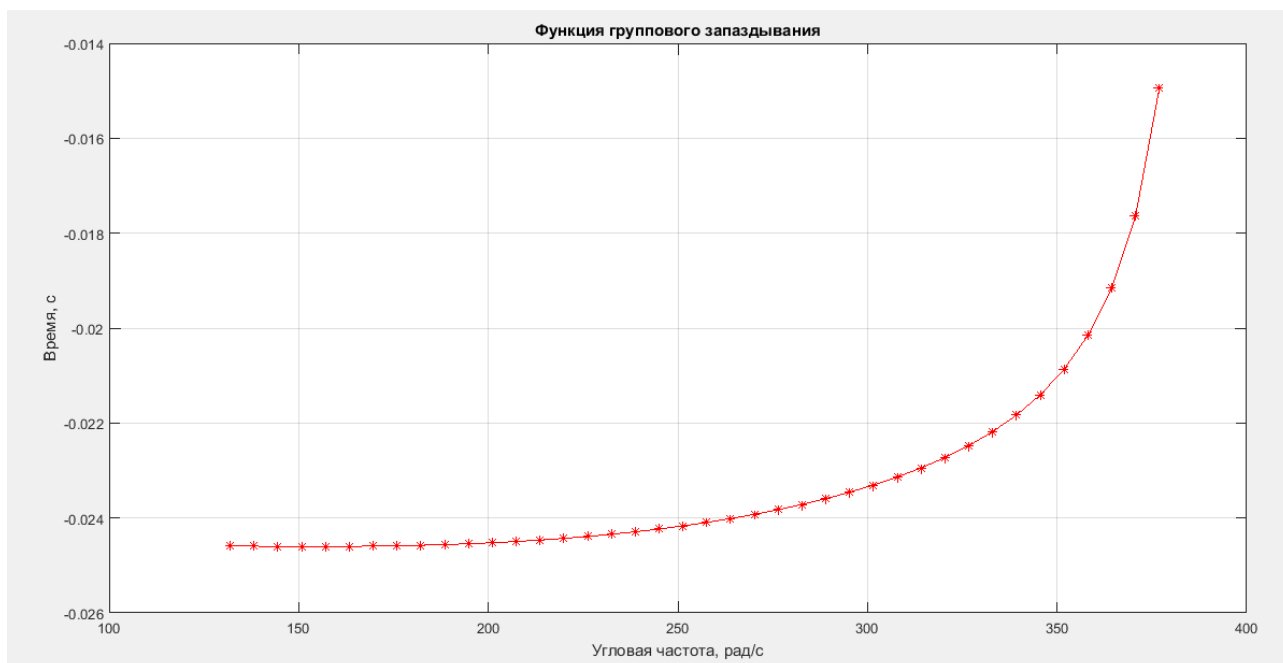


Рисунок 4.6 – ФГЗ

Исследование точности алгоритмов фазочастотного прослеживания (ФЧП) проводились на выше построенной модели волнового поля при наличии аддитивного шума. В качестве критерия эффективности алгоритма прием смещение и СКО оценки временного положения сигнала в зависимости от отношения сигнал/шум.

На рисунке 4.7 показаны смещения оценки временного положения сигнала в зависимости от отношения сигнал/шум, полученные с помощью равновесной и неравновесной обработки ФЧХ. Неравновесная обработка представлена 3 вариантами с различными значениями частоты среза треугольной функции.

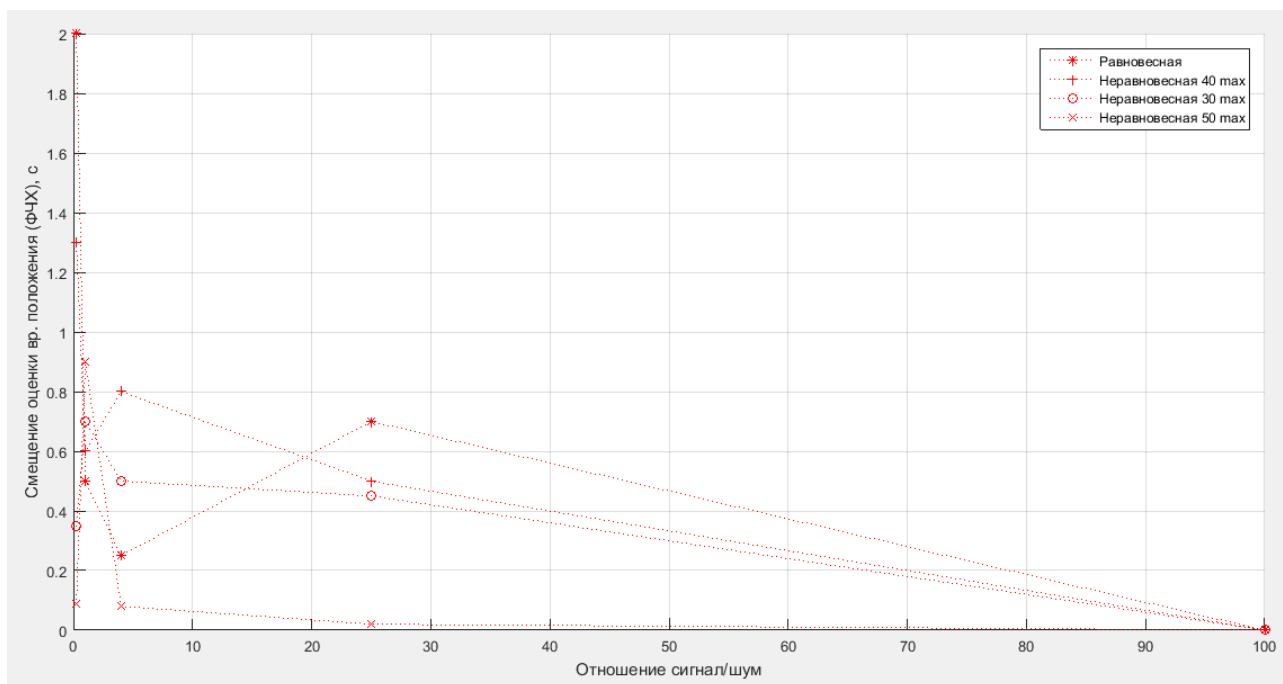


Рисунок 4.7 – Смещение оценки временного положения импульса для алгоритмов ФЧХ

Из рисунка видно, что удаётся получить практически несмещённые оценки при достаточно низких отношениях сигнала к помехе. Так, при отношении сигнала к шуму 1, смещение оценки составляет 0,5 мс при равновесной обработке и 0,7 мс при неравновесной обработке.

На рисунке 4.8 приведены зависимости СКО от отношения сигнал/шум, полученные для тех же алгоритмов.

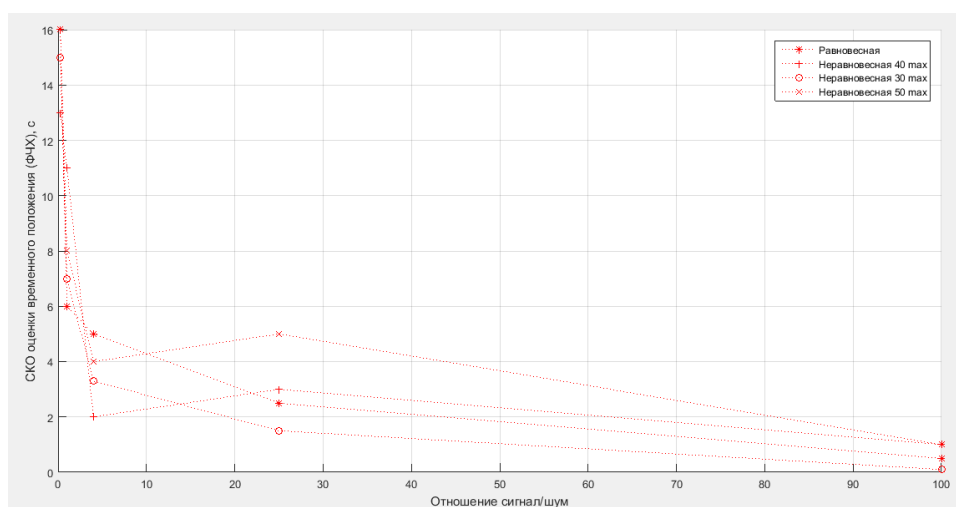


Рисунок 4.8 – СКО оценок временного положения сигнала для алгоритмов ФЧХ

Из рисунка видно, что точность получаемых оценок высока, причём равновесная обработка дает немного лучшие результаты при низких отношениях сигнал/шум, а неравновесная обработка при более высоких. В целом, СКО не выходит за границы 16 мс.

На рисунках 4.9 и 4.10 показаны смещение для алгоритмов на основе ФГЗ с равновесной и неравновесной обработкой.

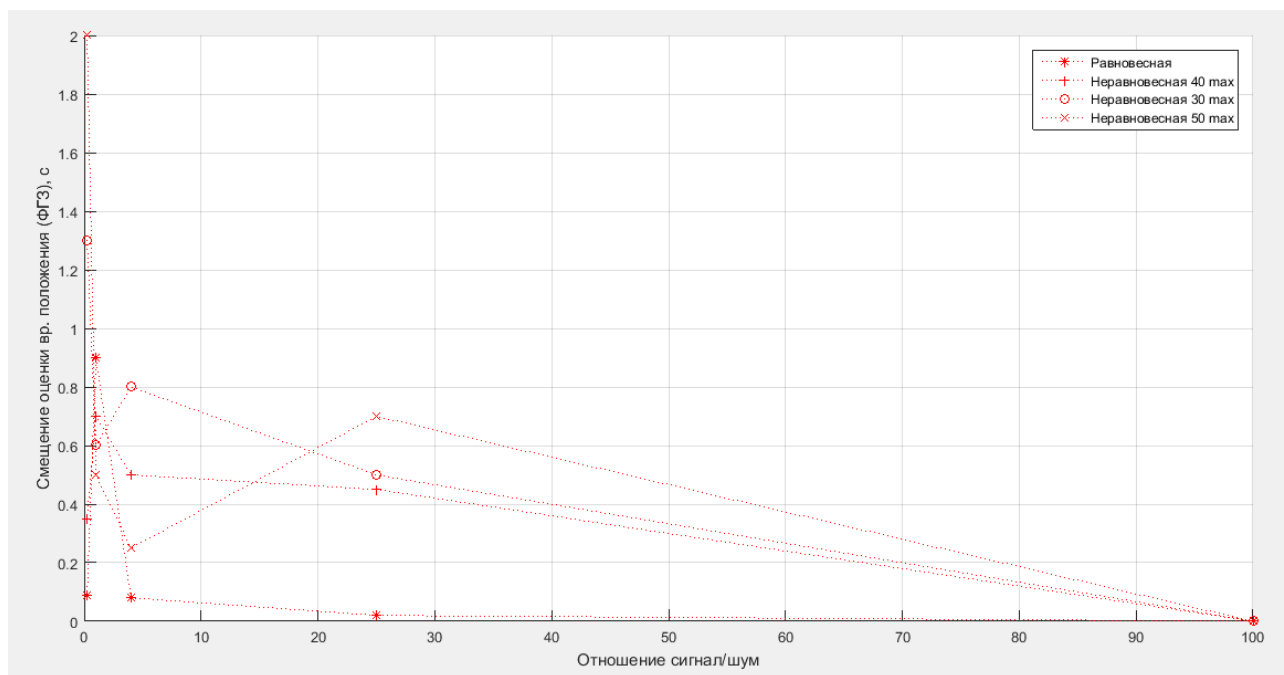


Рисунок 4.9 – Смещение оценки временного положения сигнала при использовании ФГЗ

Из рисунков следует, что алгоритмы на основе ФГЗ, как и алгоритмы на основе ФЧХ, позволяют получать практически несмещённые оценки временного положения сигналов. Однако, точность получаемых оценок немного ниже. При этом переход от равновесной к неравновесной обработке повышает точность оценок только при отношениях сигнал/помеха, меньше 2.

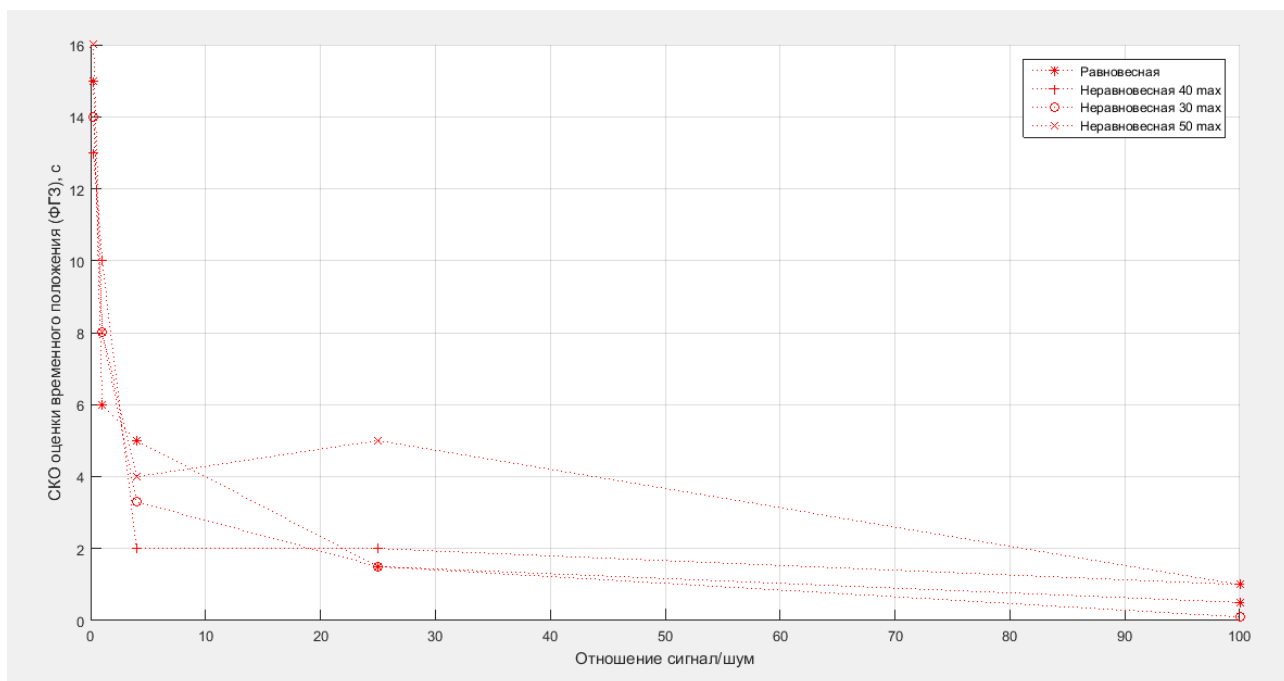


Рисунок 4.10 – СКО оценок временного положения, полученных на основе ФГЗ

Таким образом, проведённые исследования показали, что в условиях интенсивных аддитивных помех методы с равновесной и неравновесной обработкой ФЧХ и ФГЗ позволяют получать оценки временного положения сигналов с высокой точностью.

4.3 Анализ применения алгоритма вейвлет-преобразования

Алгоритмы вейвлет-преобразования могут быть использованы для определения временного положения сигналов. В этом случае за оценку временного положения принимается положение максимума сигнала после обратного вейвлет-преобразования. Для исследования эффективности таких алгоритмов проводился вычислительный эксперимент на сформированной модели волнового сейсмического поля.

Импульс с колокольной огибающей задавался на интервале от минус 0,05 до плюс 0,05 с. Шум генерировался датчиком случайных чисел с переменной мощностью. Отношение сигнал/шум определялось как отношение квадрата максимальной амплитуды сигнала к дисперсии шума. Для каждого заданного отношения сигнал/шум проводилось 50 экспериментов. В качестве

оценок эффективности алгоритма принимались смещение и СКО оценки временного положения сигнала в зависимости от отношения сигнал/шум.

В качестве примера на рис.4.11 показано прямое и обратное преобразование импульса с колокольной огибающей при отсутствии шума. Из рисунка видно, что положение максима не смещается.

На рисунках 4.12 и 4.13 показаны результаты применения алгоритма прямого и обратного вейвлет-преобразования при различных соотношениях сигнал/шум. Видно, что данное преобразование позволило успешно восстановить исходный сигнал (сигнал до наложения нормального псевдослучайного шума). Однако, положение максимума на некоторых записях смещается.

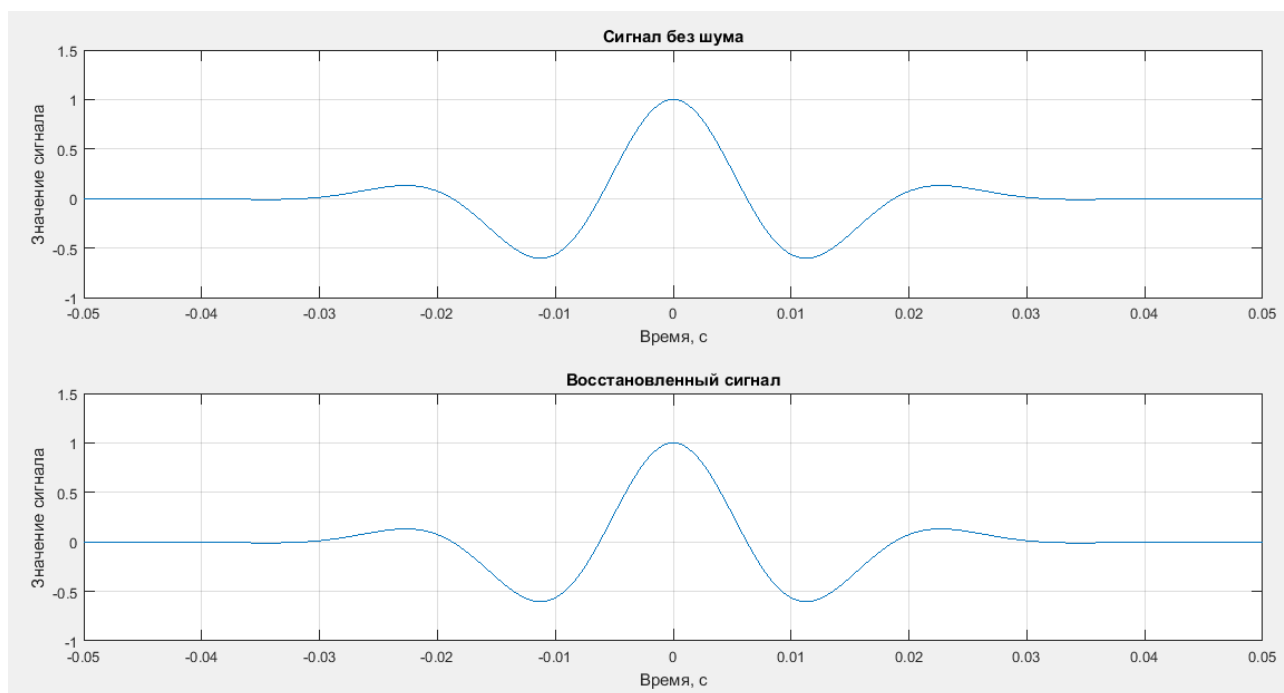


Рисунок 4.11 – Прямое и обратное преобразование сигнала без шума

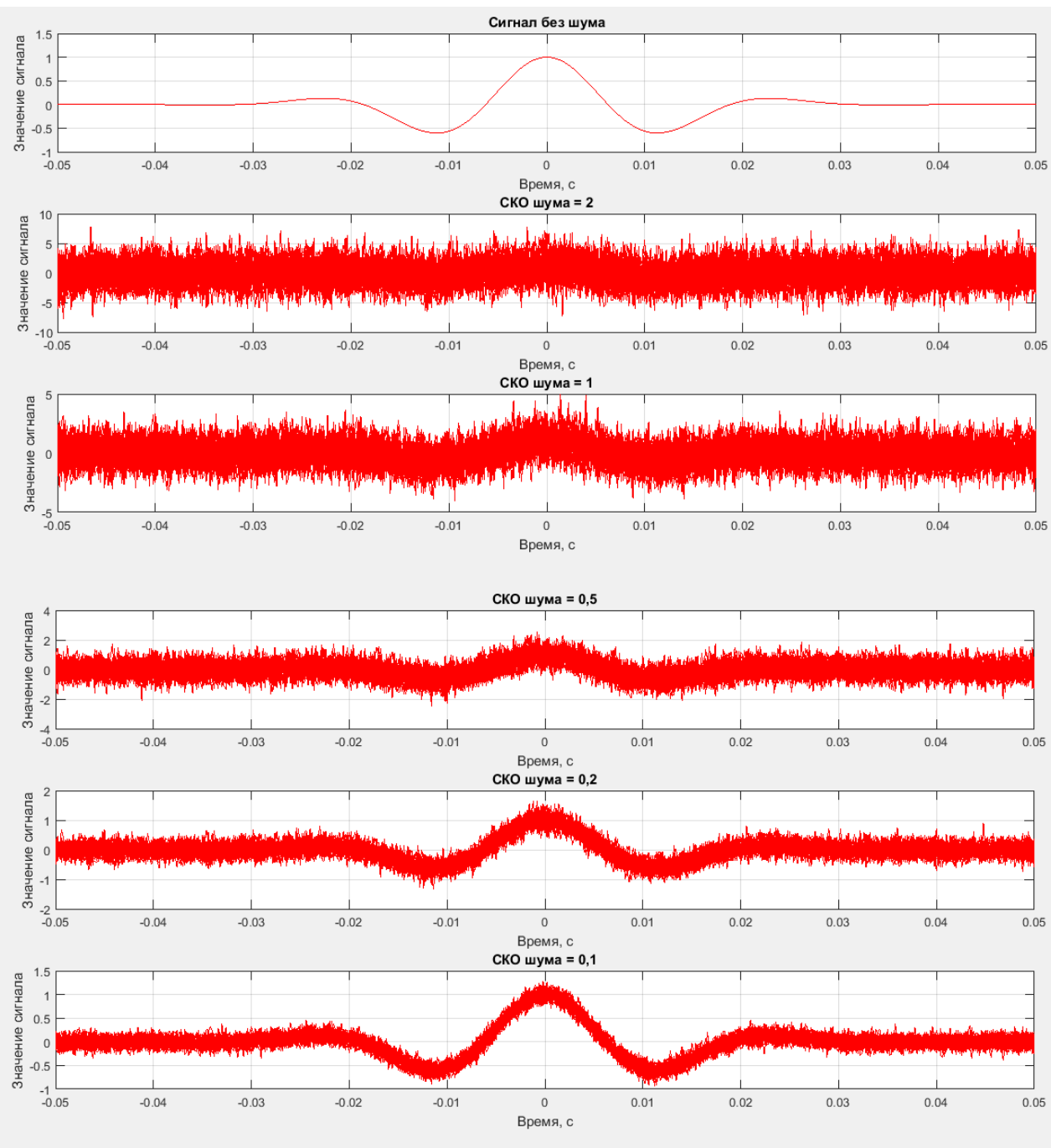


Рисунок 4.12– «Чистый» сигнал и сигнал с шумом с различным СКО

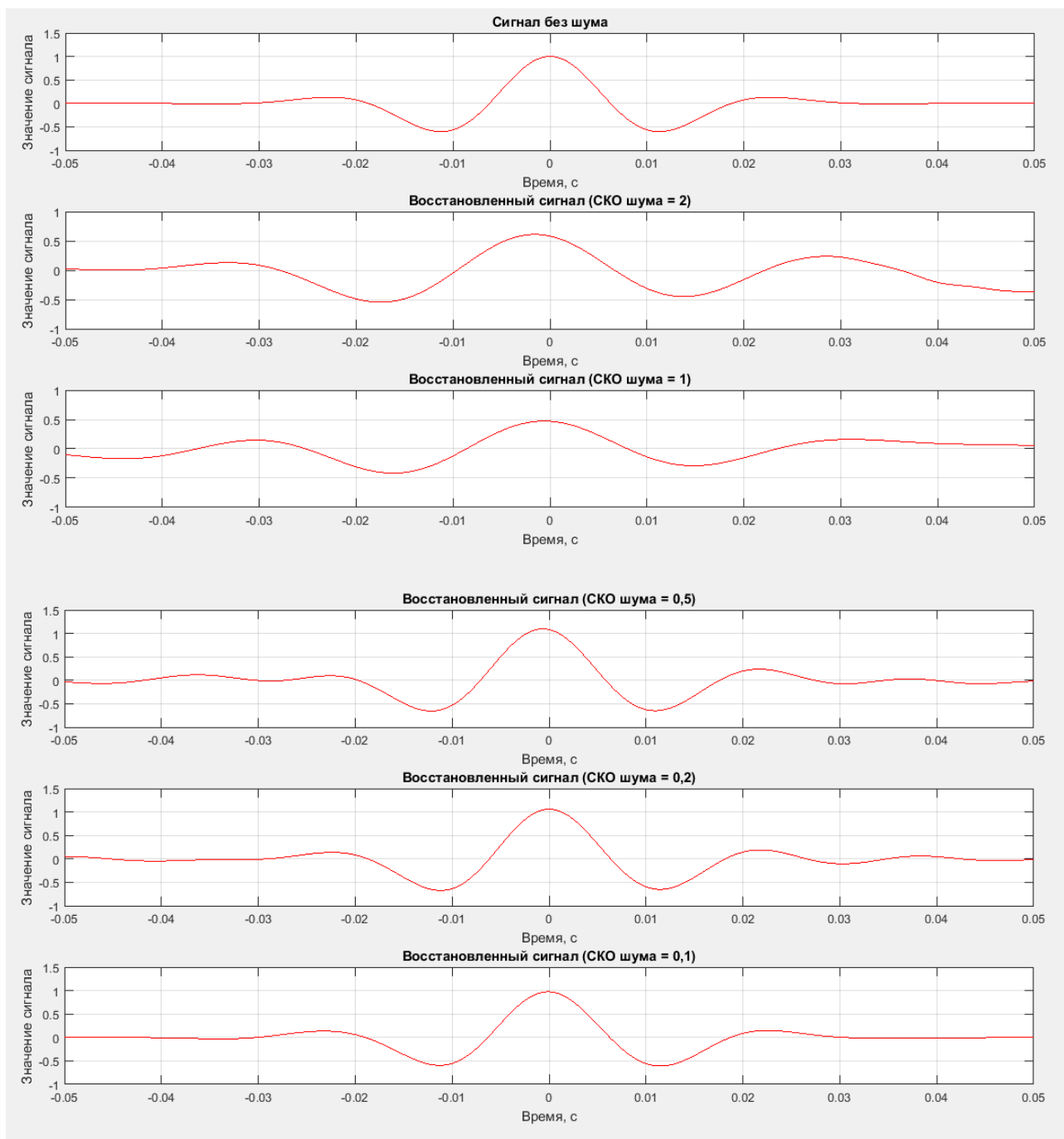


Рисунок 4.13 – Восстановленные сигналы (после шумоподавления)

Теперь проведем аналогичный разделу 4.2 вычислительный эксперимент с вейвлет-преобразованием на сформированной модели. Результаты вычислений представлены в таблице 4.1 и проиллюстрированы на рисунках 4.14 и 4.15 соответственно. Из представленных результатов следует, что применение вейвлет-преобразований для определения временного положения сложных сигналов позволяет обеспечить точность получаемых оценок, сопоставимую с фазочастотными методами.

Таблица 4.1– Результаты вычислений для ВП

Значение СКО шума	Отношение сигнал/шум	Смещение оценки, мс	СКО оценки, мс
2	0.25	2.8	15
1	1	1.1	5.6
0,5	4	0,17	7.9
0,2	25	-0,09	0,45
0,1	100	-0,0023	0,0131

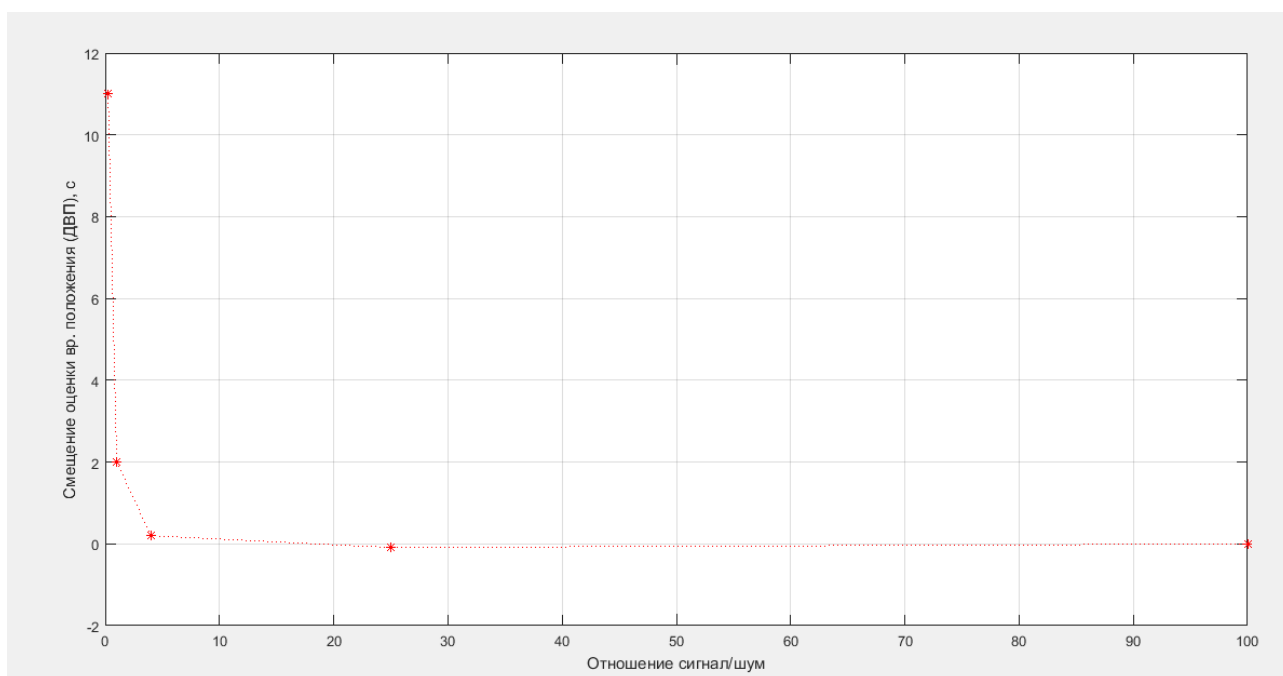


Рисунок 4.14 – Смещение оценки времени временного положения

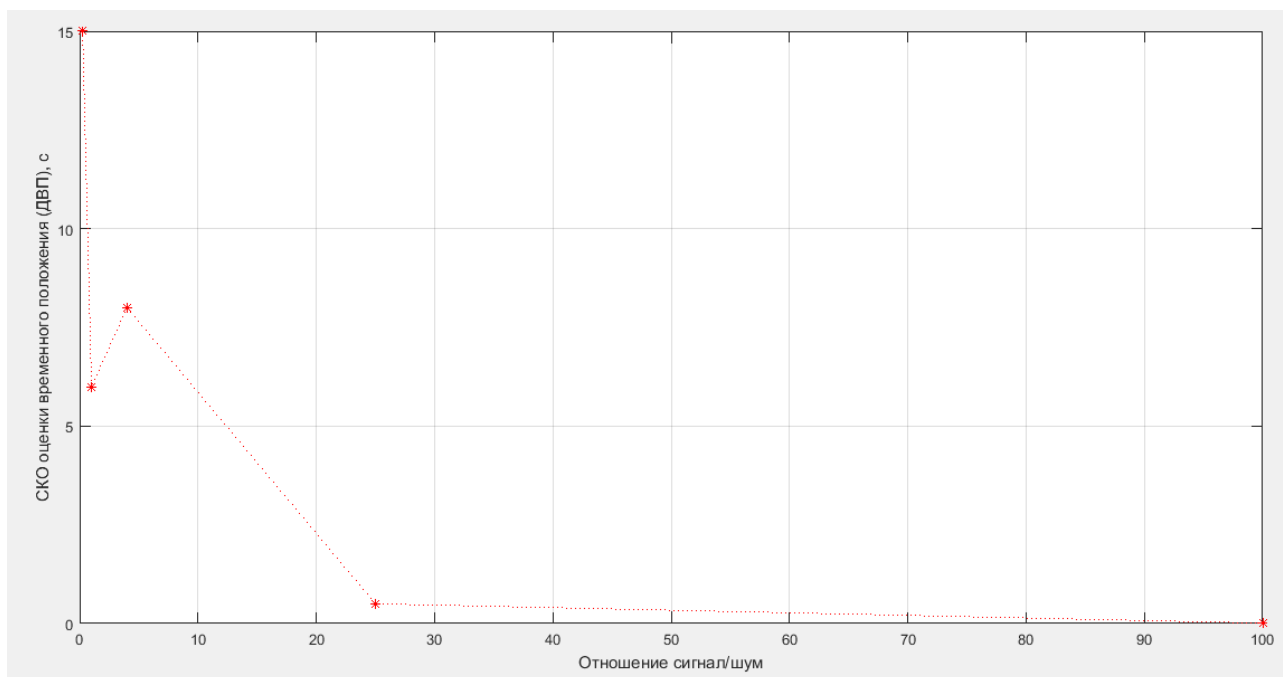


Рисунок 4.15 – СКО оценки временного положения

Несомненным преимуществом вейвлет-преобразований является возможность восстановления истинной формы сигнала, чего при применении фазочастотных алгоритмов сделать не удастся. Кроме того, частотно-временное представление ВП, в отличие от частотного представления ДПФ, открывает дополнительные возможности изучения структуры сложных сигналов, что является предметом дальнейших исследований.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Для эффективного использования научного потенциала научно-исследовательской работы (НИР) необходимо прилагать усилия не только к непосредственно её разработке, но и к проведению её анализа с точки зрения экономических требований.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» части выпускной квалификационной работы рассмотрены следующие вопросы:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно – исследовательской работы;
- расчёт бюджета научно – технического исследования.

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

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Предприятие, по проблеме которого будет выполнена работа: общество с ограниченной ответственностью «Сибнефтегазинновация», г. Томск.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8

Продолжение таблицы 5.1

Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Интерфейс пользователя	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,5
Сопроводительная документация	0,07	5	5	5	0,35	0,35	0,35
Совместимость с другими программами	0,04	5	5	4	0,2	0,2	0,16
Простота ввода в эксплуатацию	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Возможности настройки программы по определенным параметрам	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
Аппаратная независимость, открытость системы	0,06	3	2	2	0,18	0,12	0,12
Язык написания, сложность сопровождения	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
Степень соответствия современным требованиям в области использования	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность разработки	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Цена	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Финансирование научной разработки	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
Итого	1				4,68	4,09	4,4

Вывод: анализ конкурентоспособности, представленный в таблице 5.1, показал, что технические и экономические показатели оценки ресурсоэффективности нашей разработки опережают показатели конкурентов.

5.1.3 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в НИР. По своему содержанию

данный инструмент близок к методике оценки конкурентных технических решений, описанных в разделе 5.1.2.

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Макс. балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5*2)
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
Интерфейс пользователя	0,1	80	100	0.8	0,08
Сопроводительная документация	0,07	70	100	0.7	0,049
Совместимость с другими программами	0,04	90	100	0.9	0,036
Простота ввода в эксплуатацию	0,1	100	100	1	0,1
Возможности настройки программы по определенным параметрам	0,05	90	100	0.9	0,045
Аппаратная независимость, открытость системы	0,06	90	100	0.9	0,054
Язык написания, сложность сопровождения	0,1	90	100	0.9	0,09
Степень соответствия современным требованиям в области использования	0,2	100	100	1	0,2
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
Конкурентоспособность разработки	0,1	100	100	1	0,1
Цена	0,08	80	100	0.8	0,064
Финансирование научной разработки	0,1	80	100	0.8	0,08
Итого	1				

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$П_{ср} = \sum B_i B_i, \quad (5.1)$$

где $П_{ср}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение -го показателя.

Таким образом, $P_{cp} = 80 \%$.

5.1.4 SWOT-анализ

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Экологичность технологии. С2. Наличие бюджетного финансирования. С3. Квалифицированный персонал.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Использование инфраструктуры «Сибнефтегазинновация», г. Томск		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства		

Выявление соответствия сильных и слабых научно-исследовательского проекта представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны

Возможности		C1	C2	C3
	B1	+	0	+
	B2	+	+	-
Угрозы	У1.	0	+	+
	У2	+	0	+
Слабые стороны				
Возможности проекта.		Сл1		
	B1	0		
	B2	0		
Угрозы	У1	+		
	У2	-		

Окончательный результат SWOT-анализа представлен в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Экологичность технологии. С2. Наличие бюджетного финансирования. С3. Квалифицированный персонал.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой
--	---	---

Продолжение таблицы 5.5

Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Использование инфраструктуры «Сибнефтегазинновация», г. Томск	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 5.6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Согласование, утверждение и принятие технического задания	Руководитель
Разработка и утверждение технического проекта	2	Определение программной среды	Лаборант
	3	Установление подробного плана и сроков разработки алгоритмов	Руководитель
	4	Утверждение технического проекта	Руководитель
Разработка алгоритмов, программной документации, испытание алгоритмов	5	Программирование, отладка проекта на локальной машине	Лаборант
	6	Разработка графического интерфейса	Лаборант
	7	Разработка, выбор пакета тестов	Лаборант
	8	Поиск и устранение ошибок	Лаборант, руководитель

Продолжение таблицы 5.6

	9	Доработка проекта, устранение выявленных ошибок и уязвимостей	Лаборант
Внедрение	10	Внедрение проекта на предприятии	Лаборант, руководитель
	11	Утверждение алгоритмов	Руководитель
Оформление отчёта по НИР	12	Составление эксплуатационно-технической документации	Руководитель

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Таблица 5.7 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость									Длительность работ в рабочих днях, Т _р			Длительность работ в календарных днях, Т _{кi}		
	t _{min}			t _{max}			t _{ожид}								
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Согласование, утверждение и принятие технического задания	2	2	3	4	5	5	3	3	4	3	3	4	4	5	6
Определение программной среды	3	4	3	6	7	7	4	5	5	4	5	5	6	8	7
Установление подробного плана и сроков разработки алгоритмов	5	5	5	9	9	8	7	7	6	7	7	6	10	10	9
Утверждение технического проекта	1	2	1	2	3	3	1	2	2	1	2	2	2	4	3
Программирование, отладка проекта на локальной машине	3	6	4	7	8	8	5	7	6	5	7	6	7	10	8
Разработка графического интерфейса	23	25	25	30	35	30	26	29	27	26	29	27	38	43	40

Продолжение таблицы 5.7

Разработка, выбор пакета тестов	3	4	4	5	6	7	4	5	5	4	5	5	6	7	8
Поиск и устранение ошибок	3	4	3	7	8	9	5	6	5	5	6	5	7	8	8
Доработка проекта, устранение выявленных ошибок и уязвимостей	10	9	10	20	20	25	14	13	16	14	13	16	21	20	23
Внедрение проекта на предприятии	5	6	6	9	10	12	7	8	8	7	8	8	10	11	12
Утверждение алгоритмов	1	2	2	2	3	4	1	2	3	1	2	3	2	4	4
Составление эксплуатационно-технической документации	2	3	3	3	4	4	2	3	3	2	3	3	4	5	5

Таблица 5.8 – Продолжительности работ для исполнителей

	Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент
Исполнитель 1	26	68	38	99
Исполнитель 2	31	81	46	118
Исполнитель 3	32	77	47	113

5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Таблица 5.9 – Календарный план-график проведения НИР

№	Вид работ	Исп olni тели	T _{кi} , к. дн.	Продолжительность выполнения работ																			
				февр.				март				апр.				май				июнь			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Согласование, утверждение и принятие технического задания	Р	4																				

Продолжение таблицы 5.9

2	Определение программной среды	Л	6																	
3	Установление подробного плана и сроков разработки алгоритмов	Р	10																	
4	Утверждение технического проекта	Р	2																	
6	Программирование, отладка проекта на локальной машине	Л	7																	
7	Разработка графического интерфейса	Л	44																	
8	Разработка, выбор пакета тестов	Л	6																	
9	Поиск и устранение ошибок	Л+Р	7																	
10	Доработка проекта, устранение выявленных ошибок и уязвимостей	Л	21																	
11	Внедрение проекта на предприятии	Л+Р	10																	
12	Утверждение алгоритмов	Р	2																	
13	Составление эксплуатационно-технической документации	Р	4																	
	 -лаборант	 -руков-ль																		

5.4.2 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

5.4.2.1 Расчет материальных затрат НТИ

Таблица 5.10 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед.,			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
					руб.					
		Ис п. 1	Ис п. 2	Ис п. 3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Компьютер	шт.	2	2	2	41300	42500	41999	82600	85000	83998
МФУ		1	1	1	8550	8000	7520	8550	8000	7520
Монитор		4	4	4	7 690	8200	8500	30760	32800	34000
Итого								121910	125800	125518

5.4.2.2 Расчёт амортизационных отчислений

Таблица 5.11 – Величина амортизационных отчислений

Наименование	Количество			Спервон., руб.			Т п.и.			На, %			А в мес., руб.			А за период, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Компьютер	2	2	2	82600	85000	83998	730			0,137			113,15	116,44	115,07	452,60	465,75	460,26
Всего																452,60	465,75	460,26

5.4.2.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Таблица 5.12 – Расчёт основной заработной платы

Исполнитель	Оклад, руб.	Средняя заработная плата, руб./дн.	Трудоемкость,			Основная заработная плата, руб.		
			раб. дн.					
			Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Руководитель	23264,86	2432,24	26	31	32	82209,56	98019,09	101180,99
Лаборант	6976,22	729,33	68	81	77	64472,96	76798,67	73006,14
ИТОГО						146682,51	174817,75	174187,13

5.4.2.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Таблица 5.13 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Коэффициент дополнительной заработной платы	Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Руководитель	82209,56	98019,09	101180,99	0,15	12331,43	14702,86	15177,15
Лаборант	64472,96	76798,67	73006,14		9670,94	11519,80	10950,92
ИТОГО					22002,38	26222,66	26128,07

5.4.2.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Таблица 5.14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель	82209,56	98019,09	101180,99	12331,43	14702,86	15177,15
Лаборант	64472,96	76798,67	73006,14	9670,94	11519,80	10950,92
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,30					
Итого						
Исп.1	50605,47					
Исп.2	60312,13					
Исп.3	60094,56					

5.4.2.6 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:

$$\text{Исп.1: } Z_{\text{накл}} = (121910,00 + 452,60 + 122362,60 + 22002,38 + 50605,47) \cdot 50 \% = 158666,52.$$

$$\text{Исп.2: } Z_{\text{накл}} = (125800 + 465,75 + 126265,75 + 26222,66 + 60312,13) \cdot 50 \% = 169533,15.$$

$$\text{Исп.3: } Z_{\text{накл}} = (125518 + 460,26 + 125978,26 + 26128,07 + 60094,56) \cdot 50 \% = 169089,58.$$

5.4.2.7 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 5.15.

Таблица 5.15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Статьи расходов	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Материальные затраты	121910,00	125800,00	125518,00
Амортизационные отчисления	452,60	465,75	460,26
Основная заработная плата	122362,60	126265,75	125978,26
Дополнительная заработная плата	22002,38	26222,66	26128,07
Отчисления во внебюджетные фонды	50605,47	60312,13	60094,56
Накладные расходы	158666,52	169533,15	169089,58
Бюджет затрат НТИ	475999,57	508599,44	507268,74

Вывод: наиболее низким по себестоимости оказался проект первого исполнителя, затраты на его полную реализацию составляют 475999,57 рублей.

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

Интегральный показатель финансовой эффективности определяется по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (5.2)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Таблица 5.16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Интерфейс пользователя	0,15	5	3	5
Сопроводительная документация	0,1	5	5	5
Совместимость с другими программами	0,05	5	5	4
Простота ввода в эксплуатацию	0,2	4	4	4
Возможности настройки программы по определенным параметрам	0,05	5	4	5
Аппаратная независимость, открытость системы	0,1	3	2	2
Язык написания, сложность сопровождения	0,2	5	4	5
Степень соответствия современным требованиям в области использования	0,15	5	5	5
ИТОГО	1			

Таблица 5.17 –1 Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,94	1,00	0,99
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,60	3,95	4,45

Продолжение таблицы 5.17

3	Интегральный показатель эффективности	4,92	3,95	4,46
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,24	0,80	0,91

Вывод: сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило выбрать наиболее эффективный вариант решения проекта. С позиций технической и финансовой ресурсоэффективности мы можем сделать выводы о том, что научно – техническое решение, представленное первым исполнителем, является более предпочтительным.

6 Социальная ответственность

Во время разработки и эксплуатации проекта «Алгоритмы определения временного положения сложных сигналов на основе спектральных преобразований» выполнялись работы, связанные построением алгоритмов, моделированием процессов, анализом информации, программированием. Программный комплекс будет использоваться для анализа сейсмических волн. Предприятие, по проблеме которого будет выполнена работа: ООО «Сибнефтегазинновация», г. Томск.

В связи с тем, что работа связана непосредственно с компьютером, то такая работа может отрицательно воздействовать на здоровье человека. Во-первых, большую угрозу несёт монитор компьютера, так как он является источником электромагнитного поля. Во-вторых, неподвижная напряжённая поза в течение продолжительного временного периода способствует к быстрому переутомлению и появлению болевых ощущений в области позвоночника, плечевых суставов, шеи. Однако, наиболее сильной нагрузке подвергаются глаза человека. Ещё один немаловажный фактор – это работа с клавиатурой. Данный вид работы вызывает боль в локтевых суставах, запястьях, кистях и пальцах рук.

6.1 Производственная безопасность

В таблице 6.1 представлены основные виды работ, которые могут привести к воздействию опасных и вредных факторов.

Таблица 6.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы рабочего места разработчика

Наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003 - 74) [13]		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа за персональным компьютером в офисном помещении	1) Недостаточная освещенность рабочей зоны; 2) отсутствие или недостаток естественного света; 3) повышенный уровень шума; 4) повышенный уровень электромагнитных излучений; 5) повышенная напряжённость электрического поля; 6) повышенная или пониженная влажность воздуха;	1) Повышенный уровень статического электричества; 2) пожароопасность.	1) Шум. Общие требования безопасности устанавливаются ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ [2]. 2) Показатели микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.2.548-96 [3]. 3) Нормы освещения устанавливаются СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [4]. 4) Допустимые уровни напряженности электростатических полей устанавливается ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ [5]. 5) ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования [7]. 6) Электробезопасность устанавливается по ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ [6].

6.2 Недостаточная освещённость рабочей зоны; отсутствие или недостаток естественного света

Освещение рабочего места специалиста складывается из естественного и искусственного освещения. Естественное освещение достигается установкой оконных проёмов с коэффициентом естественного освещения (КЕО) не ниже 1,2 % в зонах с устойчивым снежным покровом и не ниже 1,5 % на остальной территории. Световой поток из оконного проёма должен падать на рабочее место оператора с левой стороны. [16]

Работа за персональным компьютером (ПК) относится к зрительным работам высокой точности для любого типа помещений [16]. Столбцы таблицы 2 содержат следующие сведения:

- 1 – характеристика зрительных работ;
- 2 – наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм;
- 3 – разряд зрительной работы;

- 4 – подразряд зрительной работы;
- 5 – относительная продолжительность зрительной работы, %;
- 6 – освещенность на рабочей поверхности от системы общего искусственного освещения, лк;
- 7 – цилиндрическая освещенность, лк;
- 8 – показатель дискомфорта;
- 9 – коэффициент пульсации освещенности, %;
- 10 – КЕО при верхнем освещении, %;
- 11 – КЕО при боковом освещении, %.

Таблица 6.2 – Нормирование освещённости для работы за ПК ПО САНПИН 2.2.2/2.4.1340–03 [21]

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

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

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

Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК, представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК ПО САНПИН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [16]

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

Рассмотрим офисное помещение, в котором производились работы, с размерами: длина $A = 5$ м, ширина $B = 7$ м, высота $H = 4$ м. Всего имеется шесть светильников, по четыре лампы в каждом. Фактическая освещённость рассчитывается по следующей формуле:

$$E_{\phi} = \frac{N \cdot n \cdot \Phi_{\text{ст}} \cdot \gamma}{S \cdot K \cdot z}, \quad (6.1)$$

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

Получаем

$$E_{\phi} = 249 \text{ лк.}$$

Отличие от нормированного уровня

$$\Delta E = \frac{E_{\phi} - E_{\text{норм}}}{E_{\text{норм}}} \cdot 100 \%. \quad (6.2)$$

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

6.3 Повышенный уровень шума

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

Работы, выполняемые специалистом, оцениваются как научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, следовательно, согласно СН2.2.4/2.1.8.562-96 эквивалентный уровень шума в рабочем помещении не должен превышать 50 дБА.

Таблица 6.4 – Эквивалентные уровни звука для проектно-конструкторских бюро, лабораторий для теоретических работ ПО ГОСТ 12.1.003–83 [14]

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Эквивалентные уровни шума, дБА
Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	50

Наиболее эффективная защита от производственного шума создается с помощью специальных архитектурно-строительных решений на этапе проектирования здания, планировки офиса и рабочих мест в нём.

В качестве дополнительных мер по защите от шума можно применять различные звукоизолирующие кожухи, акустические экраны, звукопоглощающие отделочные материалы. На рисунке 6.1 показан пример использования акустических экранов в вычислительных центрах.

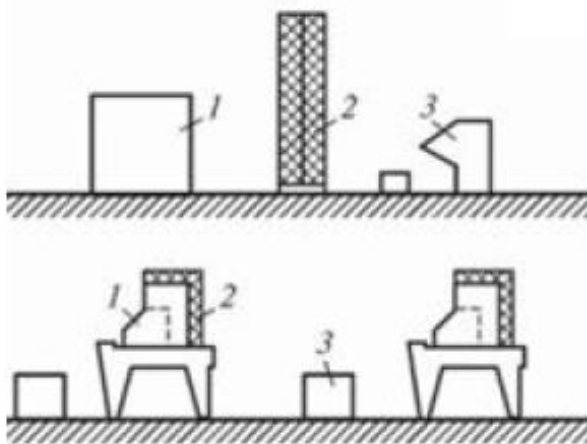


Рисунок 6.1 – Пример защиты от производственного шума в вычислительных центрах (1 – шумное оборудование, 2 – защитный экран, 3 – рабочее место)

6.4 Повышенный уровень электромагнитных излучений; повышенная напряжённость электрического поля

Источником электромагнитного поля и электромагнитных излучений на рабочем месте является компьютер, в частности, экран монитора компьютера.

Электромагнитное поле, создаваемое ПК, имеет сложный спектральный состав в диапазоне частот от 0 Гц до 1000 МГц, и в том числе мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана при любых положениях ПК не должна превышать 100 мкР/час [16].

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

Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений от монитора компьютера представлены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений ПО ГОСТ 12.1.045–84 [17]

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

Предельно-допустимые нормы ЭМП представлены в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Предельно допустимые нормы ЭМП ПО ГОСТ 12.1.045–84 [17]

Напряжённость 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

Ряд мероприятий, позволяющих уменьшить влияние вредных факторов на работника при работе за ПК: каждый час необходимо делать перерыв, для выполнения гимнастики для глаз, а также выполнять несколько упражнений на расслабление, которые могут уменьшить напряжение, накапливающееся в мышцах при длительной работе за компьютером.

Основные способы защиты от статического электричества следующие: заземление оборудования, увлажнение окружающего воздуха. Также целесообразно применение полов из антистатического материала [17].

6.5 Повышенная или пониженная влажность воздуха

Влажность напрямую связана с микроклиматом, поэтому, при рассмотрении данного раздела, воспользуемся СанПиН 2.2.2.548-96 для определения оптимальных значений в зависимости от периода года и интенсивности энергозатрат.

Таблица 6.7 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений ПО САНПИН 2.2.2.548-96 [15]

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

Выполняемые работы по интенсивности энергозатрат попадают в категорию Ia, так как выполняются сидя и без значительных физических напряжений.

Таким образом, оптимальными нужно считать параметры микроклимата, соответствующие категории Ia в таблице 6.6.

Для поддержания оптимальных параметров микроклимата необходимо применять системы отопления, вентиляции и кондиционирования, увлажнители воздуха. Кроме упомянутых средств защиты, согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, в рабочих помещениях с ПЭВМ необходимо ежедневно проводить влажную уборку и каждый час проветривать помещение.

6.6 Электрический ток (источник: ПК)

Токи статического электричества, наведённые в процессе работы компьютера на корпусах монитора, системного блока, клавиатуры, а также при работе за паяльной станцией, могут приводить к разрядам при прикосновении к этим элементам. Такие разряды опасности для человека не представляют, но могут привести к выходу из строя вышеописанного оборудования [18].

На рабочем месте пользователя размещены дисплей, клавиатура и системный блок. Использование паяльной станции со всеми необходимыми принадлежностями предполагается отдельно, когда на рабочем месте могут присутствовать все элементы ПК, но они находятся на расстоянии не менее вытянутой руки сидящего работника.

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 [18].

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.

6.7 Экологическая безопасность

Эксплуатация люминесцентных ламп требует осторожности и чёткого выполнения инструкции по обращению с данным отходом (код отхода 35330100 13 01 1, класс опасности – 1[22]). Опасное вещество ртуть содержится в лампе в газообразном состоянии. Вдыхание паров ртути может привести к тяжелому повреждению здоровья.

При перегорании ртутьсодержащей лампы (выходе из строя) её замену осуществляет лицо, ответственное за сбор и хранение ламп (обученное по электробезопасности и правилам обращения с отходом). Отработанные люминесцентные лампы сдаются только на полигон токсичных отходов для меркуризации и захоронения. Запрещается сваливать отработанные люминесцентные лампы с мусором [23].

6.8 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Пожарная безопасность

Компьютерный класс по пожарной безопасности относится к категории В, в нём находятся горючие материалы и вещества в холодном состоянии [20]. По степени огнестойкости данное помещение относится к 3-й степени огнестойкости [19]. Возможные причины пожара: перегрузка в электросети, короткое замыкание, разрушение изоляции проводников.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения:

- огнетушащие вещества (вода, песок, земля);
- огнетушащие материалы (грубошёрстные куски материи – кошмы, асбестовые полотна, металлические сетки с малыми ячейками ит. п.);
- немеханизированный ручной пожарный инструмент (багры, крюки, ломы, лопаты и т.п.);
- пожарный инвентарь (бочки и чаны с водой, пожарные ведра, ящики и песочницы с песком);
- пожарные краны на внутреннем водопроводе противопожарного водоснабжения в сборе с пожарным стволом и пожарным рукавом;
- огнетушители [19].

Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно: наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации (рисунок 2), порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.

Углекислотные огнетушители ОУ-3, ОУ-5 предназначены для тушения загораний веществ, горение которых не может происходить без доступа воздуха, загораний электроустановок, находящихся под напряжением не более 1000 В, жидких и газообразных веществ (класс В, С).

Огнетушители не предназначены для тушения загорания веществ, горение которых может происходить без доступа воздуха (алюминий, магний и их сплавы, натрий, калий), такими огнетушителями нельзя тушить дерево.

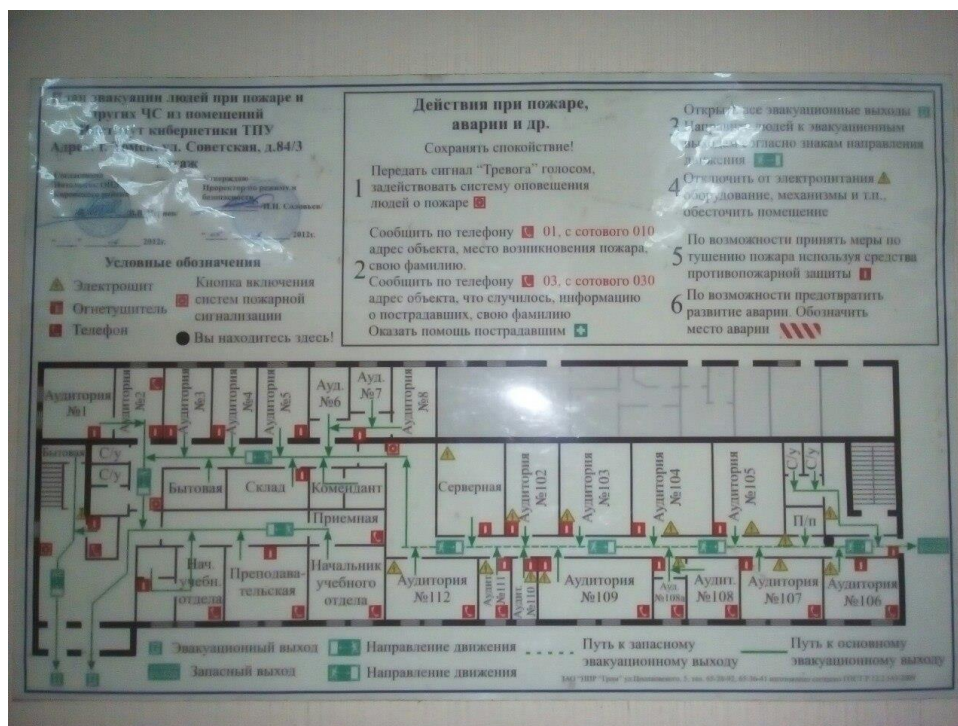


Рисунок 6.2 – План эвакуации людей при пожаре и других ЧС (первый этаж)

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей [19].

6.9 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.9.1 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

Предъявляемые требования к расположению и компоновке рабочего места: «Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах (680÷800) мм, при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм» [21].

Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм [21].

Конструкция рабочего 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 углам наклона вперед до 15 град, и назад до 5 град.;
- высоту опорной поверхности спинки (300±20) мм, ширину – не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости –400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах ±30 градусов;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах (260÷400) мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250мм и шириной –(50÷70) мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах(230±30) мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах (350÷500) мм [21].

Рабочее место пользователя ПК следует оборудовать 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 [21].

6.9.2 Особенности законодательного регулирования проектных решений

Согласно СанПиН 2.2.2.548-96 [15] при восьмичасовой рабочей смене на ВДТ и ПЭВМ перерывы в работе должны составлять от 10 до 20 минут каждые два часа работы [15]. В перерывах, согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [21], рекомендуется проводить комплекс упражнений для глаз.

Заключение

В процессе выполнения работы был разработан и реализован в математическом пакете MATLAB алгоритм определения временного положения сложных сигналов на основе вейвлет-преобразований. Исследования алгоритма проводилось на моделях волнового сейсмического поля, так как сейсмические сигналы относятся к классу сложных сигналов, а задача определения временного положения сейсмических сигналов является необходимым звеном во всех алгоритмах обработки. Следует отметить, что необходимость разработки новых алгоритмов определяется требованием повышения точности определения временного положения сейсмических сигналов в сложных сейсмогеологических условиях.

Большое внимание в работе уделялось изучению особенностей реализации дискретного преобразования Фурье и спектрально-временного вейвлет-преобразования сложных сигналов, а также вопросам построения статистической модели волнового сейсмического поля. Кроме того, в работе достаточно подробно рассмотрен метод определения временного положения сигналов на основе анализа их ФЧХ и ФГЗ, что сделано для сопоставления результатов вейвлет-преобразований и фазочастотных алгоритмов.

По результатам работы можно сделать выводы:

- на основе спектральных и спектрально-временных представлениях сложных сигналов могут быть реализованы достаточно эффективные методы определения их временного положения;
- в этом плане для оценки временного положения сейсмических сигналов наряду с уже широко используемым ДПФ предлагается применять вейвлет-преобразование, алгоритм которых разработан в данной работе;
- проведенные исследования разработанного алгоритма на построенной модели волнового поля показал, что применение вейвлет-преобразования оказывается весьма полезным, так как обеспечивает высокую точность получения оценок временного положения сейсмических сигналов;

– результаты сравнения разработанного алгоритма с фазочастотными алгоритмами показали, что их эффективность сопоставима в задачах определения временного положения. При этом, в отличие от фазочастотных алгоритмов, предложенный алгоритм дополнительно позволяет восстанавливать форму сигнала при наличии интенсивных помех.

Список публикаций

1 Злобина Е.В., Ильясова И.Э. Разработка и исследование методов сжатия сложных сигналов на основе оптимальной и субоптимальной обработки фазочастотных характеристик // III Международная научная конференция «Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине».

2 Ильясова И.Э., Мамонов Д.В., Усольцев Д.В., Фирсов М.М. Светодиодная гитара-самоучитель // V Всероссийская конференция студентов элитного технического образования «Ресурсоэффективным технологиям – энергию и энтузиазм молодых».

3 Ильясова И.Э., Стучков А.В., Горохова Е.С., Солопченко С.А., Волшин М.Е. Универсальное ведро // IV Всероссийская конференция студентов элитного технического образования «Ресурсоэффективным технологиям – энергию и энтузиазм молодых».

Список использованной литературы

- 1 Гурвич И.И., Боганик Г.Н. Сейсморазведка. Учебник для вузов. – Тверь: Изд-во АИС, 2006. -744 с.
- 2 Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. – М.: Сов. Радио, 1966.-667с.
- 3 Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Сов. Радио, 1974. – кн.1. – 552с.
- 4 Гринь Н.Е. Исследования структуры и свойств среды по динамике сейсмических волн. – Киев: Наукова думка, 1979.-216 с.
- 5 Пестряков В.Б. Фазовые радиотехнические системы. - М.: Сов. Радио, 1968-468 с.
- 6 Худяков Г.И. О потенциальной точности определения временного положения флюктуирующих сигналов.- Вопросы радиоэлектроники. Общие вопросы радиоэлектроники, 1984, вып.8, с. 55-60.
- 7 Иванченков В.П., Кочегуров А.И. Определение временного положения сейсмических сигналов по оценкам их фазочастотных характеристик. Геология и геофизика, 1988, № 9, стр.77-83.
- 8 Кочегуров А.И. Анализ алгоритмов измерения временного положения сложных сигналов по оценкам их фазочастотных характеристик // Проблемы информатики. 2011. №. 2(10). С. 44-50.
- 9 Иванченков В.П., Кочегуров А.И., Купина Н.А., Орлов О.В. Методы фазочастотного прослеживания отраженных волн и их применения в задачах обработки сейсмической информации // Технология сейсморазведки, 2013. – №3. – С. 5 – 10.
- 10 Яковлев А.Н. Введение в вейвлет-преобразования. – Новосибирск: НГТУ, 2003.
- 11 Meyer (Y.), Ondelettes et Opérateurs, Hermann, 1990.
- 12 Солонина А.И., Арбузов С.М. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в MATLAB. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008.

- 13 ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- 14 ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
- 15 СанПиН 2.2.2.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 16 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
- 17 ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
- 18 ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- 19 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
- 20 ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.
- 21 СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
- 22 Об утверждении правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде: Постановление Правительства Российской Федерации от 3 сентября 2010 года № 681.
- 23 Федеральный классификационный каталог отходов [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: <http://www.ecoguild.ru/faq/fedwastecatalog.htm>, свободный. – Загл. с экрана.

Приложение А (обязательное)

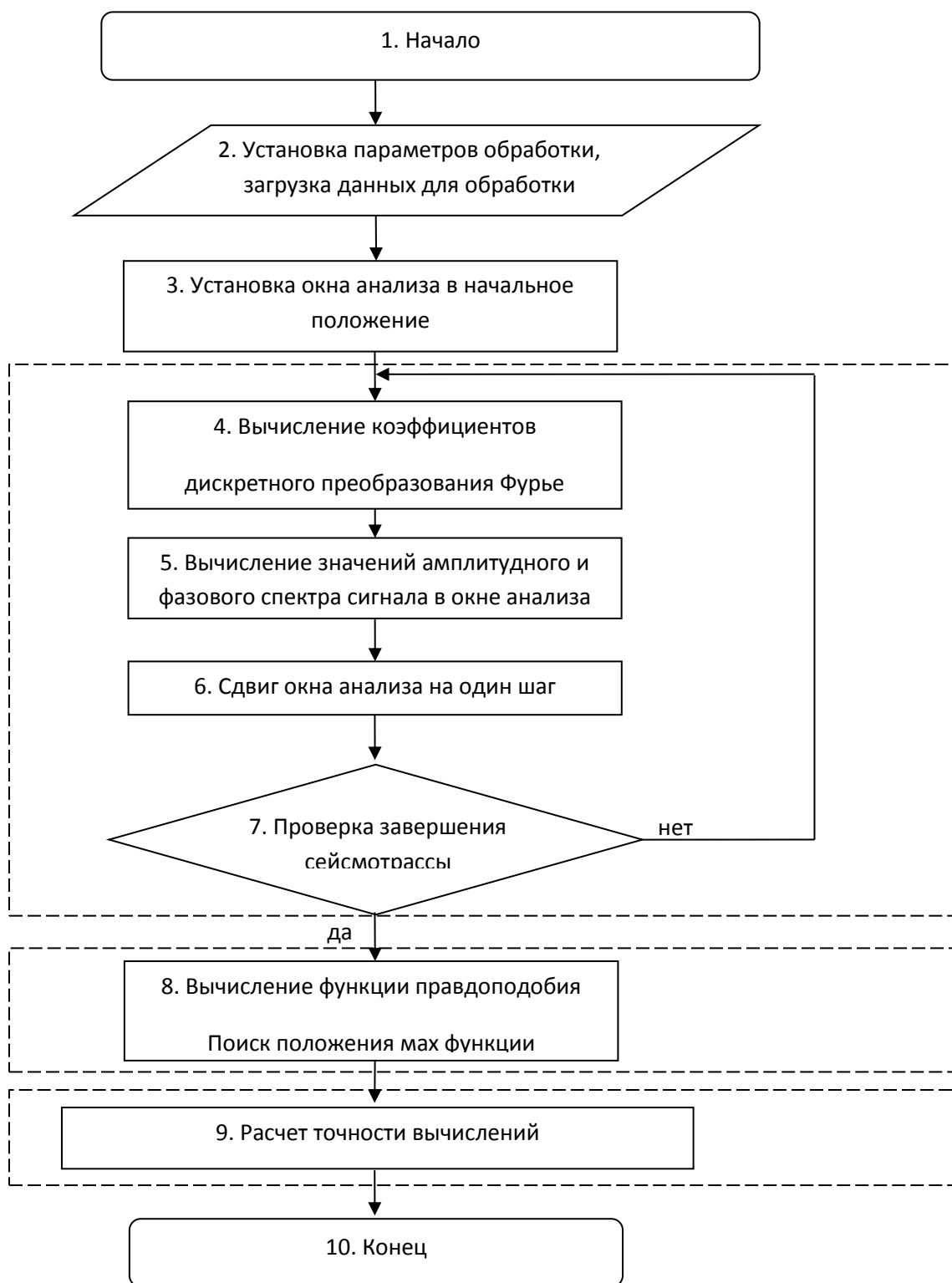


Рисунок А.1 – Алгоритм определения временного положения сейсмических сигналов

Приложение Б (обязательное)

Листинг 1. Файл-функция «Impulse.m»

```
function s = impulse(t, a0, f, beta, phi, sdvig)
w = 2*pi*f;
delta = ones(1,length(t))*(sdvig);
s = exp(-beta^2*(t-delta).^2).*cos(w*(t-delta) + phi);
end
```

Листинг 2. Файл-функция «NormalNoise.m»

```
function NormalNoise = NormalNoise(mu, sigma, m, n)
NormalNoise = normrnd(mu,sigma,m,n);
end
```

Листинг 3. Файл-функция «AmplitudePhaseDPhaseFourier.m»

```
function [omega, AB, phi, dphi] = AmplitudePhaseDPhaseFourier(t, q, n0, omega0,
delf0)
delomega0 = 2*pi*delf0;
p = 0; u = 0; g = 0; h = 0;
for k=1:40
    omega(k) = omega0 + delomega0*k;
    % амплитудный спектр
    for i = 1:n0
        p = p + q(i)*cos(omega(k)*t(i));
        u = u + q(i)*sin(omega(k)*t(i))
    end
    A(k) = p; % реальная часть
    B(k) = u; % мнимая часть

    % фазовый спектр
    if A(k)>0
        phi(k) = atan(B(k)./A(k));
    end
    if A(k)<0
        if B(k)>=0
            phi(k) = pi + atan(B(k)./A(k));
        else
            phi(k) = -pi + atan(B(k)./A(k));
        end
    end
    if A(k)==0
        if B(k)>0
            phi(k) = pi/2;
        else
            phi(k) = -pi/2;
        end
    end
end

% групповое время запаздывания/задержки - производная фазы по угловой
частоте
for i=1:n0
    g = g - q(i)*t(i)*sin(omega(k)*t(i));
    h = h + q(i)*t(i)*cos(omega(k)*t(i));
end
```

```

        DA(k) = g; DB(k) = h;
end

AB = sqrt(A.^2 + B.^2); % амплитудный спектр
dphi = (DB.*A - DA.*B)./(A.^2 + B.^2); % групповое время запаздывания
end

```

Листинг 3. Файл-сценарий «Main.m»

```

clc
clear all

% время, с
delt = 0.0002; t0 = -0.05; tn = 0.05;
t = t0:delt:tn;

% -----

% генерация псевдослучайного шума, распределённого по нормальному закону
n = length(t);
mu = 0; % математическое ожидание
sigma = 0.1; % среднеквадратичное отклонение
m = 1;
N = NormalNoise(mu, sigma, m, n);

% -----

% генерация сигнала падающей волны
a0 = 1; f = 40; beta = 60; phi = 0;
sdvig1 = -0.03; sdvig2 = 0; sdvig3 = 0.03;
% импульсы с колокольной огибающей
s1 = impulse(t, a0, f, beta, phi, sdvig1);
s2 = impulse(t, a0, f, beta, phi, sdvig2);
s3 = impulse(t, a0, f, beta, phi, sdvig3);
q = s1 + s2 + s3; % сумма "чистых" сигналов
qN = s1 + s2 + s3 + N; % сумма зашумлённых сигналов

% -----

% дискретное преобразование Фурье
n0 = n/3; f0 = 20; omega0 = f0*2*pi; delf0 = 1;
[omega, AB, phi, dphi] = AmplitudePhaseDPhaseFourier(t, s2, n0, omega0, delf0);
% АЧХ, ФЧХ, ФГЭ

% -----

% вейвлет-преобразование
% эксперимент с шумом для сигнала с одной огибающей
% проверка прямого и обратного вейвлет-преобразования на "чистом" сигнале
[C, L] = wavedec(s2, 5, 'dmey'); % прямое преобразование
s = waverec(C, L, 'dmey') % обратное преобразование
maxs2 = max(s2);
maxs = max(s);
for j = 1:n % поиск значения времени, которое соответствует максимуму функции
    ds = s(j);
    ds2 = s2(j);
    if ds == maxs
        ls = j; % индекс максимума
    end
    if ds2 == maxs2

```

```

        ls2 = j;
    end

end

ts = t(ls); % момент времени, соответствующий максимуму функции восстановленного
сигнала
ts2 = t(ls2); % момент времени, соответствующий максимуму функции исходного
сигнала

e = 50; % количество экспериментов для каждого значения дисперсии шума
sigma1 = 2; sigma2 = 1; sigma3 = 0.5; sigma4 = 0.2; sigma5 = 0.1;
for i = 1:e
    NN1(i, :) = NormalNoise(mu, sigma1, m, n); % псевдослучайный нормальный
шум
    NN2(i, :) = NormalNoise(mu, sigma2, m, n);
    NN3(i, :) = NormalNoise(mu, sigma3, m, n);
    NN4(i, :) = NormalNoise(mu, sigma4, m, n);
    NN5(i, :) = NormalNoise(mu, sigma5, m, n);
    q1(i, :) = s2 + NN1(i, :); % зашумлённый сигнал
    q2(i, :) = s2 + NN2(i, :);
    q3(i, :) = s2 + NN3(i, :);
    q4(i, :) = s2 + NN4(i, :);
    q5(i, :) = s2 + NN5(i, :);
    [SD1(i, :), CSD1, LSD1] = wden(q1(i, :), 'sqrtwolog', 's', 'mln', 50, 'dmey');
% функция шумоподавления сигналов
    [SD2(i, :), CSD2, LSD2] = wden(q2(i, :), 'sqrtwolog', 's', 'mln', 80, 'dmey');
    [SD3(i, :), CSD3, LSD3] = wden(q3(i, :), 'sqrtwolog', 'h', 'one', 5, 'dmey');
    [SD4(i, :), CSD4, LSD4] = wden(q4(i, :), 'sqrtwolog', 'h', 'one', 5, 'dmey');
    [SD5(i, :), CSD5, LSD5] = wden(q5(i, :), 'sqrtwolog', 'h', 'one', 5, 'dmey');
% SD - отфильтрованная версия исходных данных
% CSD - коэффициенты разложения, прошедшие процедуру трешолдинга
% LSD - структура коэффициентов
    max1(i) = max(SD1(i, :)); % поиск максимума функции
    max2(i) = max(SD2(i, :));
    max3(i) = max(SD3(i, :));
    max4(i) = max(SD4(i, :));
    max5(i) = max(SD5(i, :));
    for j = 1:n % поиск временного положения максимума
        d1(i, j) = SD1(i, j);
        d2(i, j) = SD2(i, j);
        d3(i, j) = SD3(i, j);
        d4(i, j) = SD4(i, j);
        d5(i, j) = SD5(i, j);
        if d1(i, j) == max1(i)
            l1 = j; % индекс максимума
        end
        if d2(i, j) == max2(i)
            l2 = j;
        end
        if d3(i, j) == max3(i)
            l3 = j;
        end
        if d4(i, j) == max4(i)
            l4 = j;
        end
        if d5(i, j) == max5(i)
            l5 = j;
        end
    end
    tt1(i) = t(l1); % момент времени, соответствующий максимуму функции
восстановленного сигнала
    tt2(i) = t(l2);
    tt3(i) = t(l3);
end

```

```

tt4(i) = t(14);
tt5(i) = t(15);
M1 = mean(tt1); % мат. ожидание
M2 = mean(tt2);
M3 = mean(tt3);
M4 = mean(tt4);
M5 = mean(tt5);
D1 = cov(tt1); % дисперсия
D2 = cov(tt2);
D3 = cov(tt3);
D4 = cov(tt4);
D5 = cov(tt5);

end
gamma1 = (a0/sigma1)^2; % отношение сигнал/шум
gamma2 = (a0/sigma2)^2;
gamma3 = (a0/sigma3)^2;
gamma4 = (a0/sigma4)^2;
gamma5 = (a0/sigma5)^2;

figure
plot([gamma1 gamma2 gamma3 gamma4 gamma5], [M1 M2 M3 M4 M5], ':*r')
grid on
xlabel('Отношение сигнал/шум')
ylabel('Мат. ожидание времени, с')

figure
plot([gamma1 gamma2 gamma3 gamma4 gamma5], [D1 D2 D3 D4 D5], ':*r')
grid on
xlabel('Отношение сигнал/шум')
ylabel('Дисперсия времени, с^2')

figure
subplot(211); plot(t, s2); grid; title('Сигнал без шума');
xlabel('Время, с'); ylabel('Значение сигнала');
axis([-0.05 0.05 -1 1.5])
subplot(212); plot(t, s); grid; title('Восстановленный сигнал');
xlabel('Время, с'); ylabel('Значение сигнала');
axis([-0.05 0.05 -1 1.5])

figure
subplot(311); plot(t, s2, '-r'); grid; title('Сигнал без шума');
xlabel('Время, с'); ylabel('Значение сигнала'); axis([-0.05 0.05 -1 1.5])
subplot(312); plot(t, q1, '-r'); grid; title('СКО шума = 2');
xlabel('Время, с'); ylabel('Значение сигнала'); axis([-0.05 0.05 -10 10])
subplot(313); plot(t, q2, '-r'); grid; title('СКО шума = 1');
xlabel('Время, с'); ylabel('Значение сигнала'); axis([-0.05 0.05 -5 5])
figure
subplot(311); plot(t, q3, '-r'); grid; title('СКО шума = 0,5');
xlabel('Время, с'); ylabel('Значение сигнала'); axis([-0.05 0.05 -4 4])
subplot(312); plot(t, q4, '-r'); grid; title('СКО шума = 0,2');
xlabel('Время, с'); ylabel('Значение сигнала'); axis([-0.05 0.05 -2 2])
subplot(313); plot(t, q5, '-r'); grid; title('СКО шума = 0,1');
xlabel('Время, с'); ylabel('Значение сигнала'); axis([-0.05 0.05 -1 1.5])

figure
subplot(311); plot(t, s2, '-r'); grid; title('Сигнал без шума');
xlabel('Время, с'); ylabel('Значение сигнала'); axis([-0.05 0.05 -1 1.5])
subplot(312); plot(t, SD1(1, :), '-r'); grid; title('Восстановленный сигнал (СКО шума = 2)');
xlabel('Время, с'); ylabel('Значение сигнала'); axis([-0.05 0.05 -1 1])
subplot(313); plot(t, SD2(1, :), '-r'); grid; title('Восстановленный сигнал (СКО шума = 1)');

```

```

xlabel('Время, с'); ylabel('Значение сигнала'); axis([-0.05 0.05 -1 1])
figure
subplot(311); plot(t, SD3(1, :), '-r'); grid; title('Восстановленный сигнал (СКО шума = 0,5)')
xlabel('Время, с'); ylabel('Значение сигнала'); axis([-0.05 0.05 -1 1.5])
subplot(312); plot(t, SD4(1, :), '-r'); grid; title('Восстановленный сигнал (СКО шума = 0,2)')
xlabel('Время, с'); ylabel('Значение сигнала'); axis([-0.05 0.05 -1 1.5])
subplot(313); plot(t, SD5(1, :), '-r'); grid; title('Восстановленный сигнал (СКО шума = 0,1)')
xlabel('Время, с'); ylabel('Значение сигнала'); axis([-0.05 0.05 -1 1.5])

figure
plot(omega, phi, '*r')
grid on
xlabel('Угловая частота, рад/с')
ylabel('Фаза, рад')
title('Фазочастотная характеристика')

figure
plot(omega, dphi, '*r')
grid on
xlabel('Угловая частота, рад/с')
ylabel('Время, с')
title('Функция группового запаздывания')

figure
plot(omega, AB, '*-r')
grid on
xlabel('Угловая частота, рад/с');
ylabel('Амплитуда');
title('Амплитудно-частотная характеристика');

```