

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

Институт Кибернетики
Направление подготовки Прикладная математика и информатика
Кафедра Прикладной математики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Оценка свойств геологической среды методом комплексирования данных наземной и скважинной сейсморазведки

УДК 550.8.053:519.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ41	Шестаков Валерий Владимирович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Прикладной математики	Гергет Ольга Михайловна	к.т.н.		

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

Институт кибернетики
Направление подготовки Прикладная математика и информатика
Кафедра Прикладной математики

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
8БМ41	Шестакову Валерию Владимировичу

Тема работы:

Оценка свойств геологической среды методом комплексирования данных наземной и скважинной сейсморазведки

Утверждена приказом директора Института кибернетики (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы: (дата)

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Реальные данные 3D МОГТ и ГИС, полученные на месторождении Томской области.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор литературных источников по заданной тематике. Анализ существующих методов решения задачи. Определение общих подходов к задаче оценки свойств геологической среды. Разработка и анализ алгоритма оценки свойств геологической среды методом комплексирования данных наземной и скважинной сейсморазведки.
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич

Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Английский язык	Сидоренко Татьяна Валерьевна
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	Степанов Дмитрий Юрьевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ41	Шестаков Валерий Владимирович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 82 страницы, 24 рисунка, 13 таблиц, 19 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: сейсмическая разведка, сейсмическая трасса, геофизические исследования скважин, геостатистика, корреляция.

Объектом исследования является геологическая среда.

Цель работы – построение трехмерной модели параметров геологической среды методом комплексирования данных наземной и скважинной сейсморазведки.

В ходе работы был проведен анализ существующих методов решения поставленной задачи, выявлены их преимущества и недостатки. Результатом работы является новый метод, представляющий собой модификацию метода Крайгинга и позволяющий формировать трехмерные неоднородные модели параметров геологической среды.

В будущем планируется: исследование помехоустойчивости и эффективности, дальнейшее совершенствование метода

Метод опробован и внедрен в технологический процесс в ООО Научно-аналитический центр «Недра».

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

1. **Сейсмическая разведка** – комплекс методов исследований геологического строения земной коры, основанных на изучении в ней особенностей распространения искусственно возбуждаемых упругих волн.
2. **Сейсмическая трасса** – совокупность сейсмических сигналов, зарегистрированных в пункте приема в течение заданного времени после возбуждения упругой волны.
3. **Геофизические исследования скважин (ГИС)** – комплекс методов исследования горных пород в околоскважинном и межскважинном пространстве.
4. **Геостатистика** – комплекс статистических методов, предназначенный для оценки и прогнозирования пространственно-распределенной информации.
5. **Корреляция** – статистическая, линейная взаимосвязь двух или более случайных величин.

Оглавление

Введение.....	8
1. Задачи и методы сейсморазведки.....	10
1.1. Понятие сейсморазведки и её задачи	10
1.2. Методы наземной сейсморазведки	12
1.3. Методы геофизического исследования скважин	14
1.3.1. Электрические методы	14
1.3.2. Радиоактивные методы.....	15
1.3.3. Акустические методы	16
Выводы по разделу 1	16
2. Построение трехмерных моделей параметров геологических сред.....	17
2.1. Математическая постановка задачи	17
2.2. Существующие методы решения.....	18
2.2.1. Методы регрессионного анализа	19
2.2.2. Методы геостатистики.....	20
2.2.3. Метод главных компонент	21
2.2.4. Нейронный анализ.....	22
2.2.5. Кластерный анализ.....	24
2.2.6. Недостатки рассмотренных методов.....	24
Выводы по разделу 2	25
3. Программная реализация алгоритма.....	26
3.1. Алгоритм решения задачи	26
3.2. Описание программной реализации	28
Выводы по разделу 3	29
4. исследование алгоритма.....	30
4.1. Исследование на модельных данных	30
4.2. Исследование на реальных данных	33
Выводы по разделу 4	36
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	37
5.1. Организация и планирование работ	37
5.1.1. Определение основных этапов работы	37
5.1.2. Расчёт продолжительности этапов работы.....	38
5.1.3. Расчет накопления технической готовности работы.....	40

5.1.4.	Построение линейного графика работ	41
5.2.	Расчет сметы затрат на выполнение проекта.....	43
5.2.1.	Зарботная плата	43
5.2.2.	Расчет затрат на социальный налог.....	43
5.2.3.	Расчет затрат на электрическую энергию.....	44
5.2.4.	Расчет амортизационных расходов	44
5.2.5.	Расчет прочих расходов.....	45
5.2.6.	Расчет общей себестоимости разработки	45
5.2.7.	Расчет прибыли	45
5.2.8.	Расчет НДС	45
5.2.9.	Цена разработки магистерской диссертации	45
5.3.	Оценка экономической эффективности магистерской диссертации	46
5.3.1.	Расчет срока окупаемости инвестиций	46
5.3.2.	Оценка научно-технического уровня работы.....	47
6.	Социальная ответственность	48
6.1.	Производственная безопасность.....	48
6.1.1.	Анализ выявленных вредных факторов.....	49
6.1.2.	Анализ выявленных опасных факторов.....	52
6.2.	Экологическая безопасность	53
6.3.	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	54
6.4.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	55
	Заключение	57
	Список публткаций	58
	Список используемых источников.....	59
	Приложение А	61
	Приложение Б.....	75
	Приложение В.....	76

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день математическое моделирование широко применяется во всех сферах деятельности. Связано это с тем, что испытания на реально существующих физических объектах весьма дорогостоящи, а современные компьютерные технологии с высокой точностью позволяют воссоздать эксперимент в цифровом виде. Вдобавок, вычислительные мощности компьютеров неперестанно наращиваются и тем самым увеличивается потенциал их возможностей [1].

В геофизике математическое моделирование применяется для описания строения месторождений полезных ископаемых. На основе данных наземной сейсморазведки (2D и 3D МОГТ), строится дискретная модель [2]. Ее дальнейшая интерпретация служит обоснованием для выбора места бурения скважин, наличие которых делает возможным более детальное изучение строения геологической среды с помощью методов «геофизического исследования скважин» (ГИС).

ГИС, в отличие от МОГТ, позволяют измерять фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) геологической среды, определяющие местоположение нефтенасыщенных коллекторов на месторождении и играющие ключевую роль в выборе зон для дальнейшего бурения [3]. Информативность данных ГИС делает востребованными их двухмерные и трехмерные модели, задачу построения которых решают с помощью различных методов: геостатистики, нейронных сетей, регрессионного анализа и т.д. Однако все эти методы имеют существенные ограничения и не могут быть использованы для прогнозирования больших участков.

Объектом исследования данной работы является геологическая среда, а предмет её исследования – трехмерная модель данных параметров геологической среды. Предлагаемый метод её построения представляет собой модификацию Крайгинга – интерполяционного геостатистического метода, суть которого заключается в минимизации дисперсии ошибки измерения [4].

Научную новизну работы и ее практическую ценность определяют:

1. Востребованность объемных моделей параметров ГИС и невозможность их построения с помощью существующих пакетов обработки геологических данных.
2. Аналоги предлагаемой методики имеют ряд существенных ограничений и недостатков, что делает их малоэффективными на практике.
3. В отличие от классических методов геостатистики, предлагаемый метод не требует введения предположения об однородности и стационарности прогнозируемого поля.

Результаты данной ВКР докладывались на следующих конференциях:

1. Конкурс студенческих инновационных проектов, проходивший в рамках дня института кибернетики 12 – 14 сентября 2014 г.
2. XVI Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, г. Красноярск, 28 – 30 октября 2015 г.
3. 54-я Международная научно студенческая конференция МНСК – 2016, г. Новосибирск, 16 – 20 апреля 2016 г.
4. III Международная конференция «информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине», г. Томск, 23-26 мая 2016 г.
Результаты работы опубликованы в виде тезисов докладов, а также:
 1. Статья «Построение трехмерных моделей параметров геологических сред», сборник работ III Международной конференции «информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине» с индексацией РИНЦ (в печати).
 2. Статья «Three-dimensional models of geoenvironmental parameters» журнал издательства Atlantic Press с индексацией Web of Science (в печати).

1. ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

1.1. Понятие сейсморазведки и её задачи

Сейсмическая разведка – это комплекс методов исследований геологического строения земной коры, основанных на изучении в ней особенностей распространения искусственно возбуждаемых упругих волн [5].

На сегодняшний день сейсморазведка является практически единственным и вдобавок наиболее эффективным средством исследования строения и физического состава геологической среды. Прямой задачей сейсморазведки является определение волнового поля геологической среды. Комплекс сейсморазведочных работ включает в себя несколько этапов, первый из которых - возбуждение упругих волн в земной коре, с помощью взрыва или любого другого способа. Распространяясь в упругой среде, волны подвергаются процессам отражения и преломления на границах литологических пластов, при этом, отраженные волны, достигшие поверхности земли фиксируются специальными датчиками, формируя сейсмическую запись. Полученные записи, с помощью современной вычислительной техники, проходят тщательную обработку на сейсмостанциях и в дальнейшем, отправляется специалистам-геофизикам для решения обратной задачи [5].

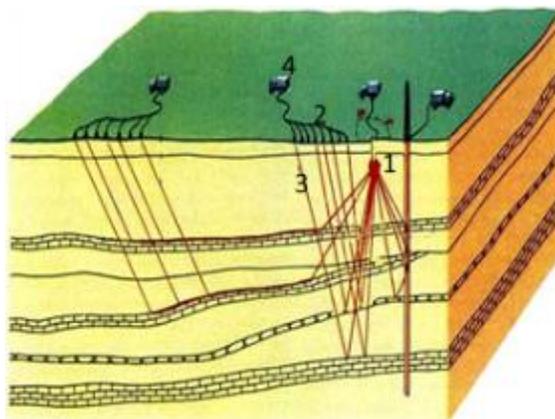


Рисунок 1. Схема проведения наземных сейсморазведочных работ: 1 - место взрыва; 2 - сейсмоприёмники; 3 - отраженная волна; 4 - сейсмостанция.

Обратной задачей сейсморазведки считается задача определения параметров геологической среды по результатам сейсморазведочных работ [6].

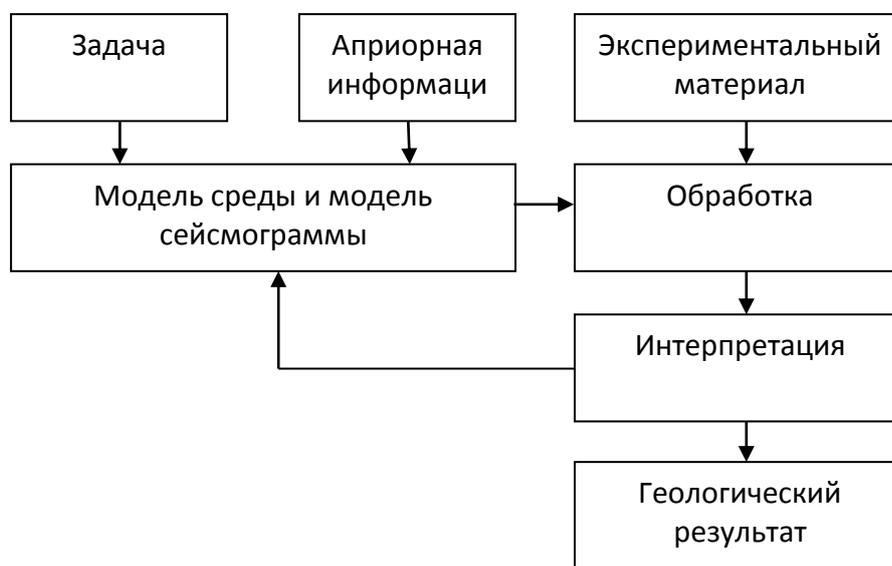


Рисунок 2. Общая схема решения обратных задач

Точное решение обратной задачи на практике невозможно в виду ряда причин [7]:

- 1) наличие помех в волновом поле;
- 2) конечность исследуемой среды;
- 3) дискретность систем наблюдения;
- 4) отсутствие математической модели, в полной мере отражающей особенности распространения упругих волн в геологической среде;
- 5) естественный предел детальности волнового поля.

Не смотря на это, сейсмические записи волнового поля несут в себе достаточно информации для построения адекватной, в рамках задач поиска залежей полезных ископаемых и выбора мест бурения скважин, модели геологической среды.

1.2. Методы наземной сейсморазведки

Современную сейсморазведку можно подразделить на ряд направлений или модификаций, которые часто называют методами. Данные методы классифицируют по ряду критериев, одним из которых является мерность наблюдений изучаемой среды[2]:

- одномерная сейсморазведка 1D – наблюдения вдоль ствола скважины с получением одномерного распределения скоростей и других параметров среды;
- двумерная сейсморазведка 2D – наблюдения при расположении источников и приемников на линейном профиле с получением двумерного разреза среды;
- трехмерная сейсморазведка 3D – наблюдения на поверхности или заданном объеме трехмерного пространства с получением объемного изображения среды и трехмерного распределения параметров среды;
- четырехмерная сейсморазведка 4D – периодические во времени наблюдения на поверхности или в заданном объеме трехмерного пространства с получением данных об изменении объемного строения среды во времени.

Еще одним критерием классификации методов сейсморазведки является тип изучаемых волн[2]:

- метод отраженных волн или его модификация - метод общей глубинной точки (МОВ или МОГТ) – основан на выделении волн, однократно отраженных от границы раздела двух геологических пластов;
- метод преломленных волн (МПВ) – изучает преломленные волны, которые образуются при падении волны на границу двух пластов под определенным углом;
- вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП) – изучает прямые и отраженные волны, регистрируемые при расположении приемников в скважинах, а источников - на поверхности.

Наиболее распространённым на практике является метод ОГТ, который применяется примерно в 98% сейсморазведочных работ из-за его высокой горизонтальной и вертикальной разрешающей способности. При проведении МОГТ сейсмоприёмники фиксируются на заданных точках, а источники сейсмических волн перемещаются с определенным шагом. При очень детальных работах пункты взрыва совпадают с пунктами приема. Для каждого положения источника и фиксированного положения приемника регистрируется одна сейсмограмма ОПВ (общий пункт возбуждения) [8].

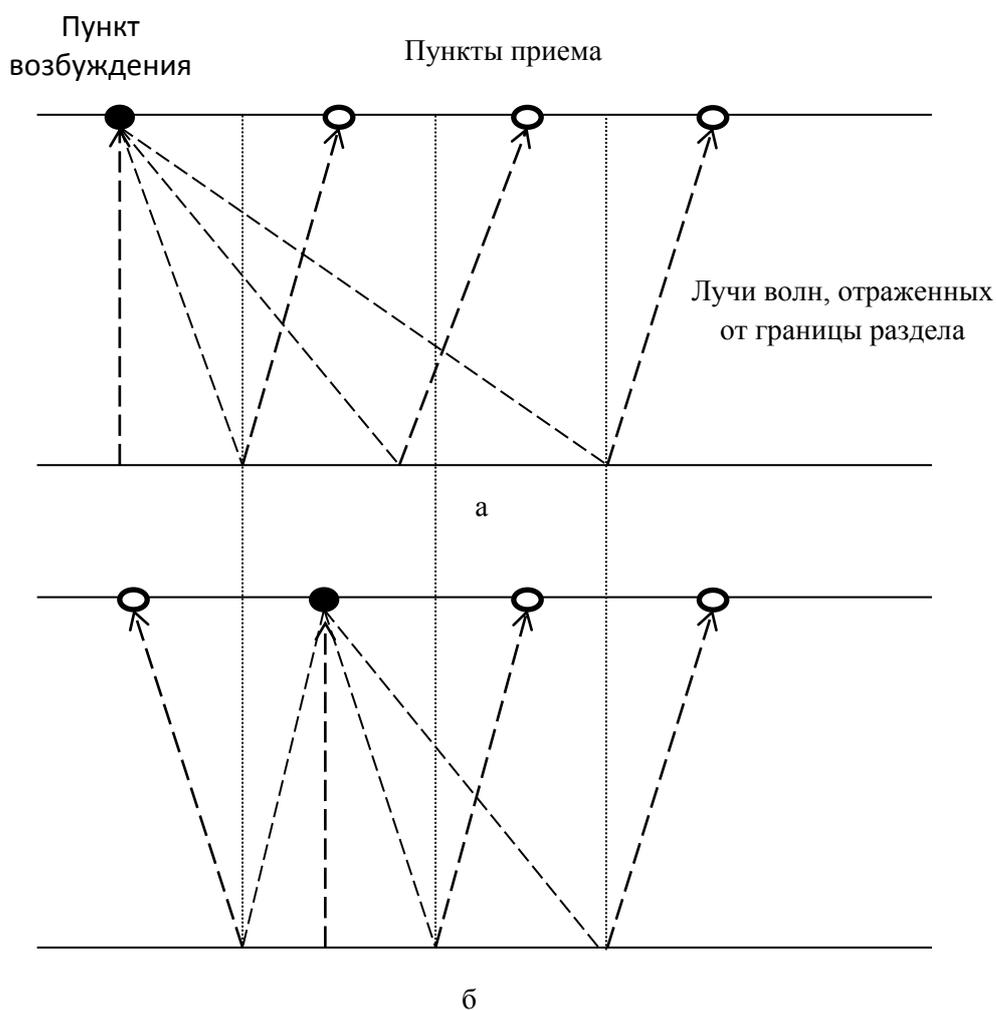


Рисунок 3. Формирование сейсмограмм ОГТ

Количество уникальных пар приемник-источник с независимыми лучами отраженных волн для данной общей глубинной точки определяет ее кратность. Принято считать, что количество общих глубинных точек при проведении МОГТ равно $(2N - 1)$, где N – количество приемников.,

1.3. Методы геофизического исследования скважин

В нефтегазовой отрасли бурение скважин осуществляют не только для разработки месторождения полезных ископаемых, но и для его исследования с помощью методов геофизического исследования скважин (ГИС). Они позволяют определить последовательность и глубину залегания пластов горных пород, их петрофизические и коллекторские свойства, степень их насыщения флюидами. Также ГИС позволяют определить количественные параметры, необходимые для подсчета запасов нефти и газа [3]:

- коэффициент проницаемости $K_{пр}$ продуктивных пластов;
- коэффициент пористости K_n продуктивных пластов;
- коэффициент нефтегазонасыщения $K_{нг}$ коллекторов;
- коэффициент вытеснения нефти $K_{выт}$ и др.

В зависимости от изучаемых свойств горных пород ГИС делятся на несколько типов [3]:

- электрический;
- радиоактивный;
- акустический и др.

1.3.1. Электрические методы

Электрические методы направлены на изучение электромагнитных полей земных пород, которые по своему происхождению делятся на естественные и искусственные. Естественные поля возникают в результате различных природных явлений и химических процессов, а искусственные – в результате воздействия человека источниками постоянного или переменного тока. В соответствии с данной классификацией полей, электромагнитные методы делятся на две большие группы: первая направлена на изучение естественных полей, а вторая – на изучение искусственных.

Естественные электрические поля изучаются с помощью метода потенциалов собственной поляризации горных пород (ПС). Для проведения ПС скважину заполняют глинистым раствором или водой, что вследствие

естественных фильтрационных и окислительных процессов на границах пластов приводит к самопроизвольному возникновению электрических полей. Далее с помощью двух электродов, один из которых зафиксирован вблизи устья скважины, а второй перемещается по скважине, замеряется разность потенциалов. Отличия показаний этих электродов указывают на изменения потенциала вдоль скважины и фиксируются в виде кривой ПС.

Искусственные электрические поля изучаются с помощью методов сопротивления заземления (БК – боковой каротаж), кажущегося сопротивления (КС) и др. Они основаны на исследовании удельного электрического сопротивления земных пород с помощью зонда, который помимо записи кривых, обеспечивает перпендикулярное распределение тока на боковой поверхности скважины.

1.3.2. Радиоактивные методы

Радиоактивный каротаж предназначен для изучения полей ионизирующих излучений земной коры. Наиболее широкое распространение получили следующие виды радиоактивного каротажа: гамма-каротаж, предназначенный для изучения естественного γ -излучения горных пород; гамма-гамма-каротаж и нейтронный каротаж, основанный на эффекте взаимодействия с горной породой источников γ -излучения и нейтронов.

Гамма каротаж (ГК) применяется для измерения глинистости нефтяных коллекторов, а также для обнаружения урановых, ториевых и прочих радиоактивных руд. Его суть заключается в измерении гамма излучения, испускаемого горными породами. В качестве индикатора обычно используется счетчик Гейгера-Мюллера.

Гамма-гамма каротаж (ГГК), или плотностной каротаж, измеряет характеристики рассеянного гамма излучения, возникающего при облучении горных пород источником гамма квантов вдоль ствола скважины. ГГК широко применяются для изучения технического состояния скважин, выявления

интервалов притока в скважину флюидов различной плотности, оценки пористости горных пород и т.д.

При нейтронном каротаже (НГК) изучаются характеристики нейтронного и гамма излучений, возникающих при облучении горных пород источником нейтронов. По нейтронным свойствам горные породы делятся на две группы: большого и малого водосодержания. К первой группе относятся породы с повышенной пористостью: глины, гипсы, некоторые песчаники и карбонатные породы. Ко второй группе относятся породы с низкими показателями пористости: плотные известняки и доломиты, алевролиты и гидрохимические образования.

1.3.3. Акустические методы

Акустический каротаж (АК) основан на изучении характеристик упругих волн ультразвукового и звукового диапазона в горных породах. При проведении АК в стволе скважины возбуждаются упругие колебания, которые распространяются в земных породах и фиксируются специальными приёмниками. Информация с приёмников посылается на сейсмостанции и в дальнейшем используется для определения времени пробега волн в среде и их коэффициентов затухания.

Данные АК в комплексе с другими геофизическими методами дают возможность определить пористость пород, выделить гранулярные коллекторы и зоны трещеноватости в карбонатном разрезе, вычислить средние и пластовые скорости распространения упругих колебаний.

Выводы по разделу 1

В данном разделе рассмотрено понятие сейсморазведки, определены её задачи и дана классификация её методов, подробно рассмотрен наиболее распространенный метод общей глубинной точки. Также в данном разделе рассматриваются методы геофизических исследований скважин и измеряемые ими параметры.

2. ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

2.1. Математическая постановка задачи

Пусть в исследуемой зоне пробурено N скважин в точках $p_i(x_i, y_i)$, образующих нерегулярную сеть.

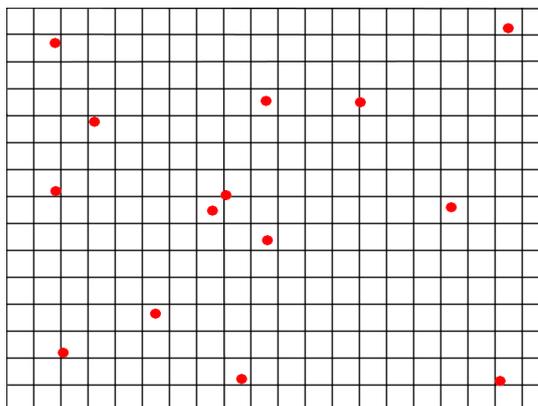


Рисунок 4. Схема расположения скважин на исследуемой области

В каждой скважине проведены измерения прогнозного параметра, представленные в виде кривых ГИС $f_i(t)$, $i = 1, \dots, N$. Будем считать, что полученные кривые ГИС есть выборка поля прогнозируемого параметра $f_i(t) = F(x_i, y_i, t)$.

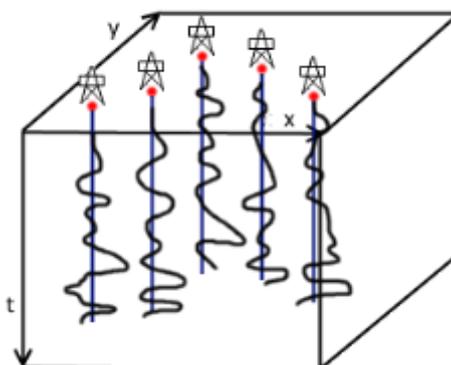


Рисунок 5. Пример данных ГИС

В исследуемой зоне проведены наземные сейсморазведочные работы, в результате которых для множества точек заданы трассы сейсмического атрибута $S(x, y, t)$ (амплитуда, энергия, соотношение энергий частот и т.п.).

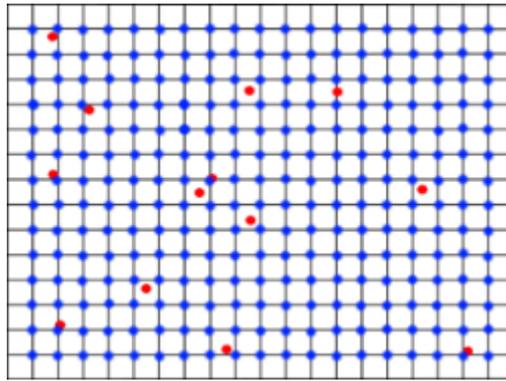


Рисунок 6. Сеть изученности
данных МОГТ (синий)
и ГИС (красный)

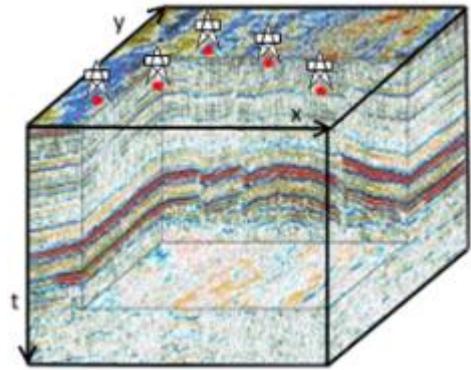


Рисунок 7. Данные
3D МОГТ

Будем считать, что восстанавливаемый параметр определяется в некоторой произвольной точке с координатами (x, y) , для которой сейсмический атрибут известен - $S(x, y, t)$.

2.2. Существующие методы решения

Для решения задачи построения трехмерных моделей геологических сред часто прибегают к интерполяции данных геофизических исследований скважин. При этом широкое применение имеет оценка связи сейсмических атрибутов с данными ГИС. В случаях, когда данную связь установить невозможно, для построения модели применяются различные статистические методы, такие как [9]:

- регрессионный анализ;
- методы геостатистики;
- кластерный анализ;
- метод главных компонент;
- нейронные сети.

2.2.1. Методы регрессионного анализа

Среди методов **регрессионного анализа** выделяют: линейный, нелинейный, двумерный и множественный. На практике, для установления связи между сейсмическими атрибутами и скважинными данными чаще всего применяется простейший метод линейного регрессионного анализа. Данные ГИС, соответствующие породам с высокими коллекторскими свойствами, сравниваются с сейсмическими атрибутами, с целью выявления значимой статистической связи. Прогнозная величина параметра ГИС рассчитывается по формуле [9]:

$$P = a + bA, \quad (1)$$

где P – прогнозируемый параметр;

A – сейсмический атрибут;

a и b – коэффициенты, вычисляемые методом наименьших квадратов, путем минимизации среднеквадратической ошибки.

Статистическая связь между P и A , определяется с помощью коэффициента корреляции Пирсона:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(P_i - \bar{P}) \cdot (A_i - \bar{A})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}} \quad (2)$$

величина которого должна быть не менее 0.7, если это условие не выполняется, нельзя говорить о надежности построенной модели. Также возможна оценка взаимосвязи с несколькими сейсмическими атрибутами методом множественного регрессионного анализа, однако, данный подход не популярен на практике ввиду сложности его реализации.

2.2.2. Методы геостатистики

Методы **геостатистики** применяются для оценки распределения пространственной переменной и широко используются во многих сферах деятельности. Геостатистика эффективна при интерполяции данных, заданных на нерегулярной сети, к примеру, данных ГИС. В наиболее популярном геостатистическом методе Крайгинга, прогнозируемая величина представляется в виде взвешенной суммы ее известных значений [9]:

$$P = \sum_{i=1}^N w_i p_i, \quad (3)$$

где P – прогнозируемая величина;

p_i – известное значение прогнозируемого параметра;

w_i – весовой коэффициент;

N – количество известных значений.

Значения весовых коэффициентов ищутся путем решения системы линейных алгебраических уравнений 4:

$$Y(h) \cdot W(h) = Y^0(h) \quad (4)$$

где $Y(h)$ – матрица значений вариограмм точек, в которых прогнозируемый атрибут известен;

$Y^0(h)$ – матрица значений вариограммы точки прогноза.

Значения вариограмм рассчитываются при допущении о стационарности и однородности прогнозируемого поля, ввиду чего Y и Y^0 зависят лишь от удаленности оцениваемых точек и могут быть рассчитаны, к примеру, по формуле 5:

$$Y(h) = \sum (P_i - P_{i+h})^2, \quad (5)$$

где P_i, P_{i+h} - пары величин, располагающиеся относительно друг друга на расстоянии h .

Стоит отметить, что это не единственная формула расчета вариограммы и она может варьироваться в зависимости от решаемой задачи.

Методы геостатистики также предполагают **возможность использования сейсмических атрибутов** для построения модели данных ГИС. Процедура, основанная на интерполяции разноточных источников информации, называется кокригингом. Идея кокригинга состоит в том, чтобы наряду со скважинными данными использовать плотную сетку сейсмических данных. Для такого интерполяционного процесса необходимо три вида вариограмм: скважина – скважина, сеймика – сеймика и скважина – сеймика. Свойства в оцениваемой точке в этом случае вычисляются как взвешенная сумма скважинных и сейсмических данных:

$$P = \sum_{i=1}^N w_i p_i + \sum_{j=1}^M v_j s_j, \quad (6)$$

где P – прогнозируемая величина;

p_i – известное значение прогнозируемого параметра;

w_i – весовой коэффициент известных значений прогнозируемого параметра;

N – количество известных значений прогнозируемого параметра;

s_j – значения сейсмического атрибута

v_j – весовой коэффициент сейсмического атрибута;

M – количество измеренных значений сейсмического атрибута.

2.2.3. Метод главных компонент

В методе главных компонент входные сейсмические атрибуты проектируются в многомерную зависимость, в которой число измерений соответствует числу входных объемов. Метод главных компонент - это один из способов понижения размерности, заключающийся в переходе к ортогональному базису, оси которого ориентированы по направлениям наибольшей дисперсии исходного набора данных. Дисперсия максимальна вдоль первой оси. Вторая ось максимизирует дисперсию при условии ортогональности первой и т.д. Последняя ось имеет минимальную дисперсию из всех возможных. Данное преобразование позволяет понижать информацию

путем отбрасывания координат, соответствующих направлениям с минимальной дисперсией. Выход этой процедуры – набор данных, называемых *главными компонентами*. Главные компоненты оцениваются в соответствии с количеством их вклада в изменчивость данных. Менее важные компоненты, содержащие шумовую и избыточную информацию, удаляются и процесс повторяется [9].

2.2.4. Нейронный анализ

Нейронный анализ – подход, основанный на использовании искусственных нейронных сетей (ИНС). ИНС состоит из множества формальных нейронов, каждый из которых имеет следующую структуру[10]:

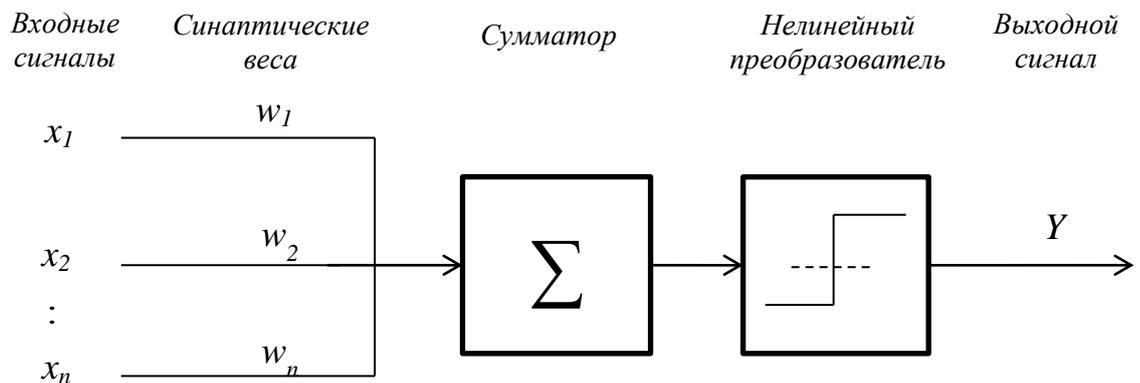


Рисунок 8. Структура формального нейрона

Сигналы, подаваемые на вход формального нейрона, взвешиваются и суммируются[10]:

$$X = \sum_{i=1}^n w_i x_i, \quad (7)$$

где w_i – синаптические веса, определяющие значимость каждого входного сигнала x_i .

Полученная сумма преобразуется передаточной функцией, которая в большинстве случаев монотонна и варьируется в диапазоне [0,1]. Результатом является выходной сигнал Y .

$$Y = f(X). \quad (8)$$

Как правило, ИНС состоят из нескольких нейронов, организованных в виде слоев[10]:

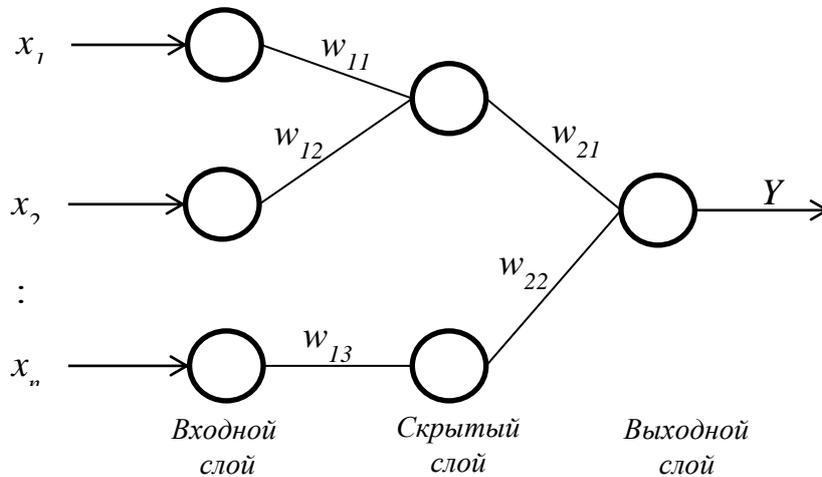


Рисунок 9. Пример структуры ИНС

Каждый слой ИНС соединен с предыдущим слоем с помощью синаптических связей, вес которых напрямую влияет на конечный результат работы сети. Настройка весов синаптических связей называется обучением нейронной сети и чаще всего сводится к поиску таких значений w , при которых выходной сигнал Y наиболее близок к некому эталонному значению \hat{Y} .

ИНС применяются при построении геологических моделей. Входными сигналами для них могут быть любые атрибуты, в том числе и сейсмические трассы. В зависимости от решаемой задачи, выходными сигналами могут быть коллекторские свойства пород или сами сейсмические трассы. При обучении используются сейсмические атрибуты, измеренные в местах, где свойства пород точно известны по скважинным данным. В процессе работы обученной сети рассчитывается распределение свойств пород по рассматриваемому профилю или площади [9].

2.2.5. Кластерный анализ

Кластерный анализ часто применяется в совокупности с вышеописанными методами и используется для разделения множества рассматриваемых точек на подмножества по определенному критерию. Данные подмножества называются кластерами. Деление сейсмической информации на кластеры позволяет оценить степень изученности прогнозируемого участка и отсеять лишнюю информацию [9].

2.2.6. Недостатки рассмотренных методов

- метод **регрессионного анализ** на практике практически не применим ввиду того, что не существует сейсмического атрибута A , который имел бы однозначную корреляционную связь с прогнозируемым параметром P ;
- методы **геостатистики** не могут в полной мере отразить закономерности распределения параметров геологической среды ввиду предположения об однородности и стационарности прогнозируемого поля;
- в основе метода **главных компонент** лежат два существенных допущения: допущение о том, что размерность данных может быть эффективно понижена путем линейного преобразования, что не всегда корректно по отношению к данным сейсморазведки; допущение о том, что больше всего информации несут те направления, в которых дисперсия входных данных максимальна.
- методы **нейронного анализа** плохо подходят для прогнозирования параметров геологической среды, ввиду того, что ИНС необходимо переобучать и видоизменять для каждого отдельно взятого месторождения, сейсмического атрибута и параметра ГИС;
- при применении **кластерного анализа** могут утеряться индивидуальные особенности и черты скважинных и сейсморазведочных данных [9].

Выводы по разделу 2

Поставлена задача оценки свойств геологической среды методом комплексирования данных наземной и скважинной сейсморазведки. Приведен анализ методов решения данной задачи, перечислены их основные преимущества и недостатки. Среди рассмотренных наиболее эффективными считаются методы геостатистики, в частности – метод Крайгинга, который, однако, имеет ряд существенных недостатков:

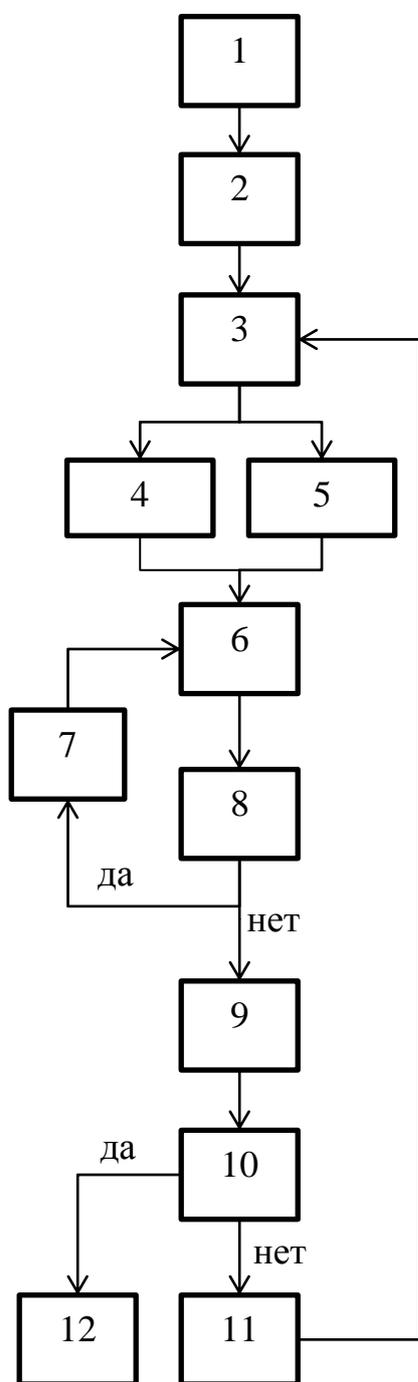
- предположение об однородности и стационарности прогнозируемого поля;
- неограниченность области значений искомой оценки.

Модификация метода, описанная в данном разделе, направлена на устранение этих двух недостатков.

3. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА

3.1. Алгоритм решения задачи

Алгоритм формирования трассы прогнозного параметра представлен на рисунке 10:



- 1) Ввод данных МОГТ и ГИС.
- 2) Поиск трасс МОГТ, координаты которых соответствуют координатам скважин.
- 3) Выборка осчетов трасс при фиксированом времени t .
- 4) Расчет матрицы ковариации трасс скважин.
- 5) Расчет матрицы ковариации в точке прогноза.
- 6) Решение системы линейных алгебраических уравнений (расчет весовых коэффициентов)
- 7) Проверка условия: есть ли среди полученных весовых коэффициентов отрицательные?
- 8) Исключение из матриц СЛАУ строк и столюцов, соответствующих отрицательным весовым коэффициентам.
- 9) Расчет прогнозного значения параметра с учетом полученных весовых коэффициентов по формуле 9.
- 10) Проверка условия: расчет проведен для всего временного диапазона?
- 11) Фиксирование нового момента времени t .
- 12) Вывод результата.

Рисунок 10. Алгоритм формирования трассы прогнозного параметра

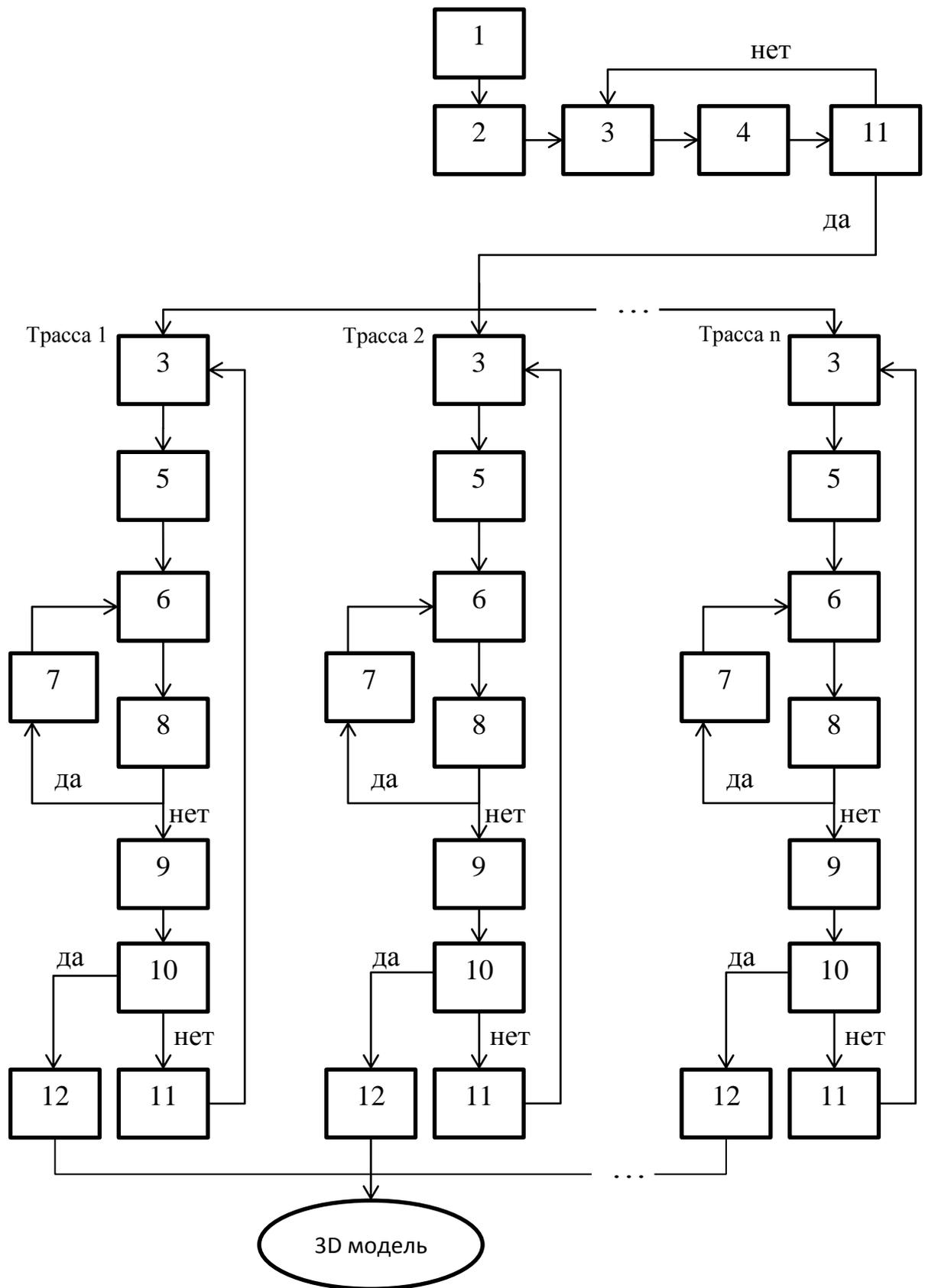


Рисунок 11. Параллельный алгоритм построения модели

Словесное описание алгоритма:

1. Каждой скважине, для которой известна кривая ГИС, ставится в соответствие кривая МОГТ.
2. Для каждой точки, в которой известна кривая МОГТ, для фиксированного времени составляется СЛАУ в соответствии с формулой (16).
3. Вычисляются численные значения весовых коэффициентов путем решения СЛАУ. Если среди полученных весовых коэффициентов присутствуют отрицательные, соответствующие им строки и столбцы удаляются и СЛАУ решается повторно.
4. По формуле (9), с учетом полученных на этапе 3 весовых коэффициентов, вычисляются прогнозные кривые ГИС.

3.2. Описание программной реализации

Алгоритм реализован средствами языка программирования C# в виде программного приложения, основной функционал которого включает:

- считывание данных МОГТ из файлов формата segy;
- считывание данных ГИС из файла формата xlsx, xls;
- проверка корректности считанных данных, отсеивание некорректной информации;
- расчет матриц ковариации сейсмического атрибута и формирование СЛАУ;
- решение СЛАУ методом гаусса, расчет атрибута ГИС в точке прогноза с учётом найденного решения;
- формирование нового файла segy с целью записи в него результатов прогноза.

Взаимодействие программы с пользователем осуществляется посредством визуального интерфейса, предназначенного для ввода начальных данных и отображения прогресса выполнения алгоритма.

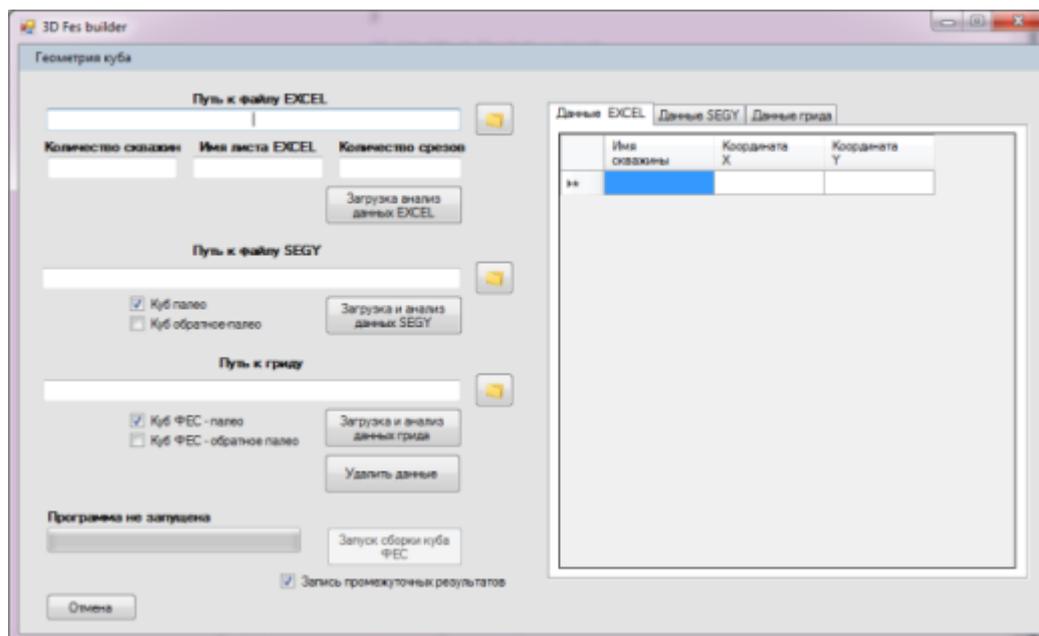


Рисунок 12. Визуальный интерфейс пользователя

При активном флаге «Запись промежуточных результатов», помимо модели прогнозного параметра, также будет сформирована модель весовой функции скважины, указанной пользователем.

Выводы по разделу 3

В данном разделе представлено описание параллельного и последовательного алгоритма реализации новой методики, а также сама программная реализация. Описан функционал разработанной программы и ее визуальный интерфейс.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА

4.1. Исследование на модельных данных

Для оценки эффективности и точности алгоритма была сгенерирована модель, представленная на рисунке 13.

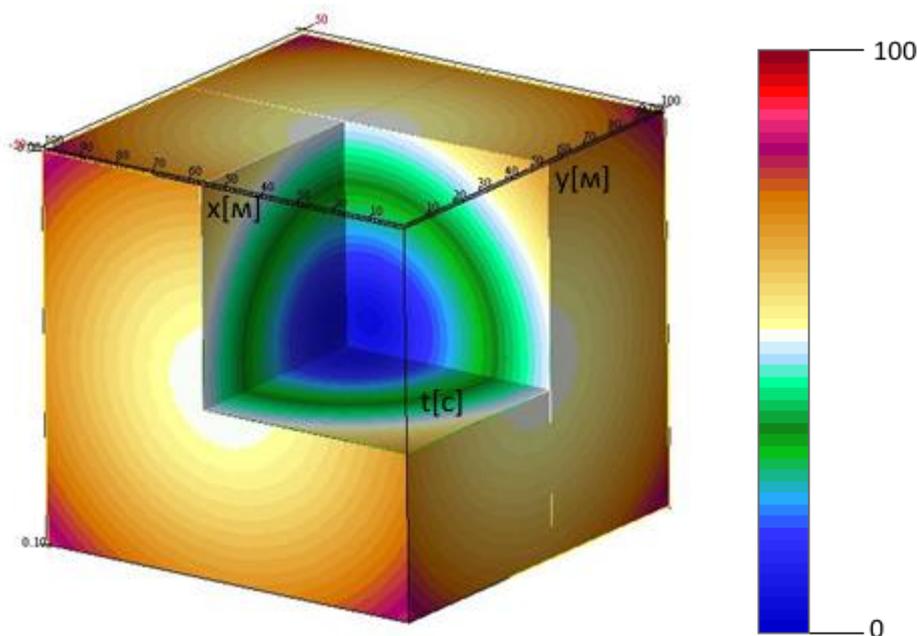


Рисунок 13. Модельный куб сейсмического атрибута геологической среды

Модель рассчитана по формуле:

$$s(x, y, t) = \sqrt{\frac{x^2 + y^2}{q} + k \cdot t^2}, \quad (18)$$

где x, y – координаты трасс [м];

t – глубина отсчётов трасс [с];

q – нормировочный коэффициент [м²];

k – нормировочный коэффициент [1/с²].

Данная модель содержит 10200 трасс, расположенных на расстоянии одного метра друг от друга. Общая площадь поверхности куба составляет 2500 м², а его глубина – 0.06 мс. Амплитуда варьируется в диапазоне [0,100].

Цель эксперимента заключается в воссоздании данной модели по ограниченному набору трасс, измеренных в точках, расположенных в соответствии с рисунком 14.

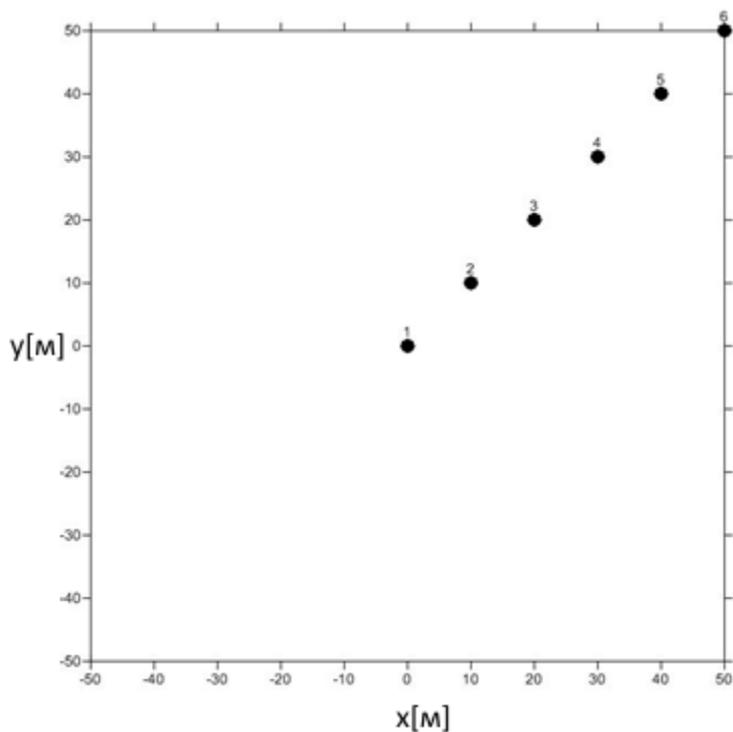


Рисунок 14. Схема расположения скважин

Трассы сейсмического атрибута, находящиеся в рассматриваемых точках подавались на вход алгоритма в качестве трасс скважин. Результат работы разработанного алгоритма представлен на рисунках 15,16.

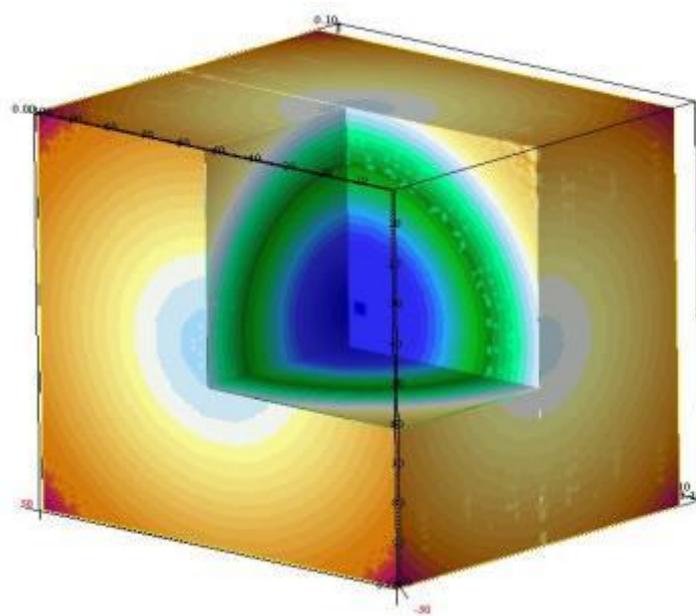


Рисунок 15. Результат работы алгоритма

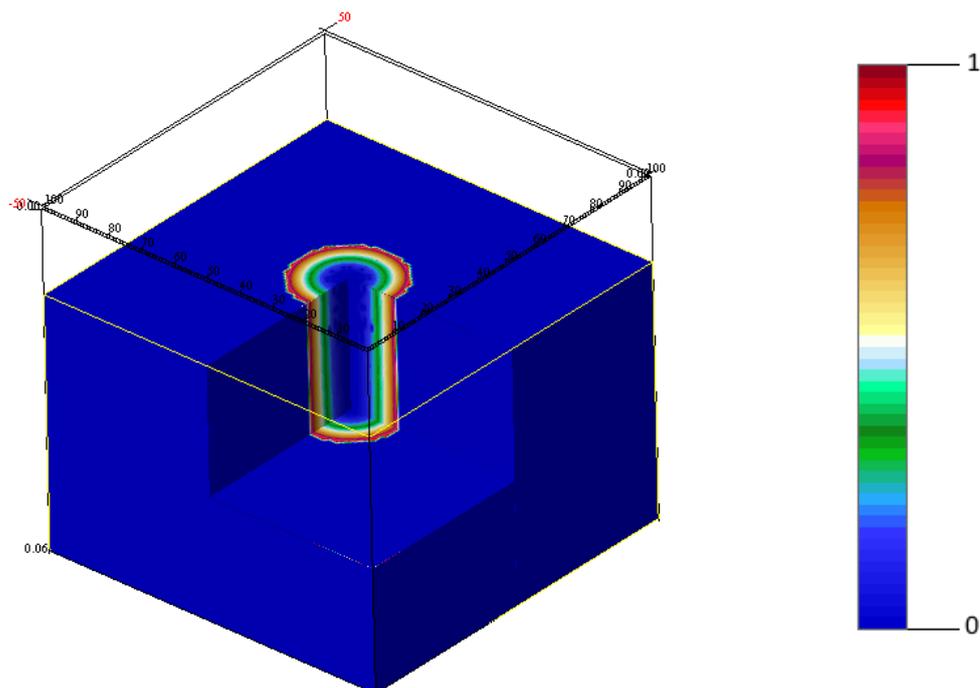


Рисунок 16. Весовая функция скважины 2

Нормированная ошибка полученного результата составляет 0,049% и как видно из рисунка алгоритму удалось с высокой точностью воссоздать строение исходной модели.

Для проверки помехоустойчивости на исходное поле был наложен Гауссовский шум с математическим ожиданием равным нулю и среднеквадратическим отклонением, равным единице (соотношение сигнала к шуму – 196), рисунок 17.

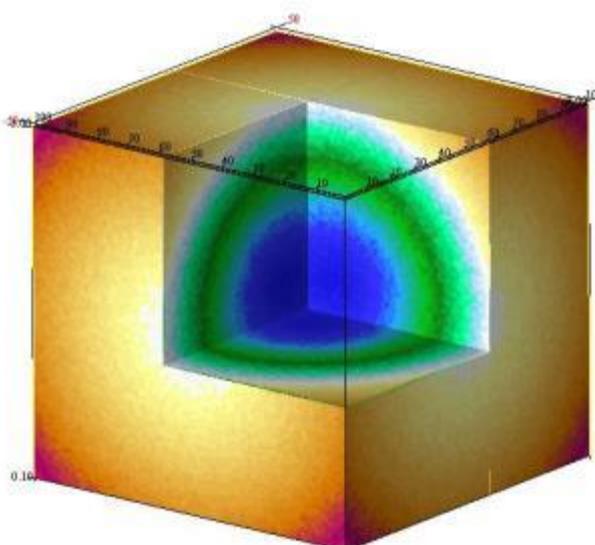


Рисунок 17. Модельный куб сейсмического атрибута геологической среды с наложенным Гауссовским шумом

Условия эксперимента аналогичны предыдущему. Результат представлен на рисунке 18.

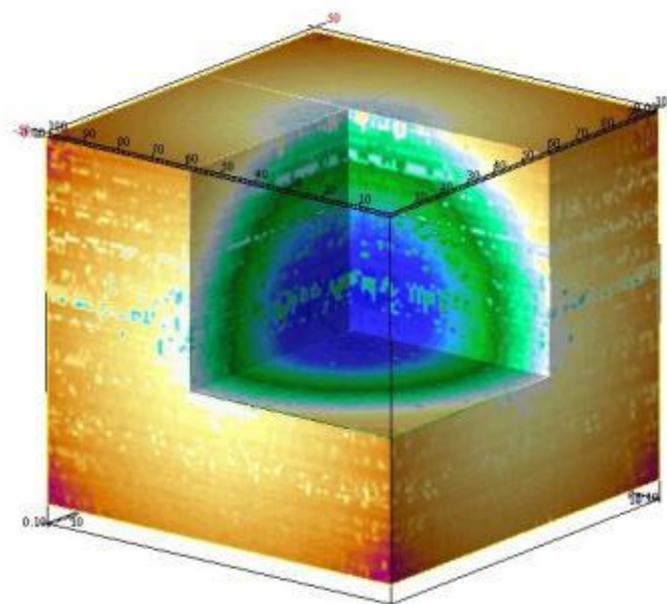


Рисунок 18. Результат моделирования

Полученное волновое поле отчетливо отображает строение исходной модели, однако из-за корреляционных свойств шума Нормированная ошибка возросла до 8.43% . **Итог**

4.2. Исследование на реальных данных

Исследование работоспособности алгоритма при работе с реальными данными осуществлялось посредством моделирования параметров геологической среды месторождения Томской области. При моделировании использовались материалы 3D МОГТ и материалы ГИС. Прогнозным параметром являлся альфа-ПС, измеренный методом потенциалов самопроизвольной поляризации горных пород. Ковариационный анализ показал, что данному параметру наиболее соответствует атрибут «амплитуда» после специальной обработки (рисунок 19).

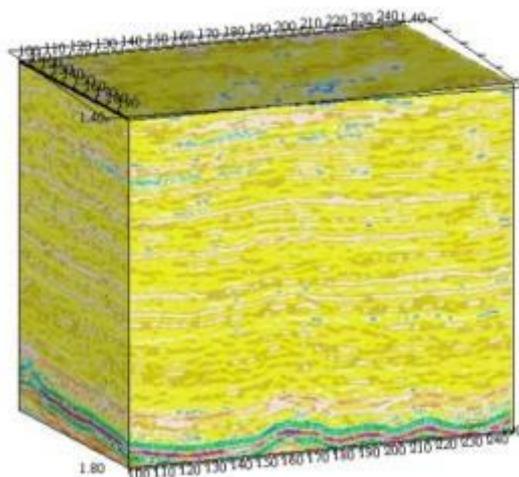


Рисунок 19. Данные 3D МОГТ исследуемого месторождения

Характеристики файла SEG Y, хранящего в себе материалы МОГТ: объем занимаемого места на жестком диске – 632 Мб; количество Crossline – 263; количество inline – 394; количество отсчетов в одной трассе – 1500; формат записи отсчетов трасс – IBM 370; количество трасс – 103622.

Таблица 1. Пример структуры EXCEL файла с данными ГИС скважин

	X m	Y m	-200 ms	-199 ms	-198 ms
Скважина 1	X1	Y1	0.42	0.17	0.44
Скважина 2	X2	Y2	0.52	0.66	0.5
Скважина 3	X3	Y3	0.0888	0.2154	0.1813
Скважина 4	X4	Y4	0.16	0.29	0.62
Скважина 5	X5	Y5	0.0229	0.1539	0.6758
Скважина 6	X6	Y6	0.03	0.143	0.632

Общая площадь месторождения составляет примерно 60 квадратных километров. Общее количество пробуренных на месторождении скважин – 6; средняя длина кривой ГИС – 600 миллисекунд; длина трассы МОГТ – 4000 миллисекунд.

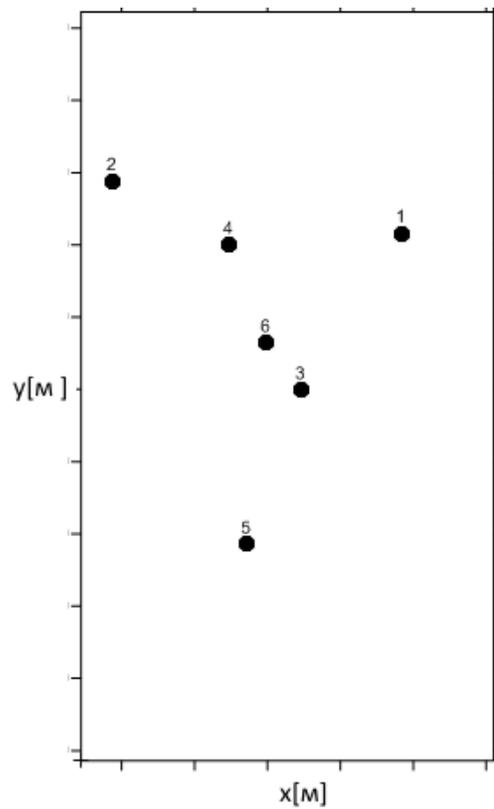


Рисунок 20. Схема расположения скважин на месторождении

Полученная 3D модель распределения параметра альфа-ПС нефтяного месторождения позволяет оценить осадочный разрез в площадном варианте (рисунки 21, 22).

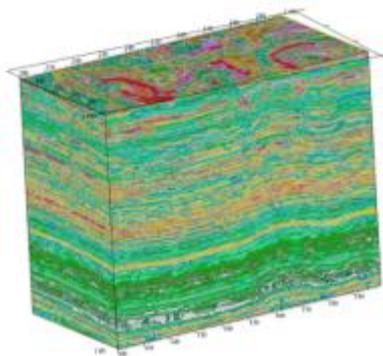


Рисунок 21. Модель параметра альфа-ПС

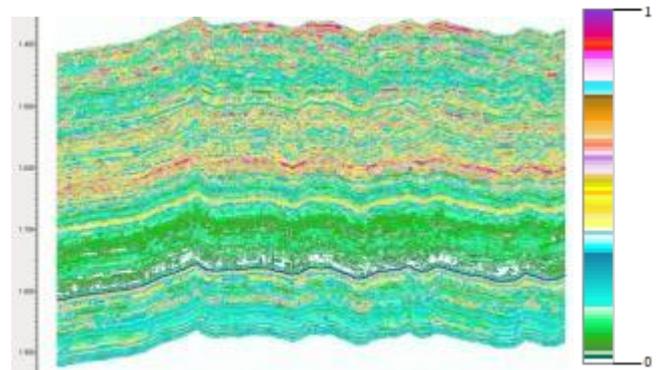


Рисунок 22. Вертикальный срез полученной модели

По данной модели отчетливо прослежены зоны с повышенными коллекторскими свойствами (альфа-ПС >0.4), а также мощные глинистые флюидоупоры (альфа-ПС <0.3). Такой прогноз выделенных геологических тел

играет немаловажную роль при разбурировании месторождения, а также при решении задач дальнейшей разработки месторождения.

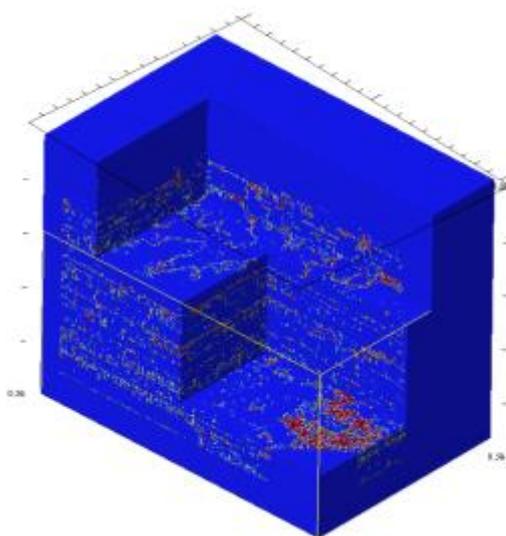


Рисунок 23. Трехмерное изображение весовой функции скважины 1

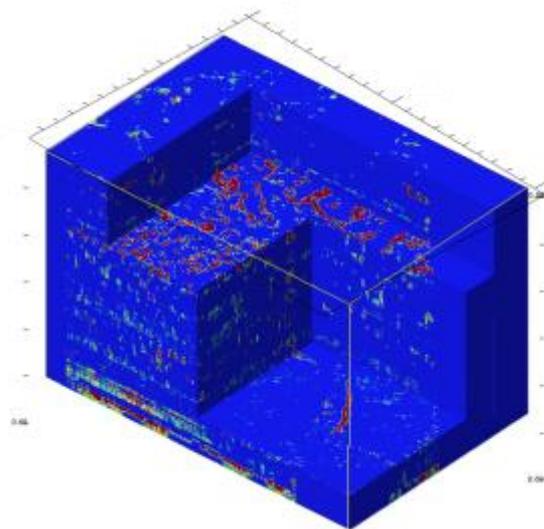


Рисунок 24. Трехмерное изображение весовой функции скважины 2

Полученные в процессе моделирования весовые функции также представляют собой полезную информацию и могут быть использованы при решении последующих задач, например, при проведении сейсмо-фациального анализа, определения поля продуктивности пластов и т.п. (рисунки 23, 24).

Выводы по разделу 4

В данном разделе приведены результаты тестирования программной реализации алгоритма. Тестирование проводилось для трех типов данных: идеальные модельные данные, зашумленные модельные данные, реальные данные месторождения Томской области. Во всех трех случаях алгоритм показал высокую эффективность.

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

5.1. Организация и планирование работ

5.1.1. Определение основных этапов работы

1. Научный руководитель (НР).
2. Дипломируемый студент (С).

Таблица 2. Перечень основных этапов работы

№	Описание этапа	Исполнители	Загруженность исполнителей
1	Получение задания	С, НР	НР – 100%
2	Анализ предметной области	С, НР	С – 30%, НР – 100%
3	Разработка календарного плана	С, НР	С – 10%, НР – 100%
4	Обзор литературы и интернет-источников	С, НР	С – 30%, НР – 100%
5	Обзор задач сейсморазведки	С	С – 100%
6	Обзор методов сейсморазведки	С	С – 100%
7	Обзор методов построения трехмерных моделей геологических сред	С	С – 100%
8	Математическая постановка задачи	С, НР	С – 30%, НР – 100%
9	Выбор метода решения поставленной задачи	С, НР	С – 30%, НР – 100%
10	Разработка алгоритмов решения задачи	С	С – 100%
11	Программная реализация компьютерной модели	С	С – 100%
12	Проведение исследований на модельных данных	С	С – 100% НР – 70%
13	Проведение исследований на реальных данных	С	С – 100% НР – 70%
14	Расчет экономической эффективности научно-технической продукции	С	С – 100%
15	Оценка социальной ответственности проекта	С	С – 100%
16	Подведение итогов работы	С, НР	С – 70%, НР – 100%
17	Написание пояснительной записки	С	С – 100% НР – 30%

5.1.2. Расчёт продолжительности этапов работы

Ввиду малого числа участников работы принято решение использовать систему линейного планирования с построением линейного графика. В рамках данной магистерской диссертации для расчета продолжительности этапов работы максимально эффективным является экспертный метод. Метод аналогов менее эффективен, так как работа является новаторской.

Трудоемкость и затраты времени можно определить методом двух оценок, суть которого заключается в усреднении минимальной и максимальной продолжительности этапа. При этом ожидаемая продолжительность этапа рассчитывается по формуле:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (19)$$

где t_{min} – предположительно минимальная продолжительность этапа в рабочих днях, определяемая методом экспертной оценки;

t_{max} – предположительно максимальная продолжительность этапа в рабочих днях, определяемая методом экспертной оценки.

Продолжительность каждого этапа рассчитывается по формуле ():

$$t_{раб} = t_{ож} \cdot k_{\delta}, \quad (20)$$

где $t_{раб}$ – длительность этапов в рабочих днях;

k_{δ} – коэффициент, учитывающий дополнительное время на консультации и согласование работ, $k_{\delta} = 1.2$.

Линейный график строится на основании полученных значений $t_{раб}$, предварительно переведенных в календарные дни по формуле ():

$$t_{к} = t_{раб} \cdot K_{н}, \quad (21)$$

где $t_{к}$ – длительность этапов работ в календарных днях;

$K_{н}$ – коэффициент календарности.

В свою очередь, коэффициент календарности рассчитывается по формуле (22):

$$K_n = \frac{T_k}{T_k - T_{\text{вд}} - T_{\text{нд}}}, \quad (22)$$

где T_k – количество календарных дней, $T_k = 365$;

$T_{\text{вд}}$ – количество выходных дней, $T_{\text{вд}} = 52$;

$T_{\text{нд}}$ – количество праздничных дней, $T_{\text{нд}} = 10$;

$$K_n = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1.205. \quad (23)$$

Таблица 3. Трудозатраты на проведение ВКР

№	Описание этапа	Исполнители	Продолжительность работ в днях			Трудоемкость			
			t_{\min}	t_{\max}	$t_{\text{ож}}$	$t_{\text{раб}}$		t_k	
						с	нр	с	нр
1	Получение задания	С, НР	1	2	1,4	-	1,68	-	2,03
2	Анализ предметной области	С	2	4	2,8	1,01	3,37	1,21	4,06
3	Разработка календарного плана	С, НР	1	3	1,8	0,21	2,17	0,26	2,61
4	Обзор литературы и интернет-источников	С	3	5	3,8	1,3	4,58	1,65	5,51
5	Обзор задач сейсморазведки	С	2	5	3,2	3,86	-	4,65	-
6	Обзор методов сейсморазведки	С	2	5	3,2	3,86	-	4,65	-
7	Обзор методов построения трехмерных моделей геологических сред	С	2	5	3,2	3,86	-	4,65	-
8	Математическая постановка задачи	С, НР	4	6	4,8	1,73	5,78	2,09	6,96
9	Выбор метода решения поставленной задачи	С, НР	5	10	7	2,5	8,44	3,04	10,16

10	Разработка алгоритмов решения задачи	С	4	6	4,8	5,78	-	6,97	-
11	Программная реализация компьютерной модели	С	4	6	4,8	5,78	-	6,97	-
12	Проведение исследований на модельных данных	С	4	6	4,8	5,78	4,05	6,97	4,87
13	Проведение исследований на реальных данных	С	7	9	7,8	9,39	6,58	11,3 2	7,92
14	Расчет экономической эффективности научно-технической продукции	С	5	7	5,8	6,98	-	8,42	-
15	Оценка социальной ответственности проекта	С	4	5	4,4	5,3	-	6,39	-
16	Подведение итогов работы	С, НР	4	8	5,6	4,72	6,74	5,69	8,13
17	Написание пояснительной записки	С	10	12	10,8	13,0 1	3,90	15,6 8	4,7
Итого					80	75,0 7	47,2 9	90,6 1	56,9 5

5.1.3. Расчет накопления технической готовности работы

Степень готовности работы рассчитывается по формуле():

$$CG_i = \frac{t_n}{t_o} \cdot 100\%, \quad (24)$$

где t_n – нарастающая трудоемкость с момента начала разработки темы;

t_o – общая трудоемкость работы.

В свою очередь t_n можно вычислить по формуле ():

$$t_n = \sum_{i=1}^N t_i^{ож}, \quad (25)$$

где $t_i^{ож}$ – ожидаемая трудоемкость i – го этапа;

N – количество этапов.

Удельный вес каждого этапа рассчитывается по формуле ():

$$TP_i = \frac{t_i^{ож}}{t_o} \cdot 100\%, \quad (26)$$

Таблица 4. Накопление технической готовности работы

Описание этапа	CG_i	TP_i
Получение задания	1,75	1,75
Анализ предметной области	5,25	3,5
Разработка календарного плана	7,5	2,25
Обзор литературы и интернет-источников	12,25	4,75
Обзор задач сейсморазведки	16,25	4
Обзор методов сейсморазведки	20,25	4
Обзор методов построения трехмерных моделей геологических сред	24,25	4
Математическая постановка задачи	30,25	6
Выбор метода решения поставленной задачи	39	8,75
Разработка алгоритмов решения задачи	45	6
Программная реализация компьютерной модели	51	6
Проведение исследований на модельных данных	57	6
Проведение исследований на реальных данных	66,75	9,75
Расчет экономической эффективности научно-технической продукции	74	7,25
Оценка социальной ответственности проекта	79,5	5,5
Подведение итогов работы	86,5	7
Написание пояснительной записки	100	13,5

5.1.4. Построение линейного графика работ

Таблица 5. Запланированное время выполнения этапов работы

С- студент; НР – научный руководитель

Номер этапа	Наименование этапа	Дата начала работы	Длительность в днях	Дата окончания работы	Исполнители
1	Получение задания	01.01.2016	2.48	03.01.2016	С, НР
2	Анализ предметной области	03.01.2016	4.96	08.01.2016	С
3	Уточнение неясностей в постановке задачи	08.01.2016	3.19	11.01.2016	С, НР
4	Обзор литературы и интернет источников	11.01.2016	6.47	18.01.2016	
5	Обзор задач сейсморазведки	18.01.2016	5.67	23.01.2016	С
6	Обзор методов сейсморазведки	23.01.2016	5.67	29.01.2016	С
7	Обзор методов построения трехмерных моделей геологических сред	29.01.2016	5.67	04.02.2016	С
8	Математическая постановка задачи	04.02.2016	8.51	12.02.2016	С
9	Выбор метода решения поставленной задачи	12.02.2016	12.4	25.02.2016	С, НР
10	Разработка алгоритмов решения задачи	25.02.2016	8.5	04.03.2016	С, НР
11	Программная реализация компьютерной модели	04.03.2016	8.5	13.03.2016	С
12	Проведение исследований на модельных данных	13.03.2016	8.5	21.03.2016	С
13	Проведение исследований на реальных данных	21.03.2016	13.82	04.04.2016	С
14	Расчет экономической эффективности научно-технической продукции	04.04.2016	10.27	14.04.2016	С
15	Оценка социальной ответственности	14.04.2016	7.8	22.04.2016	С
16	Подведение итогов работы	22.04.2016	9.93	02.05.2016	С
17	Написание пояснительной записки	02.05.2016	19.14	21.05.2016	С, НР

Линейный график представлен в приложении Б

5.2. Расчет сметы затрат на выполнение проекта

Затраты на магистерскую диссертацию рассчитываются путем суммирования следующих критериев:

- заработная плата;
- социальный налог;
- накладные расходы;

5.2.1. Заработная плата

- Месячный оклад руководителя составляет (доцент, к.н.) 23264,86 руб.;
- Месячный оклад программиста составляет 10233,33 руб.

Исходя из этих данных, среднедневной оклад каждого участника можно рассчитать по формуле:

$$\text{Среднедневной оклад} = \frac{\text{месячный оклад}}{24,83}, \quad (27)$$

- среднедневной оклад руководителя составляет 936,97 руб.;
- среднедневной оклад программиста составляет 412,14 руб.

Учитывая, что коэффициент премий $K_{пр} = 10\%$, районный коэффициент $K_{рк} = 30\%$, а дополнительная оплата $K_{доп} = 18,8\%$ от основного оклада:

$$K = K_{пр} K_p K_{доп}. \quad (28)$$

$$K = 1,188 \cdot 1,3 \cdot 1,1 = 1,699.$$

Таблица 1. Затраты на основную заработную плату

Исполнители	Оклад	Среднедневной оклад, руб/день	Затраты времени, дни	K	Фонд з/пл, руб
Руководитель	23264,86	936,97	45	1,699	71636,04
Программист	10233,33	412,14	141	1,699	98731,84
Итого					170367,89

5.2.2. Расчет затрат на социальный налог

Страховые взносы складываются из следующих составляющих:

- отчисления в фонд обязательного медицинского страхования (ФОМС) – 5,1%;
- отчисления в пенсионный фонд РФ (ПФР) – 22%;
- отчисления в фонд социального страхования (ФСС) – 2,9%;

Таблица 7. Страховые взносы

Название фонда	Отчисления %	з/пл, руб	Отчисления, руб
ФОМС	5,1	170367,89	8688,76
ПФР	22	170367,89	37480,94
ФСС	2,9	170367,89	4940,66
Итого, руб			51110,36
Суммарно с з/пл, руб			221478,25

5.2.3. Расчет затрат на электрическую энергию

С учетом тарифа на электроэнергию 5,257 руб./кВт·час (с НДС).

Таблица 8. Расходы на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт	Затраты $\text{Э}_{\text{ОБ}}$, руб.
Персональный компьютер	$(141 + 45) \cdot 8 \cdot 0.6$	0,3	267,84
Итого:			267,84

5.2.4. Расчет амортизационных расходов

Годовая норма амортизации единицы оборудования для персонального компьютера – 2 года. Стоимость ПК – 40000 руб., время использования – 1488 часов. Тогда амортизационные отчисления для него составят:

$$C_{\text{АМ}} = \frac{(0,4 \cdot 40000 \cdot 1488 \cdot 1)}{2384} = 9986 \text{ руб.} \quad (29)$$

5.2.5. Расчет прочих расходов

Печать магистерской диссертации, в общей сложности 145 страниц по цене 1.90 руб. за страницу черно-белой печати, обошлась в 275,5 руб. Брошюрование документа до 165 страниц стоит 28 руб.

Общая сумма прочих расходов составляет $C_{\text{проч}} = 303.5$ руб.

5.2.6. Расчет общей себестоимости разработки

Таблица 9. Смета затрат на разработку

Номер статьи	Наименование статьи	Условные обозначения	Затраты, руб.
1	Заработная плата	$C_{\text{зп}}$	170367,89
2	Социальный налог	$C_{\text{соц}}$	51110,36
3	Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	267,84
4	Амортизационные расходы	$C_{\text{ам}}$	9986
5	Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	303,5
Итого			232035,59

5.2.7. Расчет прибыли

Предполагаемая прибыль рассчитывается на основе затрат на создание магистерской диссертации. Пусть желаемая прибыль составляет 15% от стоимости работы, тогда:

$$0,15 \cdot 232035,59 = 34805.34 \text{ руб.}$$

5.2.8. Расчет НДС

НДС составляет 18% от суммы затрат на разработку и прибыли.

$$0,18 \cdot (232035,59 + 34805,34) = 48031.37 \text{ руб.}$$

5.2.9. Цена разработки магистерской диссертации

$$C_{\text{нпр}} = 232035,59 + 34805,34 + 48031,37 = 314872,3 \text{ руб.}$$

5.3. Оценка экономической эффективности магистерской диссертации

Эффективность внедрения результатов магистерской диссертации в производственный процесс предприятия оценить невозможно, ввиду того что неизвестна степень ее влияния на проведение полевых и офисных работ. Наверняка известно то, что для эксплуатации методики, описанной в данной диссертации, необходим один сотрудник. Предполагая, что его оклад составляет 20000 руб, можно провести расчет экономического эффекта внедрения методики в производство:

Ежегодные затраты на работника с учетом дополнительной заработной платы и социального налога:

$$20000 \cdot 1,699 \cdot 12 = 407760 \text{ руб.}$$

С учетом того, что без внедрения методики аналогичная работа выполняется двумя сотрудниками, экономия предприятия составляет 407760 руб.

5.3.1. Расчет срока окупаемости инвестиций

Исходя из общей стоимости магистерской диссертации и годовой экономии предприятия, затраты окупятся в течении:

$$\frac{232035,59}{407760} = 0,57 \text{ года.}$$

Таблица 10. Накопленные денежные поступления по проекту

Год	Инвестиции	Прибыль	Накопленный денежный поток
0	-232035,59	175724,41	175724,41
1		583484,41	828140,41

5.3.2. Оценка научно-технического уровня работы

Таблица 11. Оценка научно-технического уровня работы

Значимость	Фактор НТУ	Уровень фактора	Балл	Обоснование
0,4	Уровень новизны	Новая	7	Разработанный метод учитывает неоднородность и нестационарность прогнозируемого поля и является модификацией метода Крайгинга.
0,1	Теоретический уровень	Разработка способа	6	Разработан метод. Его алгоритм реализован в виде программного приложения.
0,5	Возможность реализации	В течение первых лет	10	Разработанное программные приложение может быть использовано на любом ПК с операционной системой Windows.
Итоговый показатель НТЭ				8,4

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Человек существует в процессе жизнедеятельности, состоящем из непрерывного взаимодействия со средой обитания в целях удовлетворения своих потребностей [белов]. Любое такое взаимодействие может быть измерено и имеет свою норму, отклонение от которой негативно сказывается на здоровье человека. Эти нормы зафиксированы в Государственных стандартах (ГОСТ) и их соблюдение является обязательным при организации исследовательской или рабочей деятельности.

В рамках данной магистерской диссертации, объектом исследования раздела «Социальная ответственность» является алгоритм, реализуемый программистом в виде программного приложения с помощью ЭВМ. В данном разделе необходимо:

- выявить и проанализировать вредные и опасные факторы, возникающие при разработке программного приложения;
- сформировать список рекомендаций по созданию оптимальных условий работы, охране окружающей среды.

6.1. Производственная безопасность

Вредный фактор – негативное воздействие на человека, которое приводит к ухудшению его самочувствия или заболеванию. Вредный фактор считается опасным, если его воздействие на человека может привести к резкому ухудшению здоровья или травмам [13].

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 [14] опасные и вредные факторы по природе взаимодействия с человеком классифицируют следующим образом:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

К физически вредным факторам при разработке программного обеспечения можно отнести:

- недостаточную освещенность рабочего места;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень электромагнитного и электростатического излучения;
- несоответствующие нормам показатели микроклимат.

К физически опасным факторам рабочего места программиста можно отнести:

- напряжение в электрической сети 220 В;
- возможность возникновения пожара из-за короткого замыкания или нарушения техники безопасности.

К психофизиологическим опасным и вредным факторам относятся статические и психические перегрузки.

6.1.1. Анализ выявленных вредных факторов

Шум на рабочем месте.

При разработке программного обеспечения, основными источниками шума являются:

- вентиляторы и кулеры системных блоков, находящихся в комнате;
- жесткие диски системные блоки.

Иные источники шума, находящиеся за пределами рабочего помещения (строительные и ремонтные работы, массовые мероприятия и т.д.).

В соответствии с СНиП 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки», при выполнении основной работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА. Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ приведены в таблице 12 [15].

Таблица 12. Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровни звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
86 дБ	71 дБ	61 дБ	54 дБ	49 дБ	45 дБ	42 дБ	40 дБ	38 дБ	50

В случае несоответствия показателей шума установленным нормам, необходимо прибегнуть к мерам по их оптимизации:

- замена компонент ЭВМ на менее шумные аналоги;
- установка звукопроницаемых окон и дверей.

Недостаточная освещенность. Ввиду того, что неправильно организованное освещение может негативно сказаться на здоровье работников, был создан свод нормативных актов СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» [16], в соответствии с которым освещенность при разработке алгоритма должна составлять 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна превышать 300 лк. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

Для искусственного освещения помещений с персональными компьютерами следует применять светильники типа ЛПО36 с зеркализированными решетками, укомплектованные высокочастотными пускорегулирующими аппаратами. Допускается применять светильники прямого света, преимущественно отраженного света типа ЛПО13, ЛПО5, ЛСО4, ЛПО34, ЛПО31 с люминисцентными лампами типа ЛБ. Допускается применение светильников местного освещения с лампами накаливания. Светильники должны располагаться в виде сплошных или прерывистых линий сбоку от рабочих мест параллельно линии зрения пользователя при разном расположении компьютеров. При периметральном расположении — линии светильников должны располагаться локализовано над рабочим столом ближе к его переднему краю, обращенному к оператору. Защитный угол светильников должен быть не менее 40 градусов. Светильники местного освещения должны

иметь не просвечивающийся отражатель с защитным углом не менее 40 градусов

Электромагнитное и электростатическое излучение.

Электромагнитные поля, излучаемые системными блоками и мониторами должны соответствовать нормам, установленным в СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»[17]:

- напряженность электромагнитного поля в 0.5 метрах относительно дисплея и системного блока равна 2.5 [В/м];
- плотность магнитного потока в 0.5 метрах относительно дисплея и системного блока 250 [нТл] в диапазоне частот 5-2 [КГц]; поверхностный электростатический потенциал составляет 500 [В].

Недопустимые показатели микроклимата. В соответствии с СанПиН 2.2.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» работа программиста соответствует категории работ *Ia* (работы с интенсивностью энерготрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением).

Оптимальные параметры микроклимата для этой категории работ приведены в таблице 13 [18].

Таблица 13. Оптимальные параметры микроклимата

Сезон	Температура воздуха, t [°C]	Температура поверхностей, t [°C]	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, [м/с]
Холодный и переходный (средне суточная температура меньше 10°C)	22-24	21 - 25	40-60	0.1
Теплый (среднесуточная температура воздуха 10°C и выше)	23-25	22-26	40-60	0.1

В случае несоответствия показателей микроклимата установленным нормам, необходимо прибегнуть к мерам по их оптимизации:

- установка кондиционеров и обогревателей в рабочих помещениях;
- усовершенствование, ремонт вентиляционной и отопительной систем.

6.1.2. Анализ выявленных опасных факторов

Поражение человеческого организма электрическим током может служить причиной травм различного характера: повреждение мышечного и кожного покровов, ожоги различной степени и т.д. Последствия действия тока на организм человека зависят от силы тока, длительности его действия, пути тока в теле и индивидуальных свойств организма.

Для предотвращения поражения электрическим током при работе с компьютером необходимо:

- обеспечить недоступность токоведущих частей для прикосновения;
- подключать все электрические приборы, включая ЭВМ, к сети питания только через сетевой фильтр;
- избегать возникновения повышенной влажности;
- не снимать боковую крышку корпуса ЭВМ при включённой сети питания;

- обеспечивать чистоту помещения и не допускать запыленности воздуха.
Часто в процессе эксплуатации ЭВМ возникает необходимость замены и ремонта ее составляющих. В соответствии с СанПиН 2.2/2.2.1340-03, запрещено проводить ремонт ЭВМ непосредственно в рабочих, лабораторных и рабочих помещениях.

6.2. Экологическая безопасность

При эксплуатации ЭВМ и ее комплектующих потребляется электрическая энергия, выработка которой осуществляется на электростанциях и сопровождается выбросами различных вредных веществ в окружающую среду. Чем больше электропотребление – тем крупнее выбросы. Вдобавок конструкция ЭВМ содержит в себе различные пластиковые и металлические элементы, которые в случае прихода в негодность должны быть соответствующим образом утилизированы или переданы на вторичную обработку. Ввиду данных фактов на каждого пользователя ЭВМ ложится ответственность по охране окружающей среды.

Современные операционные системы предоставляют возможность составлять график потребления электроэнергии для каждой отдельной комплектующей ЭВМ. Вдобавок многие устройства, такие как принтер, сканер, микрофон, камера и т.д. могут не использоваться в течение рабочего дня и необходимость в их постоянном подключении к сети электропитания отпадает. Учитывая все это, у пользователя ЭВМ появляется множество средств для минимизации электропотребления.

Сломанные и непригодные для дальнейшей эксплуатации комплектующие ЭВМ, а также бумажные отходы, должны быть переданы организациям, занимающимся утилизацией и переработкой отходов.

6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – состояние объекта, территории или акватории, при котором возникает угроза жизни и здоровью группы людей, наносится материальный ущерб, деградирует природная среда [белов].

Пожарная безопасность. Причиной возникновения пожара при разработке программного приложения может служить:

- неисправность электрического оборудования или проводки;
- короткое замыкание в одной из составляющих ЭВМ;
- несоблюдение правил пожарной безопасности.

Обязательные меры по предотвращению возникновения возгорания:

- разработка, внедрение и контроль над соблюдением пожарных норм и правил;
- проведение противопожарного инструктажа;
- содержание в готовности противопожарных средств;
- регулярное проведение пожарно-технических обследований;
- использование электрических приборов и ЭВМ в только соответствии с инструкцией по эксплуатации.

При возникновении пожара каждый обнаруживший пожар обязан:

1. Немедленно сообщить в пожарную охрану по телефону 01.
2. Сообщить о случившемся дежурному персоналу.

Безопасность в случае землетрясения. Землетрясение – это подземные толчки и колебания земной поверхности, возникающие в результате внезапных смещений и разрывов в земной коре или верхней части мантии Земли и передающиеся на большие расстояния в виде упругих колебаний.

В случае возникновения землетрясения необходимо:

- при наличии возможности, в первые 15 - 20 секунд после первого толчка выйти на улицу, на открытое пространство как можно дальше от зданий, сооружений высоких столбов и прочих объектов, представляющих опасность обрушения;

- находясь в помещении, укрыться как можно дальше от окон и стеклянных перегородок;
- при возможности, использовать в качестве укрытия стол, кровать, дверные проемы и опорные конструкции;

В случае возникновения землетрясения не рекомендуется:

- находиться в угловых помещениях здания;
- выбегать на лестничные проемы и пользоваться лифтами.

6.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Рабочее место должно быть организовано в соответствии ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [17] и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [19].

Основные требования СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03:

- При размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с дисплеями, должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями дисплеев - не менее 1,2 м.
- Экран дисплея должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 0.6 – 0.7 м, но не ближе 0.5 м.
- Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики.
- Конструкция рабочего стула должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего

стула следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.

- Рабочий стул должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.
- Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.
- напряженность электромагнитного поля в 0.5 метрах относительно дисплея и системного блока равна $2.5 [B/m]$;
- плотность магнитного потока в 0.5 метрах относительно дисплея и системного блока $250 [нТл]$ в диапазоне частот $5-2 [КГц]$; поверхностный электростатический потенциал составляет $500 [B]$.

В соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [19] продолжительность рабочего дня не должна превышать восьми часов, при этом каждый час необходим перерыв продолжительностью 15 минут.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения магистерской диссертации был проведен анализ методов оценки свойств геологической среды, основанных на комплексировании данных наземной и скважинной сейсморазведки. Основываясь на их преимуществах и недостатках, разработан новый метод, представляющий собой модификацию геостатистического метода Крайгинга. Необходимость модификации заключалась в двух недостатках геостатистического подхода: предположение об однородности и стационарности прогнозируемого поля, неограниченность области значений искомой оценки.

Новый метод реализован в виде программного приложения средствами языка С# и протестирован на модельных, а также реальных данных месторождения Томской области. В обоих случаях метод показал высокую эффективность.

Метод опробован и внедрен в технологический процесс в ООО Научно-аналитический центр «Недра».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Геостатистическое моделирование свойств геологических сред по данным наземной и скважинной сейсморазведки // сборник тезисов XVI Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, г. Красноярск, 28 – 30 октября 2015 г.
2. Модифицированный метод Крайгинга построения трехмерных моделей параметров геологических сред // сборник тезисов 54-й Международной научно студенческой конференции МНСК – 2016, г. Новосибирск, 16 – 20 апреля 2016 г.
3. «Построение трехмерных моделей параметров геологических сред» // сборник работ III-й Международной конференции «информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине», индексация РИНЦ (в печати).
4. «Three-dimensional models of geoenvironmental parameters» // Atlantic Press, индексация Web of Science (в печати).

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] А.А. Самарский, А. П. Михайлов. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2001. - 320 с.
- [2] А.К. Урупов. Основы трехмерной сейсморазведки – Москва, Нефть и газ, 2004 – 584 стр.
- [3] В.Н. Косков, Б.В. Косков – Геофизические исследования скважин и интерпретация данных ГИС. – Пермь, Перм. гос. техн. ун-т., 2007. - 304 стр.
- [4] Ж. Ж. Матерон. Основы прикладной геостатистики – Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2009 - 460 с.
- [5] И.В. Бондарев. Сейсморазведка – Екатеринбург, Уральский государственный горный университет, 2007. – 703с.
- [6] Боганик Г.Н., Гуврич И.И. Сейсморазведка - Тверь, АИС, 2006 – 744 стр.
- [7] Тихонов А.И., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач – М. Недра, 1979.
- [8] А.П. Ермаков. Введение в сейсморазведку – Тверь, ГЕРС, 2012. – 160 с.
- [9] Ю.Н. Воскресенский. Полевая геофизика. – Москва, Недра, 2010 – 479 с.
- [10] Саймон Хайкин. Нейронные сети. – Москва, Вильямс – 2006 – 1104 с.
- [11] Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика, теория и практика - Москва, Наука, 2010. - 328 с.
- [12] В.Н. Кутрунов, М.В. Дмитриевских. Аналог интерполяционного метода Крайгинга без геостатистического обоснования // Вестник ТюмГУ. - 2001 г - №3 - С. 208-216.
- [13] С.В. Белов безопасность жизнедеятельности – Москва, Высшая шк., 2007 – 616 с.
- [14] ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы».

- [15] СНиП 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
- [16] СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».
- [17] СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
- [18] СанПиН 2.2.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
- [19] ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(Обязательное)

Раздел 2

Построение трехмерных моделей геологических сред

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ41	Шестаков Валерий Владимирович		

Консультант кафедры ПМ :

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

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой ИЯИК	Сидоренко Татьяна Валерьевна	к.п.н.		

THREE-DIMENSIONAL MODELS OF GEOENVIRONMENTAL PARAMETERS

The mathematical formulation of the problem

- Let N boreholes are drilled at points $p_i(x_i, y_i)$, forming the irregular grid.

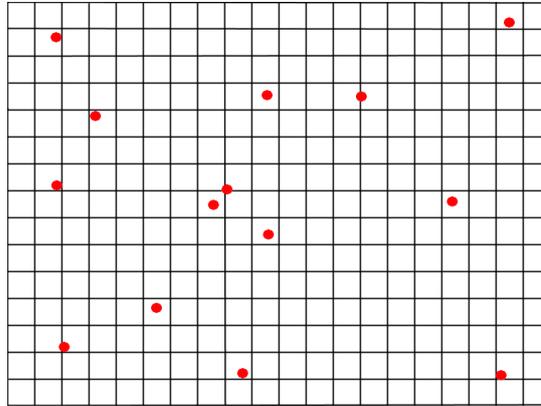


Figure 4. The scheme of wells arrangement on the investigated area

- In each borehole, the measurements of a prognostic parameter are performed and are presented as geophysical well logging (GWL) curve $f_i(t)$, $i = 1, \dots, N$. Let us consider the obtained GWL curves a sample of prognostic parameter field $f_i(t) = F(x_i, y_i, t)$.

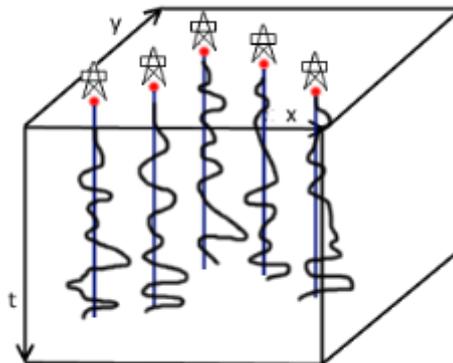


Figure 5. Example GWL data

- In the study zone, land seismic survey is performed setting the seismic attribute traces for the set of points (amplitude, energy, frequency energy ratios, etc.).

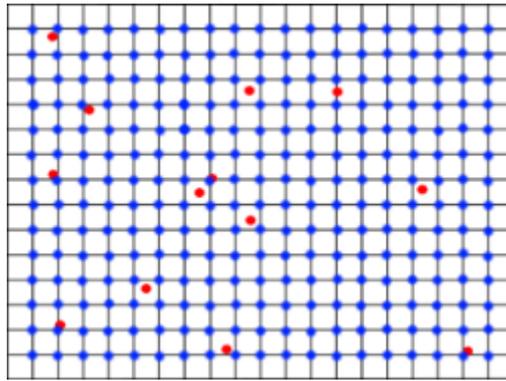


Figure 6. The scheme of 3D CDPS data (blue) and GWL data (red) arrangement

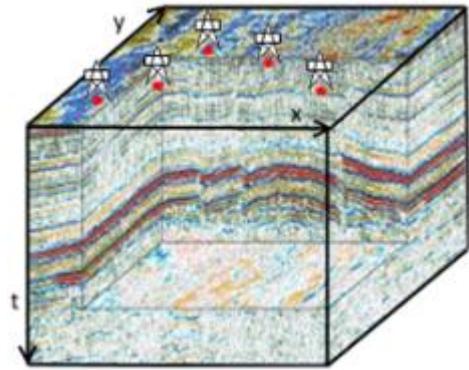


Figure 7. Example 3D CDPS data

- Only in case of performing 3D CDPS, this set forms the regular grid. Therefore, we will further believe that the reconstructed parameter is defined only at a point with coordinates (x, y) , for which a seismic attribute is known - $S(x,y,t)$.

Existing methods of problem solving

Interpolation is often used to solve the problem of constructing three-dimensional models geological environments. Herewith dependence evaluation of seismic attributes with GWL data is widely used. In cases where this dependence can not be established, various statistical methods are used to build the model, such as [9]:

- regression analysis;
- geostatistical methods ;
- cluster analysis;
- principal component analysis;
- neural networks.

Among the methods of **regression analysis** distinguished: linear, non-linear, two-dimensional and multiple. In practice, simplest linear regression analysis is most commonly used to establish dependence between seismic attributes and well data.

GWL data, corresponding to terrestrial rocks with high reservoir properties, are compared with the seismic attributes to identify significant statistical relationship. Prognostic value of GWL parameter is calculated as follows [9]:

$$P = a + bA, \quad (1)$$

where P – prognostic value;

A – seismic attribute;

a and b – the coefficients calculated by the least-squares by the way of minimizing the mean square error .

The statistical relationship between P and A is determined using the Pearson correlation coefficient:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(P_i - \bar{P}) \cdot (A_i - \bar{A})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}} \quad (2)$$

which should be not less than 0.7, if this condition is not met , we can not speak about the reliability of the constructed model. The relationship with multiple seismic attributes is also possible to estimate by multiple regression analysis, however, this approach is not popular in practice due to the complexity of its implementation.

Geostatistical methods are used to estimate the spatial variable distribution and widely used in many fields of activity. Geostatistics is effective in interpolation defined on irregular grid data, for example, GWL data. In the most popular geostatistical method of Kriging, the prognostic value is represented as a weighted sum of its known values [9]:

$$P = \sum_{i=1}^N w_i p_i, \quad (3)$$

where P – prognostic value;

p_i – prognostic value known values;

w_i – weight factors;

N – number of known values.

The values of the weighting factors are searched by solving a system of linear algebraic equations (SLAE) 4:

$$Y(h) \cdot W(h) = Y^0(h) \quad (4)$$

where $Y(h)$ – variogram values matrix of points at which the projected attribute is known;

$Y^0(h)$ – variogram values matrix of points at prognostic point.

Variogram values calculated on the assumption of stationarity and uniformity of prognostic field, because of that Y_0 and Y depends only by distance and the evaluated points can be calculated, for example, by the formula 5:

$$Y(h) = \sum (P_i - P_{i+h})^2, \quad (5)$$

where P_i, P_{i+h} – a pair of values, which are located relative to each other by a distance h .

Worth noting that this is not the only formula variogram calculation and it may vary depending on the task at hand.

Geostatistical methods also involve the use of seismic attributes for building a GWS data model. The procedure based on interpolation different sources of information, called cokriging. Cokriging idea is that along with well data is used dense grid of seismic data. For such interpolation process requires three types of variograms: well-well, seismic-seismic and borehole-seismic. The properties evaluated in point in this case are calculated as a weighted sum of the well and seismic data:

$$P = \sum_{i=1}^N w_i p_i + \sum_{j=1}^M v_j s_j, \quad (6)$$

where P – prognostic value;

p_i – prognostic value known values;

w_i – weight factors of prognostic value known value;

N – number of prognostic value known values;

s_j – seismic attribute values;

v_j – weight factors of seismic attribute;

M – the number of seismic attribute measured values.

In the method of **principal component** input seismic attributes are projected in a multi-dimensional relationship, in which the number of measurement corresponds to the number of input volumes. The method of principal components - is one way of reducing the dimension, by the way of moving to an orthogonal basis, the axis of which is oriented towards the maximum dispersion of source data set. Dispersion is maximized along the first axis. The second axis is providing maximum dispersion on condition of first axis orthogonality etc. Dispersion of latter axis is lowest. This conversion allows reducing the information by deleting the coordinates corresponding to areas with minimum dispersion. The output of this procedure - a data set, called principal components. Principal components are estimated in accordance with the amount of contribution to data variability. Less important components containing noise and redundant information are removed and the process repeated [9].

Neural analysis - an approach based on the use of artificial neural networks (ANN). ANN consists of formal neurons plurality, each of which has the following structure [10]:

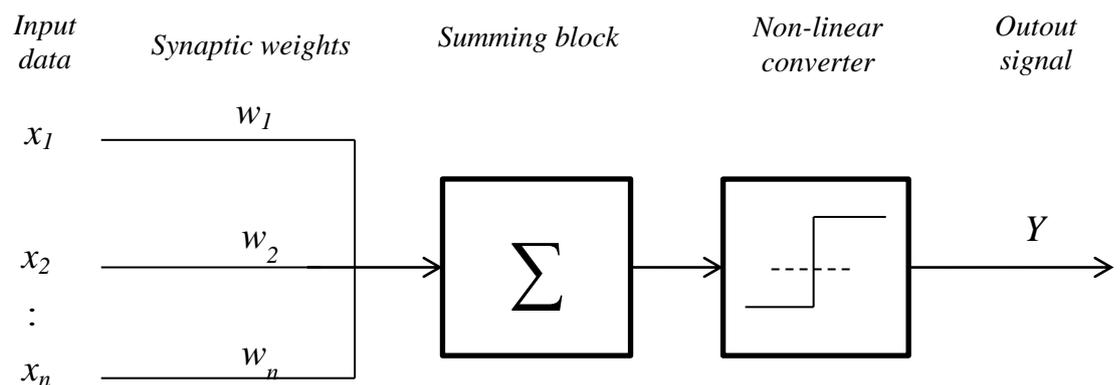


Figure 8. The formal neuron structure

Inputted to the formal neuron signals are weighed and summed [10]:

$$X = \sum_{i=1}^n w_i x_i, \quad (7)$$

where w_i – synaptic weights that determine the importance of each input signal x_i .

The resulting sum is converted by transfer function, which in most cases is monotone and varies in the range $[0,1]$. The result is an output signal Y .

Typically, ANN composed of several neurons organized into layers [10]:

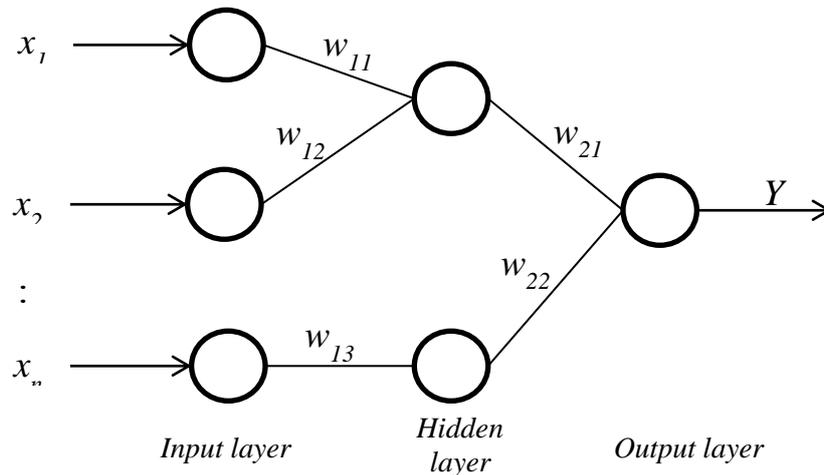


Figure 9. ANN structure example

Each ANN layer is connected with previous layer using synaptic connections, which weight has a direct impact on the network operation result. Setting up balance of synaptic connections is called neural network learning and often represents searching of w values at which the output signal Y is closest to a certain reference value \hat{Y} .

ANNs are used in geological models construction. Any attributes, including seismic traces, may be input signals to these. Depending on the task, the outputs can be reservoir properties of rock or seismic traces themselves. When training seismic attributes, measured at locations where the properties of rocks accurately known from well data, are used. In operation of trained network, distribution of rock properties is calculated according to studied profile or Square [9].

Cluster analysis is often used in conjunction with the above-described methods and used for separation of points set on the subset by certain criteria. These subsets are called clusters. The division into clusters of seismic data allows

evaluating the degree of scrutiny of the projected site and weeding out unnecessary information [9].

Disadvantages of the following methods:

- in practice, method of **regression analysis** not applicable due to the fact that there is not a seismic attribute A that would have an unambiguous correlation with the prognostic parameter P ;
- **geostatistical methods** do not fully reflect distribution patterns of geological environment parameters due to the assumption prognostic field homogeneity and stationarity;
- the basis of **principal component** is based on two essential assumptions: the assumption that the dimension of the data can be effectively reduced by a linear transformation, which is not always correct in relation to seismic data; the assumption that the most information are the directions in which the maximum dispersion of the input data.
- methods of **neural analysis** are not well suited for predicting geological environment parameters, due to the fact that the ANN need to retrain and modify for each individual field, the seismic attribute and GWL parameter;
- applications of **cluster analysis** may result in loss of personal characteristics and traits of well and seismic data [9].

Proposed solving method

In geophysics, geoenvironmental parameters (porosity, permeability, etc.) are modeled based on the results of geophysical borehole studies (GBS) by various methods [3]. In the general case, such modeling should resolve itself into solution to a problem of three-dimensional interpolation whose solution may be based on the known deterministic methods [11]. Such approach provides good results in the field of significant concentration of basic data (boreholes). However, in case of offset distance from boreholes of hundreds of meters, the accuracy of deterministic methods decreases to unacceptable values.

Statistical methods of interpolation in this situation allow for enhancing the accuracy of prognostic predictions. The geostatistical modeling and, in particular, Kriging method based on the analysis of spatial distribution and correlation relationships of the known values of interpolated field are the most popular [4]. The disadvantages of Kriging method comprise the constraint of obligatory homogeneity and object stationarity and the hypothesis of unboundness of the domain for the values of interpolated field which generate physically unreal results. In case of sparse grid of prestack data, Kriging models are extremely rough and hardly differ from the deterministic ones.

To eliminate the latter disadvantage, this work proposes to modify Kriging method through the analysis of prognostic parameters and data of land seismic survey (2D or 3D common depth point seismic (CDPS)). Combined use of land and borehole seismic survey data is based on the fact that CDPS has significantly more detailed grid of observations and the changes of a seismic attribute indirectly contain information on the changes of a prognostic geoenvironmental parameter [2].

In accordance with Kriging equation, the desired interpolation is sought in the form of the best linear combination of the known $f_i(t)$:

$$\hat{F}(x, y, t) = \sum_{i=1}^N w_i(x, y, t) f_i(t) \quad (9)$$

where $w_i(x, y, t)$ is the weight function of i -th borehole. As shown in [3], unbiasedness of estimate (1) in fixed arguments x, y and t is achieved upon condition

$$\sum_{i=1}^N w_i(x, y, t) = 1 \quad (10)$$

and selection of the weight functions is determined by minimization of error variance:

$$D \left[F(x, y, t) - \hat{F}(x, y, t) \right] \rightarrow \min \quad (11)$$

In Kriging, the hypothesis on homogeneity and stationarity $F(x, y, t)$ is used in the wide sense (covariance function does not depend on coordinates, but only on a distance between the points and on time deviation) [12]. This hypothesis leads to task simplification and use of variograms instead of covariance functions. Modeling of variograms is performed mostly by linear methods. All mentioned does not allow Kriging method to fully take into account spatial changes of inhomogeneous geological environment.

By discarding the idea of homogeneity and stationarity of the field $F(x, y, t)$, one has to abandon the modeling of variograms and to replace it with the model based on the properties of the field $S(x, y, t)$. If there is a statistical association between $S(x, y, t)$ and $F(x, y, t)$ i.e. changes of covariance properties of inhomogeneous and nonstationary field $S(x, y, t)$ carry information on the changes of covariance properties $F(x, y, t)$, then unknown weight functions may be found from the equation of interpolation of seismic attribute:

$$\hat{S}(x, y, t) = \sum_{i=1}^N w_i(x, y, t) s_i(t) \quad (12)$$

where $s_i(t) = S(x_i, y_i, t)$ is a seismic attribute trace in i -th point of a borehole. Constraint of consistency (3) rearranges to the following form:

$$D \left[S(x, y, t) - \sum_{i=1}^N w_i(x, y, t) s_i(t) \right] \rightarrow \min \quad (13)$$

Let us view the solution of assigned task at an arbitrary point in space $p_0 = (x_0, y_0)$; $S(x_0, y_0, t) = S_0(t)$; $w_i^0(t) = w_i(x_0, y_0, t)$. Considering that, at point p_0 , estimate (4) is unbiased, i.e. $M \left[S_0(t) - \sum_{i=1}^N w_i^0(t) s_i(t) \right] = 0$, the equation (5) can be rewritten in the following form:

$$\begin{aligned} & D \left[S_0(t) - \sum_{i=1}^N w_i^0(t) s_i(t) \right] = \\ & = M \left[\left(S_0(t) - \sum_{i=1}^N w_i^0(t) s_i(t) \right)^2 \right] = \\ & = M \left[S_0(t)^2 \right] - 2M \left[S_0(t) \sum_{i=1}^N w_i^0(t) s_i(t) \right] + M \left[\sum_{i=1}^N w_i^0(t) s_i(t) \sum_{j=1}^N w_j^0(t) s_j(t) \right] = \\ & = \psi_0^2(t) - 2 \sum_{i=1}^N w_i^0(t) M \left[S_0(t) s_i(t) \right] + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_i^0(t) w_j^0(t) M \left[s_i(t) s_j(t) \right] = \\ & = \psi_0^2(t) - 2 \sum_{i=1}^N w_i^0(t) C_{0i}(t) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_i^0(t) w_j^0(t) C_{ij}(t). \end{aligned} \quad (14)$$

where $\psi_0^2(t)$ is mean value at point (x_0, y_0) ; $C_{0i}(t) = C_{0i}(t, t) = M \left[S_0(t) s_i(t) \right]$ is covariance function of seismic attribute $S(x, y, t)$ at point p_0 and at point p_i ; $c_{ij}(t) = c_{ij}(t, t) = M \left[S_i(t) s_i(t) \right]$ is covariance function of seismic attribute $S(x, y, t)$ at points of i -th and j -th boreholes with coordinates (x_i, y_i) and (x_j, y_j) , respectively.

Now, after differentiating the equation (14) with respect to each desired weight function $w_i^0(t)$, we receive a system of linear equations of the form:

$$C(t) \cdot W^0(t) = C^0(t), \quad (15)$$

where $C(t) = \begin{pmatrix} c_{11}(t) & c_{12}(t) & \dots & c_{1n}(t) \\ c_{21}(t) & c_{22}(t) & \dots & c_{2n}(t) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{n1}(t) & c_{n2}(t) & \dots & c_{nn}(t) \end{pmatrix}$ - covariance matrix of seismic attribute at points

of boreholes;

$$W^0(t) = \begin{pmatrix} w_1^0(t) \\ w_2^0(t) \\ \vdots \\ w_N^0(t) \end{pmatrix} - \text{matrix of weight functions;}$$

$$C_0(t) = \begin{pmatrix} C_{01}(t) \\ C_{02}(t) \\ \vdots \\ C_{0N}(t) \end{pmatrix} - \text{covariance matrix of seismic attribute at prognostic point } p_0$$

and at points of boreholes -.

Solution of this system will be the values of weight functions $w_i^0(t)$ where the fulfillment of the condition (13) is achieved. For convenience of further calculations, the left and the right parts of the system (15) are normalized to dimensionless form through division of each equation by $C_{ii}(t)$, and, the equation is added for taking into account the condition (10) by the method of Lagrange multipliers: $w_1^0(t) + w_2^0(t) + \dots + w_N^0(t) = 1$.

As a result, the system will have the form

$$R(t) \cdot Q(t) = R^0(t) \quad (16)$$

$$\text{where } R(t) = \begin{pmatrix} 1 & r_{12}(t) & \dots & r_{1n}(t) & 1 \\ r_{12}(t) & 1 & \dots & r_{2n}(t) & 1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ r_{1n}(t) & r_{2n}(t) & \dots & 1 & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix} \text{ is normalized covariance matrix of seismic}$$

attribute at borehole points;

$$R^0(t) = \begin{pmatrix} r_{01}(t) \\ r_{02}(t) \\ \vdots \\ r_{0N}(t) \\ 1 \end{pmatrix} \text{ is normalized covariance matrix of seismic attribute at}$$

prognostic point p_0 and at points of borehole;

$$Q(t) = \begin{pmatrix} w_1^0(t) \\ w_2^0(t) \\ \vdots \\ w_N^0(t) \\ \alpha(t) \end{pmatrix} \text{ is the matrix of weight functions.}$$

For the fixed time point t , system (16) becomes a system of linear algebraic equations (SLAE) that, in case of nonsingularity of the $R(t)$, is solved by any of the known methods (matrix method, Gauss' method, iteration method, etc.). For the real geological environments, seismic traces carry information on vertical inhomogeneity of rocks and, in the general case, are nonstationary. For the analysis of similar processes, let us introduce the hypothesis of their local stationarity. With this supposition, the normalized covariance functions can be calculated through time averaging in running window.

To eliminate the above-mentioned problem of unboundness of the domain for values of the interpolated field, let us introduce additional constraint for the values of the weight coefficients:

$$0 \leq w_i^0, i = \overline{1, N} \quad (17)$$

It is clear that, in case of simultaneous satisfying the conditions (17) and (10), the values of the interpolated field will not exceed the limits defined by prestack data. However, due to the fact that the constraint (17) represents inequation, it is impossible to add it to the system (16). Therefore, the following algorithm is proposed for its implicit adherence:

- SLAE (16) is solved by any known method.
- If there are negative values among the elements Q , then the corresponding lines and columns in the matrices R , R^0 and Q are removed; after that, algorithm is invoked again from step 1.
- In case if all elements Q are nonnegative, then obtained solution is accepted and the algorithm is discontinued.

Due to the fact that the accuracy of model development directly depends on the quality of aprior CDPS and GBS data, the step of data acquisition and preparation is important. This process can be divided into several successive steps:

Borehole GBS data acquisition. Due to inhomogeneity of geologic environment, each borehole is unique. The absence of one of boreholes can attenuate the model reliability. Due to this, it is important to initially acquire information on the maximum number of boreholes.

CDPS data selection. It is necessary to identify which attribute possesses the covariance properties similar to the properties of the prognostic field. For this, selection of traces for various seismic attributes close to each borehole is performed; after that, covariance relationships between the traces and the GBS curves are determined. Among the seismic attributes, the one with covariance matrix close to the covariance matrix of the prognostic parameter is selected.

Formation of a set of the linearly independent traces of seismic attribute. In cases of the closely-spaced boreholes or small variability of seismic attribute, the system (16) will have a singular matrix. This stage allows for avoiding it and for eliminating information excessive for the algorithm.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б (Справочное)

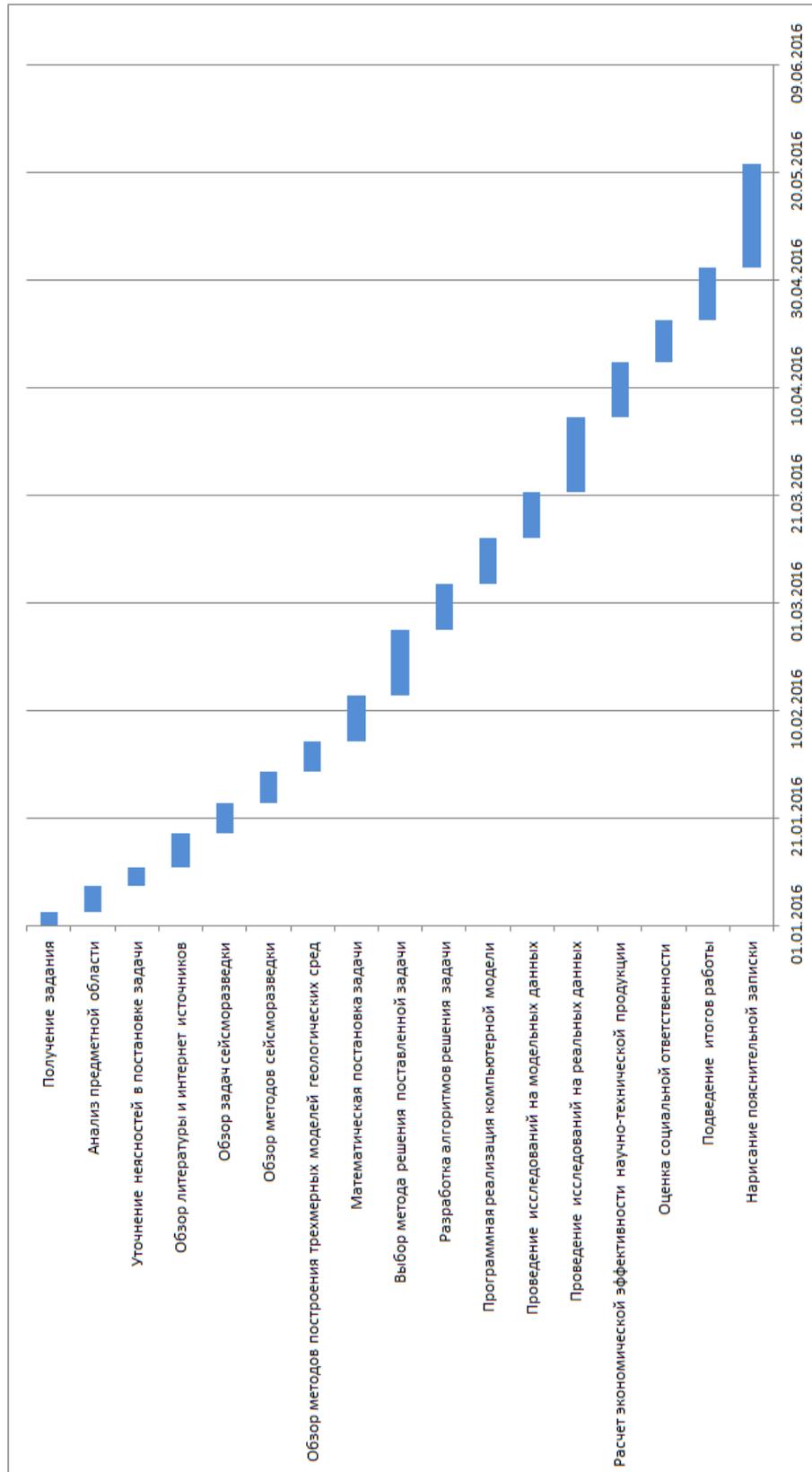


Рисунок Б.1. Линейный график написания магистерской диссертации

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(Справочное)

Список классов и функций, используемых в программной реализации алгоритма

Класс **Calculation_algorithms**:

- функция *wells_covariance* – расчет матриц ковариации трасс сейсмического атрибута в точках скважин;
- функция *trace_well_covarience* – расчет матрицы ковариации;
- функция *gauss_system_solving* – решение системы линейных алгебраических уравнений методом Гаусса;
- функция *new_time_calculating* – выборка отсчетов трасс по глубине.

Класс **Data_type_convert**:

- функция *IBMtoDouble* – функция перевода числа с плавающей запятой из формата IBM370 в формат IEEE754.
- функция *DoubleToIBM* – функция перевода числа с плавающей запятой из формата IEEE754 в формат IBM370.

Класс **SEG_Y_reading**:

- функция *Read_SEG_Y_NumHeaders* – чтение цифрового заголовка файла формата SEG_Y;
- функция *Read_trace_SEG_Y_NumHeaders* – чтение заголовков трасс файла формата SEG_Y;
- функция *Trace_urgency* – проверка актуальности трасс файла SEG_Y.
- функция *Wells_data_searching* – поиск трасс в файле SEG_Y, координаты которых совпадают с координатами скважин.

Класс **EXCEL_Data_reading**:

- функция *EXCEL_reading* – чтение данных скважин из файла формата *xlsx*.