

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки: Прикладная математика и информатика
Отделение информационных технологий

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка алгоритма оценки достоверности трехмерного геостатистического моделирования

УДК 004.021-047.84:004.925.84:55:519.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б51	Шевченко Анна Алексеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Гергет Ольга Михайловна	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Подопригора Игнат Валерьевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент ООТД	Мезенцева Ирина Леонидовна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ОПП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Шевелев Геннадий Ефимович	к.ф.-м.н.		

Планируемые результаты обучения

Код Результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, Критерии АИОР
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять <i>глубокие математические и профессиональные знания</i> для решения задач научно-исследовательской, проектной, производственной и технологической деятельности в области системного и прикладного программирования.	Требования ФГОС (ОК-11, 12, ПК-3, 10). Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> . Требования профессиональных стандартов Ассоциации предприятий компьютерных и информационных технологий. Требования работодателей: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина», ООО НАЦ «Недра», ИХН СО РАН.
P2	Умение использовать знания по естественнонаучным дисциплинам при определении задач математического моделирования объектов и явлений в различных предметных областях	Требования ФГОС (ПК-3,9). Критерий 5 АИОР (п.5.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> . Требования работодателей: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина», ООО «НАПО им. В.П. Чкалова», ИХН СО РАН.
P3	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий.	Требования ФГОС (ОК-5, 11, 12,14,15, ПК-2, 6). Критерий 5 АИОР (п. 5.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> . Требования профессиональных стандартов Ассоциации предприятий компьютерных и информационных технологий. Требования работодателей: Контек, ОАО «Газпром переработка», ООО Нижневартонскэнергонефть».
P4	Выполнять <i>инновационные проекты с применением глубоких профессиональных знаний и эффективных методов проектирования</i> для достижения <i>новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества</i> в условиях экономических, экологических, социальных и других	Требования ФГОС (ОК-14, ПК- 7, 9,14). Критерий 5 АИОР (п. 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> . Требования профессиональных стандартов Ассоциации предприятий компьютерных и информационных

	ограничений.	ных технологий. Требования работодателей: Контек, ОАО «Газпром переработка», ИХН СО РАН.
P5	<i>Демонстрировать знание</i> о формах организации образовательной и научной деятельности в высших учебных заведениях, <i>иметь навыки</i> преподавательской работы.	Требования ФГОС (ОК-1, 10, 16, ПК-1, 14, 15). Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P6	Способность осуществлять организационно-управленческую и социально-ориентированную деятельность с соблюдением профессиональной этики	Требования ФГОС (ОК-5,13,16, ПК-11-13,16). Критерий 5 АИОР (п.5.2.12-13) согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	<i>Активно</i> владеть <i>иностранном языком</i> на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, включая разработку документации и представление результатов инновационной деятельности. Толерантность в восприятии социальных и культурных различий.	Требования ФГОС (ОК-2, 3,4, 7, ПК-8). Критерий 5 АИОР (п. 5.2.11), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> . Требования профессиональных стандартов Ассоциации предприятий компьютерных и информационных технологий
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации	Требования ФГОС (ОК-1,4, 6, ПК-8,11,12). Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.9,5.2.13), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> . Требования профессиональных стандартов Ассоциации предприятий компьютерных и информационных технологий. Требования работодателей: Контек, ОАО «Газпром переработка», ООО Нижневартовскэнергонефть».
P9	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности. Способность к интеллектуальному, культурному, нравственному и профессиональному саморазвитию.	Требования ФГОС (ОК-8,9,16, ПК-5, 11). Критерий 5 АИОР (5.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> . Требования работодателей: Контек, ОАО «Газпром переработка», ООО Нижневартовскэнергонефть».

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки: Прикладная математика и информатика
 Отделение информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ОПП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Б51	Шевченко Анна Алексеевна

Тема работы:

Разработка алгоритма оценки достоверности трехмерного геостатистического моделирования	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 1101/с от 12.02.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Данные наземной сейсморазведки, полученные на одном из месторождений Томской области</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы на темы: «понятие и методы сейсморазведки», «геофизические исследования скважин». 2. Обзор существующих способов оценки достоверности трехмерного геостатистического моделирования. 3. Разработка нового алгоритма оценки достоверности трехмерного геостатистического моделирования. 4. Проведение численных исследований

	разработанного алгоритма. 5. Реализация разработанного алгоритма в виде программного приложения. 6. Тестирование программного приложения на данных наземной сейсморазведки
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация работы
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Подопригора Игнат Валерьевич
«Социальная ответственность»	Мезенцева Ирина Леонидовна

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Гергет Ольга Михайловна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б51	Шевченко Анна Алексеевна		

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

Студенту:

Группа 8Б51	ФИО Шевченко Анна Алексеевна
----------------	---------------------------------

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	Информационных технологий
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Прикладная математика и информатика

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Человеческие ресурсы – 2 человека (руководитель и студент-дипломник).</i>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Необходимо составить календарный план НИ и рассчитать затраты НИ.</i>
2. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Расчет интегральных показателей эффективности исследования, выбор наилучшего исполнения.</i>

Перечень графического материала:

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Матрица SWOT*
3. *График проведения и бюджет НИ*
4. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Подопригора Игнат Валерьевич	кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б51	Шевченко Анна Алексеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Б51	Шевченко Анна Алексеевна

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	Информационных технологий
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Прикладная математика и информатика

Тема ВКР:

Разработка алгоритма оценки достоверности трехмерного геостатистического моделирования	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: алгоритм, реализуемый программистом в виде программного приложения с помощью ЭВМ. Область применения: геостатистическое моделирование.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность: 1.1. Анализ выявленных вредных факторов 1.2. Анализ выявленных опасных факторов	1.1. Физически вредные факторы: –повышенный уровень шума на рабочем месте; –недостаточная освещенность рабочего места; –несоответствующие нормам показатели микроклимата; –электромагнитное и электростатическое излучение 1.2. Физически опасные факторы: –повышенное значение напряжения в электрической цепи; возможность возникновения пожара из-за короткого замыкания или нарушения техники безопасности.
2. Экологическая безопасность:	При эксплуатации ЭВМ потребляется электроэнергия, вырабатываемая на электростанциях, сопровождаемая выбросами различных вредных веществ в окружающую среду. Конструкция ЭВМ содержит различные пластиковые и металлические элементы, которые в случае прихода в негодность должны быть соответствующим образом утилизированы или переданы на вторичную обработку. –Рассмотрены решения по обеспечению экологической безопасности.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее вероятная ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения: пожар в результате замыкания.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации	Рассмотрены организационные мероприятия по обеспечению безопасности программиста.

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

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент ООТД	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б51	Шевченко Анна Алексеевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 77 страниц, 14 рисунков, 28 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: сейсмическая разведка, геофизические исследования скважин, сейсмическая трасса, геостатистическая модель, достоверность.

Объектом исследования является геологическая среда.

Цель работы: является поиск и исследование факторов, влияющих на достоверность геостатистической модели, а также разработка метода количественной оценки этих факторов.

В первой главе данной работы рассмотрено понятие, задачи и методы сейморазведки, основные методы геофизических исследований скважин; рассмотрена задача моделирования петрофизического параметра, приведен исследуемый метод её решения.

Во второй главе работы проведен анализ существующих алгоритмов решения задачи оценки достоверности трехмерного геостатистического моделирования, выявлены их преимущества и недостатки; приведено описание предлагаемого алгоритма оценки достоверности трехмерного геостатистического моделирования; проведены численные эксперименты, в ходе которых доказана эффективность алгоритма.

В третьей главе работы описана программная реализация алгоритма, а также проведено ее тестирование на реальных данных.

Результатом работы является новый алгоритм оценки достоверности трехмерного геостатистического моделирования, позволяющий определить точки, в которых построенная петрофизическая модель достоверна.

Оглавление

Введение.....	13
1. Сейсморазведка и геофизическое исследование скважин.....	15
1.1. Задачи и методы сейсморазведки.....	15
1.1.1. Понятие сейсморазведки и её задачи.....	15
1.1.2. Методы наземной сейсморазведки	16
1.1.3. Понятие сейсмического атрибута	17
1.2. Геофизические методы исследования скважин	18
1.2.1. Электрические методы ГИС	19
1.2.2. Радиоактивные методы ГИС	20
1.2.3. Акустические методы ГИС	21
1.3. Задача моделирования петрофизического параметра.....	22
1.3.1. Общая постановка задачи моделирования петрофизического параметра	22
1.3.2. Исследуемый метод моделирования петрофизического параметра	22
2. Оценка достоверности трехмерного геостатистического моделирования .	26
2.1. Общая постановка задачи оценки достоверности трехмерного геостатистического моделирования	26
2.2. Существующие методы решения.....	26
2.2.1. Оценка ошибки метода Крайгинга.....	27
2.2.2. Количественные методы	29
2.2.3. Недостатки рассмотренных методов	31
2.3. Предлагаемый метод решения.....	32
2.3.1. Описание метода.....	32
2.3.2. Экспериментальное исследование метода на модельных данных ..	36
3. Алгоритм решения задачи.....	43
3.1. Описание алгоритма	43

3.2.	Описание программной реализации	44
3.3.	Тестирование программной реализации на реальных данных	45
4.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	48
4.1	Оценка коммерческого и инновационного потенциала научных исследований	48
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследований.....	48
4.1.2	Анализ конкурентных технических решений.....	49
4.1.3	SWOT – анализ.....	50
4.2	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	51
4.3	Планирование научно-исследовательских работ	52
4.3.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	52
4.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	53
4.3.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	53
4.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	55
4.4.1	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ....	55
4.4.2	Основная заработная плата исполнителей темы	56
4.4.3	Дополнительная заработная плата	56
4.4.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	57
4.4.5	Накладные расходы	58
4.4.6	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	58
4.5	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	59
5.	Социальная ответственность	62
	Введение.....	62
5.1	Производственная безопасность	62
5.1.1	Анализ выявленных вредных факторов	64

5.1.2	Анализ выявленных опасных факторов	67
5.2	Экологическая безопасность	68
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	68
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	69
	Выводы по разделу «Социальная ответственность»	70
	Заключение	71
	Список используемых источников	72
	Список публикаций	75
	Приложение 1	76

Введение

В настоящее время широкое применение в различных отраслях находит математическое моделирование – исследование какого-либо объекта или системы объектов путем построения и изучения их математических моделей. Современные компьютерные технологии помогают воссоздать объекты и эксперименты в цифровом виде с высокой точностью. Это позволяет избежать расходов на проведение дорогостоящих экспериментов на реальных физических объектах.

Геостатистическое моделирование, являющееся разновидностью математического моделирования, включает в себя методы оценки и прогнозирования пространственно-распределенных данных. К ним можно отнести данные сейсмической разведки и данные геофизических исследований скважин (ГИС):

- сейморазведка представляет собой исследование геологического строения земной коры, которое основано на изучении распространения в ней упругих волн [1];
- при геофизических исследованиях скважин изучаются электрические, магнитные, нейтронные, упругие, радиоактивные и другие физические свойства горных пород и полезных ископаемых в околоскважинном и межскважинном пространствах [2].

Одной из задач, решаемой с использованием геостатистического моделирования, является задача построения объемных петрофизических моделей, играющих важную роль на этапах проектирования и бурения скважин. Под объемной петрофизической моделью понимают распределение петрофизических параметров в некотором трехмерном пространстве. Данные параметры характеризуют главные структурно-вещественные комплексы изучаемого геологического объекта. К ним относят пористость, проницаемость,

газонефтеводонасыщенность и ее распределение, электропроводность горных пород и т.д. [3].

Существуют различные способы построения петрофизических моделей. В данной работе рассматривается метод, являющийся модификацией Крайгинга – интерполяционного геостатистического метода, основанного на минимизации дисперсии ошибки измерения [4]. В качестве исходных данных используются сейсмические атрибуты, несущие информацию о моделируемом (прогнозируемом) параметре геофизических исследований скважин (ГИС), и сам параметр. Не решенным вопросом данного метода является оценка достоверности полученного результата. Неизвестными также являются факторы, влияющие на достоверность.

Целью работы является поиск и исследование факторов, влияющих на достоверность петрофизической модели, а также разработка метода количественной оценки этих факторов.

Объектом исследования является геологическая среда. *Предмет исследования* – трехмерная модель данных параметра геологической среды.

1. Сейсморазведка и геофизическое исследование скважин

1.1. Задачи и методы сейсморазведки

1.1.1. Понятие сейсморазведки и её задачи

Сейсморазведка основана на изучении особенностей распространения упругих колебаний в земной коре. Упругие колебания (или сейсмические волны) вызываются искусственным путем, их исследование позволяет выявлять находящиеся под землей залежи полезных ископаемых (углеводородов, руд, воды и т.д.) и получать геологическую информацию в инженерных целях [5].

При использовании в сочетании с другими геофизическими, скважинными и геологическими данными материалы сейсморазведки дают информацию о структуре и распространении пород различных типов.

Основной методики сейсморазведочных работ является измерение времени пробега возбужденных сейсмических волн от источника до расстановки сейсмоприемников, которые обычно располагаются вдоль прямой линии, направленной на источник.

Для возбуждения сейсмических волн ранее использовали взрывы в вертикальных скважинах глубиной 10-50 м, сейчас чаще используют вибраторы или преобразователи взрывной энергии [6].

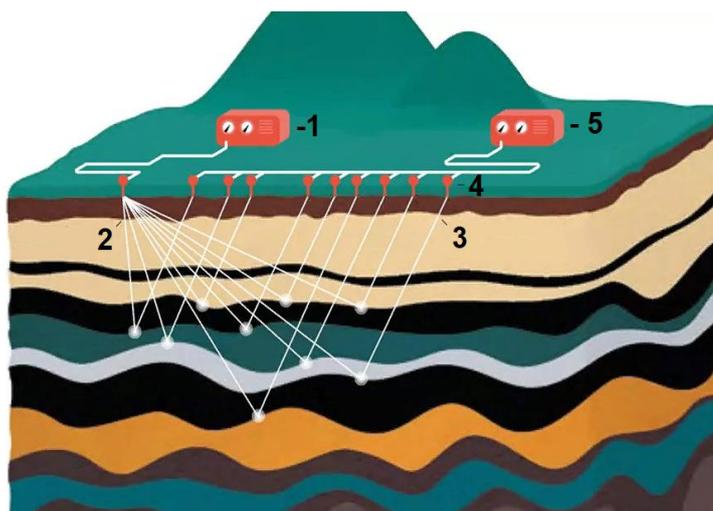


Рисунок 1 – Схема сейсморазведочных работ методом отраженных волн: 1 – передающая система, 2 – сейсмическая волна, 3 – отраженная сейсмическая волна; 4 – сейсмоприёмники; 5 приемная система.

Сейсморазведка превосходит над другими геофизическими методами ввиду множества различных факторов, наиболее важными из которых являются: высокая разрешающая способность и большая глубина проникновения, высокая точность, которые достигаются этим методом [5].

1.1.2. Методы наземной сейсморазведки

Существуют различные классификации методов сейсморазведки, наиболее популярная – по типу используемых полезных волн. Эта классификация выделяет три метода, первые два из них являются основными методами сейсморазведки:

1. *Метод отраженных волн (МОВ)* – наиболее эффективный и развитый метод сейсморазведки, позволяет изучить геологический разрез с детальностью до 0,5 % от глубины залегания границы.

Метод основан на регистрации волн, однократно-отраженных от геологических границ, на которых заметно меняется волновое сопротивление соседних толщ (литологические и тектонические поверхности разделов геологических сред). После регистрации упругих волн изучают их кинематические и динамические характеристики.

МОВ используется в сочетании с методикой многократных перекрытий, обеспечивающей получение избыточной информации, которая суммируется по признаку общей средней (глубинной) точки (ОСТ или ОГТ). Метод ОГТ значительно расширяет возможности МОВ и применяется в большинстве сейсморазведочных работ.

Основные достоинства метода глубинной точки заключаются в том, что в процессе получения временных разрезов будут существенно ослаблены как регулярные, так и нерегулярные волны-помехи [7].

2. *Метод преломленных волн (МПВ)*. В данном методе обычно регистрируются и анализируются головные, рефрагированные и преломленно-рефрагированные волны. Достоинства: большой диапазон для исследования

глубин, возможность определения граничной скорости в слоях, малая зависимость от помех со стороны кратно отраженных и поверхностных волн. Недостатки: меньшая детальность и низкая точность изучения малоамплитудных поднятий по сравнению с МОВ.

3. *Вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП)* – разновидность 2D-сейсморазведки, при проведении которой пункты взрыва располагаются на поверхности, а в скважине располагаются высокочувствительные приёмники сейсмических волн, как прямых, так и отраженных. Сейсмоприёмники связаны каротажным кабелем с наземной сеймостанцией. Данные отражаются в виде временных сейсмических трасс на определённой глубине [8].

1.1.3. Понятие сейсмического атрибута

Под сейсмическими атрибутами понимают, как конкретные измерения геометрических, кинематических и динамических характеристик волнового поля, так и различные статистические оценки, полученные с помощью сейсмических данных, то есть некоторые производные от сейсмических данных [9].

Основой для определения атрибутов является детальный анализ сейсмических изображений – разрезов, кубов данных, сейсмических поверхностей (карт), а также исходных данных для получения изображений – сейсмограмм [10].

Существует три основных способа использования сейсмических атрибутов.

1. Экстраполяция и интерполяция в областях с низкой плотностью скважинных измерений фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пород на основе гораздо более плотных сейсмических наблюдений. Инструменты прогноза включают в себя технологии многомерной статистики, геостатистики и нейронных сетей.

2. Использование сейсмических атрибутов для реконструкции тектонической, аккумулятивной и диагенетической истории резервуара, что позволяет сделать вывод о закономерностях изменений литологии и ФЕС.

3. Применение атрибутов для решения сейсмических задач корреляции горизонтов, трассирования нарушений [9].

1.2. Геофизические методы исследования скважин

Геофизическими исследованиями скважин (ГИС) называется совокупность физических методов, предназначенных для изучения горных пород в околоскважинном и межскважинном пространствах. К ним относят также изучение технического состояния скважин, опробование пластов и отбор проб из стенок скважин, перфорацию и др.

Методы геофизических исследований скважин можно условно подразделить на две группы – методы каротажа и методы скважинной геофизики:

- к первой группе относятся геофизические исследования, предназначенные для изучения горных пород, примыкающих к стволу скважины;
- ко второй группе относятся методы ГИС, служащие для изучения межскважинного пространства [11].

Применение методов ГИС обеспечивает литологическое расчленение геологического разреза, определение глубины залегания продуктивных горизонтов, оценку их коллекторских свойств, включая пористость, проницаемость, нефтегазонасыщенность.

Методы ГИС успешно применяются для оптимизации процесса бурения и прогнозирования геологического разреза, контроля испытания пластов в необсаженных и обсаженных скважинах, контроля разработки месторождений нефти и газа [12].

1.2.1. Электрические методы ГИС

Электрические методы ГИС базируются на измерении искусственно созданного электромагнитного пластов грунта или электрического поля, которое возникает естественным путем, либо создается искусственно. Естественные электрические поля возникают в земной коре вследствие электрохимических процессов и других природных явлений. Искусственные создаются с помощью генераторов постоянного или переменного тока различной мощности.

Электрический каротаж является базовым способом анализа литологических показателей грунта, в котором находится шахта скважины. Каротаж помогает контролировать её техническое состояние, определять наличие нефтяных и рудных ресурсов и выяснения их параметров. Данный вид каротажа основан на технологии определения различий электрических характеристик горных пород.

Для электрических методов ГИС используются специальные измерительные зонды, опускающиеся в шахту скважины и производящие замеры электрического поля. В зависимости от технологических особенностей применяемых зондов различают: электрически нефокусированный каротаж, и фокусированный каротаж.

Основной задачей анализа электрически нефокусированного каротажа является поиск совпадений между стандартизированными параметрами грунта скважины и величиной тока, которую они излучают. После изучения электрических свойств породы скважины применяются методы математического и физического моделирования, позволяющие прогнозировать характеристики будущей нефтедобывающей скважины.

Фокусированные зонды обладают направленной фокусировкой посылаемого тока, что позволяет получать более точные показатели замеров (без влияния на них свойств используемой промывочной жидкости, и осадков на стенах нефтяной скважины). Фокусированный каротаж также называется

боковым каротажем. Диаграммы, полученные в результате бокового каротажа, позволяют определить градус наклона пласта, азимут угла падения, выявить литологические свойства породы, и определить свойства пластов-коллекторов [13].

1.2.2. Радиоактивные методы ГИС

Радиоактивные методы исследования считаются наиболее перспективным направлением, т.к. дают возможность выполнять исследования в ситуациях, в которых большинство других методов невозможно использовать.

Методами радиоактивного ГИС можно выявить некоторые свойства породы:

- плотность;
- зольность углей;
- пористость;
- содержание водорода в грунте.

Радиоактивный каротаж нефтяных скважин делится на следующие способы анализа:

1. Гамма-каротаж (ГК). Данным способом можно замерить естественное, природное γ -излучение породы вдоль ствола скважины. Используемый зонд оборудован детектором для снятия величины гамма-излучения. После спуска зонда на достаточную глубину внутрь скважины, он начинает ловить волны гама-квантов, которые преобразовываются в электрический импульс и передаются по кабелю на считывающее оборудование.

Главной особенностью гамма-каротажа является возможность выполнения анализа в закрытых стволах нефтяных скважин (внутри обсадной трубы), где невозможно использовать электрический каротаж. ГК является оптимальным способом для выяснения глинистости грунта.

2. Гамма-гамма каротаж (ГГК). Применяется для анализа искусственной радиоактивности породы. Перед использованием специального

каротажного зонда, скважину предварительно облучают гамма-волнами, после чего происходит регистрация ответных волн. Такой способ дает возможность зарегистрировать те виды излучения, которые не проявились бы без придания породе искусственной радиоактивности.

3. Нейтронный каротаж. Способ нейтронного каротажа также базируется на искусственном облучении грунта. Облучение выполняется нейтронными волнами, которые не существуют в природе в естественном виде.

Используемый зонд состоит не только из детектора для снятия показателей, но и из источника нейтронного излучения. Ответная реакция породы на облучение может иметь два варианта: производство гамма-волн, либо первичного нейтронного потока. На основе полученных показателей строятся диаграммы, помогающие составить картину о том, каким ресурсами обладает исследуемый горизонт, т.к. для разных видов полезных ископаемых характерны разные виды ответного излучения [13].

1.2.3. Акустические методы ГИС

Акустический каротаж (АК) анализирует время, требующееся звуковому импульсу (упругим колебаниям) для прохождения грунта в околоскважинном пространстве. Так как каждая порода обладает своей плотностью, и, как следствие этого, разным сопротивлением, данный способ дает возможность определить характеристики слоев грунта, в которых расположены нефтяные скважины.

АК используется для получения информации о техническом состоянии скважины, и для поиска месторождений ресурсов. Данный каротаж использует оборудование двух диапазонов частот: ультразвуковой (20-250 кГц) и звуковой (0.5-15 кГц). Для проведения исследований требуется два устройства – измерительная аппаратура и глубинный датчик, укомплектованный излучателем ультразвуковых волн и приемником, имеющие свойство преобразовывать механическую энергию волн на частоте 20-50 кГц в электрический импульс [13].

1.3. Задача моделирования петрофизического параметра

1.3.1. Общая постановка задачи моделирования петрофизического параметра

Имеется сейсмический атрибут $S(x, y, h)$, $h = \overline{h_0, h_{\max}}$, h_0 – соответствующая глубина первого отсчета сейсмических трасс, h_{\max} – соответствующая глубина последнего отсчета сейсмических трасс.

Также имеются измерения параметра ГИС $f_i(x_i, y_i, h)$ вдоль стволов скважин, $i = \overline{1, N}$, N – число скважин; $h = \overline{h_0, h_{\max}}$, h_0 – соответствующая глубина первого измерения, h_{\max} – соответствующая глубина последнего измерения.

Необходимо осуществить оценку параметра ГИС $F(x, y, h)$ в каждой точке, в которой сейсмический атрибут $S(x, y, h)$ известен.

1.3.2. Исследуемый метод моделирования петрофизического параметра

В качестве метода моделирования для построения модели петрофизического параметра использована модификация метода Крайгинга. Данный метод, основан на геостатистическом подходе и в своей основе использует два уравнения Крайгинга:

$$\hat{F}(x_0, y_0, h) = \sum_{i=1}^N v_i(x, y, h) f_i(h), \quad (1)$$

$$\hat{S}(x_0, y_0, h) = \sum_{i=1}^N w_i(x, y, h) s_i(h), \quad (2)$$

где $\hat{F}(x_0, y_0, h)$ – значение параметра ГИС в точке прогноза с координатами (x_0, y_0, h) ; $f_i(h)$ – значения параметра ГИС, измеренные в стволе i -ой скважины; N – количество скважин; $v_i(x, y, h)$ – весовая функция (ВФ) i -ой скважины; $\hat{S}(x, y, h)$ – значение сейсмического атрибута в точке прогноза;

$s_i(h) = S(x_i, y_i, h)$ – значение сейсмического атрибута вблизи i -ой скважины;
 $w_i(x, y, h)$ – ВФ сейсмических данных вблизи i -ой скважины.

Для несмещенности оценок (1) и (2) при фиксированных аргументах x, y и h необходимо удовлетворение следующих условий [4]:

$$\sum_{i=1}^N v_i(x, y, t) = 1, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N w_i(x, y, t) = 1. \quad (4)$$

Предполагается, что данные сейсмического атрибута и параметра ГИС имеют схожие ковариационные свойства, так как измерены в пределах одного геологического объекта. С учетом этого, весовые функции $w_i(x, y, h)$, вычисляемые в соответствии с выражением (2), принимаются схожими с функциями $v_i(x, y, h)$. Тогда выражение (1) эквивалентно следующему:

$$\hat{F}(x_0, y_0, h) = \sum_{i=1}^K w_i(x, y, h) f_i(h). \quad (5)$$

Подбор весовых функций $w_i(x, y, h)$ определяется минимизацией ошибки:

$$E \left[\left(F(x, y, h) - \hat{F}(x, y, h) \right)^2 \right] \rightarrow \min. \quad (6)$$

Или с учетом (5):

$$D \left[F(x, y, h) - \sum_{i=1}^N w_i(x, y, h) \cdot f_i(h) \right] \rightarrow \min. \quad (7)$$

Для осуществления минимизации выражение (7) преобразуется (с учетом, что оценка (5) является несмещенной) и дифференцируется по всем весовым функциям $w_i(h)$. Для учета условий (3) и (4) был добавлен весовой коэффициент $\alpha(h)$ (множитель Лагранжа) методом неопределенных множителей Лагранжа. В результате получается линейная система из $N+1$ уравнений с $N+1$ неизвестными (8) [14]:

$$C(h) \cdot W(h) = C^0(h), \quad (8)$$

$$C(h) = \begin{pmatrix} c_{11}(h) & c_{12}(h) & \cdots & c_{1N}(h) & 1 \\ c_{21}(h) & c_{22}(h) & \cdots & c_{2N}(h) & 1 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ c_{N1}(h) & c_{N2}(h) & \cdots & c_{NN}(h) & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{pmatrix}, W(h) = \begin{pmatrix} w_1(h) \\ w_2(h) \\ \vdots \\ w_N(h) \\ \alpha(h) \end{pmatrix}, C^0(h) = \begin{pmatrix} c_1^0(h) \\ c_2^0(h) \\ \vdots \\ c_N^0(h) \\ 1 \end{pmatrix},$$

где $C(h)$ – матрица ковариации параметра ГИС $f_i(h)$ в точках скважин; $W(h)$ – матрица весовых функций; $C^0(h)$ – матрица ковариации между значением параметра ГИС $f_i(h)$ в точках скважин и его точным значением $F(x_0, y_0, h)$ в точке расчета ВФ (x_0, y_0) .

Для исключения возможности получения физически нереального результата, было введено дополнительное ограничение на значения весовых коэффициентов:

$$0 \leq w_i^0, i = \overline{1, N}. \quad (9)$$

Метод прогнозирования петрофизического параметра, описанный в [14], основан на предположении, что при неизвестном значении $F(x_0, y_0, h)$ (т.е. $C^0(h)$ вычислить невозможно), весовые функции для выражения (1) можно вычислить решив систему уравнений следующего вида:

$$C^S(h) \cdot W^S(h) = C^{S^0}(h), \quad (10)$$

$$\|W^S(h) - W(h)\| = 0, \quad (11)$$

где $C^S(h)$, $W^S(h)$ и $C^{S^0}(h)$ – матрицы, рассчитанные по аналогии с системой (8), но использующие данные о сейсмическом атрибуте.

Выражение (11) является верным при выполнении следующих условий:

— между $s_i(h)$ и $f_i(h)$ существует значимая и однозначная статистическая взаимосвязь, при которой изменения ковариационных

свойств поля $S(x, y, h)$ несут в себе информацию об изменениях ковариационных свойств $F(x, y, h)$;

— коэффициенты $C^S(h)$ образуют полную группу (максимально подробно описывают ковариационные свойства $S(x, y, h)$), т.е. выборка $s_i(h)$ является репрезентативной.

Репрезентативным множеством данных будем называть такое множество минимального объема, по которому можно с заданной точностью восстановить параметры среды в любой точке их линейной комбинацией (1).

При не выполнении хотя бы одного из условий оценка $\hat{F}(x_0, y_0, h)$ является приближенной, тогда выражение (11) принимает следующий вид:

$$\|W^S(h) - W(h)\| = \varepsilon, \quad (12)$$

$$\hat{F}(x_0, y_0, h) \approx F(x_0, y_0, h). \quad (13)$$

В данной работе моделирование ведется в предположении о том, что первое условие выполнено и в качестве сейсмического атрибута для решения системы (10) выбран наиболее информативный. То есть такой атрибут, при котором значение ε в выражении (12) – минимально. В этом случае системы (8) и (10) принимаются за эквивалентные, т.е. полученные при их решении весовые функции равны. Тогда на достоверность оценки $\hat{F}(x_0, y_0, h)$ и на достоверность моделирования в целом влияет только репрезентативность скважинной выборки.

2. Оценка достоверности трехмерного геостатистического моделирования

2.1. Общая постановка задачи оценки достоверности трехмерного геостатистического моделирования

Имеется трёхмерная модель геологического параметра $S(x, y, h)$, рассчитанная в соответствии с методикой, изложенной выше. Пусть также $s_i = S(x_i, y_i, h)$ – это выборка трасс параметра в точках скважин, $i = \overline{1, N}$, N – число скважин, а $\hat{S}(x_0, y_0, h)$ – трасса параметра в точке прогноза с координатами (x_0, y_0) , $h = \overline{h_0, h_{\max}}$, h_0 – соответствующая глубина первого измерения, h_{\max} – соответствующая глубина последнего измерения.

Необходимо осуществить оценку достоверности прогноза $\hat{S}(x_0, y_0, h)$.

2.2. Существующие методы решения

Так как в данной работе оценивается достоверность геостатистического моделирования, имеет смысл рассмотреть способы оценки достоверности наиболее часто применимого метода геостатистики – кригинга или, по-другому, метода Крайгинга. Кригинг – детерминированный интерполяционный метод, основанный на минимизации среднеквадратического отклонения реализаций.

Существует несколько разновидностей кригинга: простой, обычный, универсальный, логнормальный. Интерполяторы семейства кригинга представляют собой различные вариации базового линейного регрессионного оценителя $Z^*(x_0)$, определяемого следующим образом:

$$Z^*(x_0) - m(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(x_0) [Z(x_i) - m(x_i)], \quad (14)$$

где $\lambda_i(x)$ — весовые коэффициенты, относящиеся к данным $z(x_i)$. Значения $z(x_i)$ интерпретируются как реализации случайной переменной $Z(x_i)$. Величины $m(x)$ и $m(x_i)$ являются средними случайных переменных $Z(x)$ и $Z(x_i)$. Число данных,

использующихся при оценке, и значения весовых коэффициентов могут меняться в зависимости от местоположения оцениваемой точки x .

Все методы семейства кригинга используют одну и ту же целевую функцию для минимизации, а именно вариацию ошибки оценки $\sigma_E^2(x_0)$ при дополнительном условии несмещенности оценки, иными словами, вариация

$$\sigma_E^2(x_0) = \text{Var}\{Z^*(x_0) - Z(x_0)\} \quad (15)$$

минимизируется при ограничении [15]

$$E\{Z^*(x_0) - Z(x_0)\} = 0. \quad (16)$$

Важное свойство кригинга — точное воспроизведение значений измерений в имеющихся точках (точный оценщик). В отличие от многочисленных детерминистических методов, оценка кригинга сопровождается оценкой ошибки интерполяции в каждой точке. Полученная ошибка позволяет охарактеризовать неопределенность полученной оценки данных при помощи доверительных интервалов или «толстых» изолиний [15].

2.2.1. Оценка ошибки метода Крайгинга

Модели кригинга позволяют получить оценки локального среднего (оценка кригинга) и локальной вариации (вариация кригинга). После того, как весовые коэффициенты, минимизирующие вариацию относительно кригинга, найдены, с их помощью можно рассчитать эту вариацию. Для этого можно использовать следующее выражение [16]:

$$\text{Var}[Z^*(x_0) - Z(x_0)] = \text{Var}[Y^*(x_0) - Y(x_0)] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j C_{ij} - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i C_{i0} + C_{00}, \quad (17)$$

где $C_{ij} = \text{Cov}[Y(x_i), Y(x_j)]$, $C_{i0} = \text{Cov}[Y(x_i), Y(x_0)]$, $C_{00} = \text{Cov}[Y(x_0), Y(x_0)]$.

Полученную вариацию кригинга можно использовать для описания неопределенности оценки. Если принять гипотезу о мультиформальности случайных переменных, то 95%-ные доверительные интервалы, в которых лежит истинное значение функции $Z(x_0)$, будут определяться как:

$$Z(x_0) \in Z^*(x_0) \pm 2\sigma, \quad (18)$$

где σ — стандартное отклонение, полученное из вариации кригинга.

Доверительный интервал – интервал значений вокруг наиболее вероятного значения, попадание в который лимитируется определенным процентом.

Если не предполагать мультинормальности, то размер 95%-ного доверительного интервала увеличивается до 6σ (отсутствие знания увеличивает неопределенность). Это следствие из неравенства Высочанского-Петунина, в котором предполагается, что распределение ошибки является непрерывным и унимодальным.

Неравенство Высочанского-Петунина формулируется следующим образом: если X – случайная переменная с плотностью распределения f , неубывающей до моды ν , а потом невозрастающей, и если α – ожидаемое стандартное отклонение от произвольного значения, то

$$P(|X - \alpha| \geq td) \leq \begin{cases} \frac{4}{9t^2}, \forall t \leq \sqrt{\frac{8}{3}}, \\ \frac{4}{3t^2} - \frac{1}{3}, \forall t > \sqrt{\frac{8}{3}}. \end{cases} \quad (19)$$

Если X – ошибка кригинга и $\alpha = 0$, то $d^2 = \sigma^2$ и $P(|Z^* - Z| \geq 2\sigma) \leq \frac{1}{9}$.

При сформулированных предположениях доверительный интервал является приблизительно 90%-ным. Чтобы получить 95%-ный интервал, требуется положить $t = 3$.

В любом случае при использовании моделей кригинга в каждой точке оценивания определены три величины: оценка и две границы доверительного интервала. Это позволяет провести изолинии для всех трех величин. Изолиния оценки будет с заданной вероятностью лежать между контурами доверительных интервалов, образуя «коридор». Его ширина характеризует неопределенность изолинии оценки. Эта так называемая «толстая» изолиния содержит в себе с определенной вероятностью изолинию

действительного распределения, истинное положение которой в точности неизвестно [15].

2.2.2. Количественные методы

Анализировать действенность интерполяционного метода можно путем проведения валидации, т.е. сравнения оценочных значений с действительными значениями в соответствующих точках. Проблема заключается в том, что в большинстве случаев геостатистики в наличии нет данных для проведения независимой валидации, в распоряжении имеются только данные, на основании которых строилась модель. Для проверки качества модели, используя только имеющиеся данные, можно с помощью количественных методов: *кросс-валидацию (перекрестная проверка, cross-validation)*, *метод складного ножа (jack-knife)*, *бутстреп (bootstrap)*.

Все перечисленные методы основаны на вычислении оценки для части точек измерений, выбранных из основного набора, по оставшимся данным с последующим вычислением ошибки оценки. После оценок по всем точкам, наборам или выборкам оценивается среднеквадратичная ошибка полученных оценок. По ней сравниваются различные методы или выбираются наилучшие параметры метода. В геостатистике более широко используется кросс-валидация.

Кросс-валидация — наиболее простой и часто используемый подход при сравнении результатов, получаемых различными методами или одним и тем же методом, но с различными параметрами. Выполняется кросс-валидация следующим образом:

- из базы данных временно изымается одна точка, и для нее проводится оценка значения;
- полученное значение оценки $Z^*(x)$ сравнивается с истинным (известным) значением оцениваемой функции $Z(x)$, и вычисляется *невязка* — разница между измеренными и оцененными значениями:

$$\Delta Z(x) = Z(x) - Z^*(x); \quad (20)$$

- первые два шага проводятся для всех точек базы данных.

Полученные невязки $\Delta Z(x)$ могут быть графически представлены в виде карты (карты невязок), по которой можно посмотреть, в каких зонах метод срабатывает лучше, а в каких хуже. Вместо невязок можно визуализировать *относительные ошибки*:

$$\delta_i(x) = \frac{Z(x_i) - Z^*(x_i)}{Z(x_i)}. \quad (21)$$

Полезно также представить результаты кросс-валидации в виде графика $Y(Z(x)) = Z^*(x)$ или аналогичного ему — $Y(Z(x)) = \Delta(x)$. Проведение на таком графике биссектрисы (или соответственно прямой $Y = 0$), соответствующей равенству оценки и исходного значения, позволяет видеть характер отклонения: большее отклонение для высоких или для низких значений Z , какие-либо тренды в поведении оценки и т. п. Вместе с тем на графиках невязок можно проследить эффект сглаживания — область низких значений в среднем переоценивается, а область высоких значений недооценивается.

Кроме локальных характеристик кросс-валидация позволяет оценить и глобальные характеристики оценки для сравнения:

1. Смещение $\Delta m = m - m^*$, где m — среднее, оцененное по исходным данным; m^* — среднее, оцененное по полученным результатам.

2. Сумму квадратов невязок:

$$S = \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z^*(x_i)]^2 + R, \quad (22)$$

где R — штрафной член, вводящийся для контроля количества не оцененных точек.

3. Среднюю квадратичную ошибку (root mean square error — RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z^*(x_i)]^2}. \quad (23)$$

4. Коэффициент эффективности:

$$E = \frac{S}{S_0}, \text{ где } S_0 = \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - m]^2. \quad (24)$$

5. Коэффициент корреляции ρ , угол наклона регрессионной прямой на графике $Y(Z(x)) = Z^*(x)$.

Метод складного ножа (jack-knife) является общим случаем кросс-валидации, когда оценивание дисперсии и смещения оценщика проводится не в одной, а в нескольких точках измерений, данные о которых предварительно изымаются из рассмотрения. Полученные в результате невязки анализируются методом, аналогичным описанному выше. Поскольку при данном методе изымается произвольный набор данных, комбинации этого набора могут варьироваться, что делает этот метод стохастическим.

Бутстреп (bootstrap) состоит в оценке на основе случайных выборок из набора данных. Выборки делаются из исходного набора случайным образом. Выбранная точка не изымается, она может попасть в выборку несколько раз. Оценка проводится по оставшимся не выбранными точкам. Обычно процедура выборки и оценки повторяется много раз [15].

2.2.3. Недостатки рассмотренных методов

Оценить отклонение результата моделирования от реальных данных можно рассчитав вариацию разности этих значений после вычисления весовых коэффициентов. Отобразить полученный доверительный интервал можно с помощью изолиний. Недостаток в том, что нужно проводить дополнительные расчеты помимо решения систем уравнений. Если не делать предположение о мультинормальности, то размер доверительного интервала увеличивается, «коридор» для изолиний расширяется, что делает оценку достоверности полученного результата более «размытой».

Цель приведенных количественных методов, таких как кросс-валидация, заключается в том, чтобы оценить ожидаемый уровень соответствия модели

данным, независимым от тех данных, на которых модель тренировалась. Иногда улучшение модели по результатам кросс-валидации может привести к реальному ухудшению оценки на валидационных данных. Так как в большинстве случаев в наличии в качестве выборки имеется лишь небольшое количество скважинных данных, при исключении какой-либо ее части из рассмотрения, могут возникнуть проблемы, например, оставшаяся выборка может оказаться не репрезентативной.

2.3. Предлагаемый метод решения

2.3.1. Описание метода

В соответствии с методом построения петрофизической модели, неизвестное значение геологического параметра может быть представлено в виде взвешенной суммы его известных значений, измеренных в точках скважин (25):

$$\hat{S}(x_0, y_0, h) = \sum_{i=1}^N w_i(x, y, h) s_i(h), \quad (25)$$

где $\hat{S}(x_0, y_0, h)$ – оценка значения геологического параметра в точке прогноза с координатами (x_0, y_0, h) ; $s_i(h) = S(x_i, y_i, h)$ – значение параметра вблизи i -ой скважины; $w_i(x, y, h)$ – весовые функции параметра вблизи i -ой скважины, $i = \overline{1, N}$; N – количество скважин;

В свою очередь, весовые функции для выражения (25) можно рассчитать путем решения системы следующего вида [14]:

$$C(h) \cdot W(h) = C^0(h), \quad (26)$$

$$C(h) = \begin{pmatrix} c_{11}(h) & c_{12}(h) & \cdots & c_{1N}(h) & 1 \\ c_{21}(h) & c_{22}(h) & \cdots & c_{2N}(h) & 1 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ c_{N1}(h) & c_{N2}(h) & \cdots & c_{NN}(h) & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{pmatrix}, W(h) = \begin{pmatrix} w_1(h) \\ w_2(h) \\ \vdots \\ w_N(h) \\ \lambda(h) \end{pmatrix}, C^0(h) = \begin{pmatrix} c_1^0(h) \\ c_2^0(h) \\ \vdots \\ c_N^0(h) \\ 1 \end{pmatrix},$$

где $C(h)$ – матрица ковариации между значениями параметра $s_i(h)$ вблизи i -ой скважины и $s_i(h)$; $W(h)$ – матрица весовых функций; $C^0(h)$ – матрица ковариации между $s_i(h)$ и точным значением параметра $S(x_0, y_0, h)$ в точке (x_0, y_0, h) .

Чтобы определить возможность восстановления значения параметра с помощью уравнения (25), в систему уравнений (26) в качестве точного (известного) значения параметра $S(x_0, y_0, h)$ была введена модель (25) этого параметра.

$$S(x_0, y_0, h) = \sum_{j=1}^M \hat{w}_j(x, y, h) s_j(h), \quad \sum_{j=1}^M \hat{w}_j(x, y, h) = 1, \quad (27)$$

где $S(x_0, y_0, h)$ – точное значение геологического параметра в точке прогноза с координатами (x_0, y_0, h) ; $s_j(h) = S(x_j, y_j, h)$ – значение параметра вблизи j -ой скважины; M – количество скважин; $\hat{w}_j(x, y, h)$ – весовые функции параметра вблизи j -ой скважины, $j = \overline{1, M}$.

Правая часть системы уравнений (26) $C^0(h)$ представлена в виде матрицы ковариации значений геологического параметра $s_i(h)$ вблизи j -ой скважины и точного значения параметра $S(x_0, y_0, h)$ в точке (x_0, y_0, h) .

Ковариацию двух зависимых случайных величин X и Y можно вычислить по формуле (28) [17]:

$$\text{cov}(X, Y) = M(X \cdot Y) - M(X) \cdot M(Y), \quad (28)$$

где $M(X)$, $M(Y)$, $M(X \cdot Y)$ – математические ожидания случайных величин X , Y и их произведения соответственно.

Используя свойства математического ожидания и ковариации, $C^0(h)$ можно выразить следующим образом:

$$C^0(h) = \begin{pmatrix} \text{cov}(S(x_0, y_0, h), s_1(h)) \\ \text{cov}(S(x_0, y_0, h), s_2(h)) \\ \vdots \\ \text{cov}(S(x_0, y_0, h), s_N(h)) \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{w}_1 c_{11} + \hat{w}_2 c_{12} + \dots + \hat{w}_N c_{1N} + \dots + \hat{w}_M c_{1M} \\ \hat{w}_1 c_{21} + \hat{w}_2 c_{22} + \dots + \hat{w}_N c_{2N} + \dots + \hat{w}_M c_{2M} \\ \vdots \\ \hat{w}_1 c_{N1} + \hat{w}_2 c_{N2} + \dots + \hat{w}_N c_{NN} + \dots + \hat{w}_M c_{NM} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (29)$$

где $c_{ij} = c_{ij}(h)$ – элементы матрицы ковариации параметра $s_i(h)$ и $s_j(h)$; $i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}$; N – количество скважин из уравнения (25); M – количество скважин из уравнения (27);

Решая систему уравнений (26) методом Крамера, весовые функции $w_k(h), k = \overline{1, N}$, можно рассчитать как [18]:

$$w_k(h) = \frac{\Delta_{w_k(h)}}{\Delta} = \frac{1}{\Delta} \cdot \begin{vmatrix} c_{11}(h) & c_{12}(h) & \dots & c_1^0(h) & \dots & c_{1N}(h) & 1 \\ c_{21}(h) & c_{22}(h) & \dots & c_2^0(h) & \dots & c_{2N}(h) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & 1 \\ c_{N1}(h) & c_{N2}(h) & \dots & c_N^0(h) & \dots & c_{NN}(h) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 & 0 \end{vmatrix} = \quad (30)$$

$$= \frac{1}{\Delta} \cdot \begin{vmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & \hat{w}_1 c_{11} + \hat{w}_2 c_{12} + \dots + \hat{w}_k c_{1k} + \dots + \hat{w}_N c_{1N} + \dots + \hat{w}_M c_{1M} & \dots & c_{1N} & 1 \\ c_{21} & c_{22} & \dots & \hat{w}_1 c_{21} + \hat{w}_2 c_{22} + \dots + \hat{w}_k c_{2k} + \dots + \hat{w}_N c_{2N} + \dots + \hat{w}_M c_{2M} & \dots & c_{2N} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & 1 \\ c_{N1} & c_{N2} & \dots & \hat{w}_1 c_{N1} + \hat{w}_2 c_{N2} + \dots + \hat{w}_k c_{Nk} + \dots + \hat{w}_N c_{NN} + \dots + \hat{w}_M c_{NM} & \dots & c_{NN} & 1 \\ 1 & 1 & \dots & \hat{w}_1 + \hat{w}_2 + \dots + \hat{w}_k + \dots + \hat{w}_N + \dots + \hat{w}_M & \dots & 1 & 0 \end{vmatrix},$$

где $\Delta_{w_k(h)}$ – определитель матрицы, в которой k -й столбец матрицы $C(h)$ заменяется столбцом свободных членов $C^0(h)$; Δ – значение определителя матрицы системы. Также было использовано условие $\sum_{i=1}^M \hat{w}_i(x, y, h) = 1$.

Далее, воспользуемся следствием из свойства линейности определителя (Если к элементам некоторой строки (столбца) прибавить соответствующие элементы другой строки (столбца), умноженные на произвольный множитель, то величина определителя не изменится [17]), прибавим к k -му столбцу каждый i -й столбец, умноженный на $-\hat{w}_i, i = \overline{1, N}, i \neq k$.

Значение весовой функции примет вид:

$$\begin{aligned}
 w_k(h) &= \frac{1}{\Delta} \cdot \begin{vmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & \hat{w}_k c_{1k} + \dots + \hat{w}_{N+1} c_{1N+1} + \dots + \hat{w}_M c_{1M} & \cdots & c_{1N} & 1 \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & \hat{w}_k c_{2k} + \dots + \hat{w}_{N+1} c_{2N+1} + \dots + \hat{w}_M c_{2M} & \cdots & c_{2N} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & 1 \\ c_{N1} & c_{N2} & \cdots & \hat{w}_k c_{Nk} + \dots + \hat{w}_{N+1} c_{NN+1} + \dots + \hat{w}_M c_{NM} & \cdots & c_{NN} & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & \hat{w}_k + \dots + \hat{w}_{N+1} + \dots + \hat{w}_M & \cdots & 1 & 0 \end{vmatrix} = \\
 &= \hat{w}_k + \frac{1}{\Delta} \cdot \begin{vmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & \hat{w}_{N+1} c_{1N+1} + \dots + \hat{w}_M c_{1M} & \cdots & c_{1N} & 1 \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & \hat{w}_{N+1} c_{2N+1} + \dots + \hat{w}_M c_{2M} & \cdots & c_{2N} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & 1 \\ c_{N1} & c_{N2} & \cdots & \hat{w}_{N+1} c_{NN+1} + \dots + \hat{w}_M c_{NM} & \cdots & c_{NN} & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & \hat{w}_{N+1} + \dots + \hat{w}_M & \cdots & 1 & 0 \end{vmatrix}. \quad (31)
 \end{aligned}$$

Аналогично, множитель Лагранжа равен:

$$\lambda(h) = \frac{1}{\Delta} \cdot \begin{vmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1N} & \hat{w}_{N+1} c_{1N+1} + \dots + \hat{w}_M c_{1M} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2N} & \hat{w}_{N+1} c_{2N+1} + \dots + \hat{w}_M c_{2M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{N1} & c_{N2} & \cdots & c_{NN} & \hat{w}_{N+1} c_{NN+1} + \dots + \hat{w}_M c_{NM} \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & \hat{w}_{N+1} + \dots + \hat{w}_M \end{vmatrix}. \quad (32)$$

В случаях, когда $M < N$ (имеющаяся скважинная выборка превышает необходимый объем скважин) или $M = N$ (имеющаяся скважинная выборка является репрезентативной и описывает все существенные для данного исследования свойства генеральной совокупности), весовые функции равны:

$$w_k(h) = \hat{w}_k, \lambda(h) = 0.$$

То есть полученный весовые функции совпадают с весовыми функциями из введенной в точное значение параметра модели (27), а множитель Лагранжа равен нулю.

При $M > N$, объема имеющейся выборки скважинных данных не достаточно для полного описания параметра в точке прогноза, весовые функции и множитель Лагранжа равны:

$$w_k(h) = \hat{w}_k + d(w_k(h)), \lambda(h) \neq 0,$$

где $d(w_k(h))$ – неизвестная величина, не равная 0.

Весовые функции отличаются от весовых функций из уравнения (16) на некую неизвестную величину из-за отсутствия данных геологического параметра в недостающих в выборке скважинах. В свою очередь, множитель Лагранжа отличен от нуля, система не дала точного решения.

Исходя из аналитических вычислений, можно прийти к выводу, что с помощью множителя Лагранжа можно определить достоверность полученного результата. В случае, когда имеющаяся выборка является репрезентативной, как следствие, решение системы (26) абсолютно точное, множитель Лагранжа равен нулю, в обратном случае – он отличен от нуля. Таким образом, множитель Лагранжа может служить количественным критерием репрезентативности скважинных данных.

Из постановки задачи следует, что именно репрезентативность выборки влияет на достоверность исследуемого способа моделирования. Следовательно, с помощью множителя Лагранжа можно так же определить, является ли построенная модель достоверной.

Казалось бы, определять репрезентативность выборки данным способом имеет смысл только в случае, когда исходные данные представляют собой сейсмический куб. Иначе мы уже знаем объем и элементы скважинной выборки, по которым строилась модель петрофизического параметра. Но при введенном предположении о том, что модель построена по данным наиболее информативного атрибута (т.е. когда системы (8) и (10) эквивалентны), в качестве исходных данных для оценки репрезентативности выборки (т.е. для оценки достоверности модели) может быть использованы оба варианта: сейсмический куб или модель петрофизического параметра.

2.3.2. Экспериментальное исследование метода на модельных данных

Для подтверждения описанной выше гипотезы был проведен ряд экспериментов на модельных данных, представляющие собой трехмерную модель петрофизического параметра.

В качестве сигналов параметра ГИС в скважинах модели были сгенерированы функции (импульсы) Уолша. Выбор обусловлен ступенчатостью этих функций и схожестью с реальными сигналами параметра ГИС. Функциями Уолша называется семейство функций, образующих ортогональную систему, принимающих значения только +1 и -1 на всей области определения [19]. Данные функции можно сформировать с помощью матриц Адамара. Матрицей Адамара H_N порядка $N = 2^n$ называется квадратная матрица размера $N \times N$ с элементами ± 1 , такая, что

$$H_N \times H_N^T = N \cdot I, \quad (33)$$

где I – единичная матрица, T – знак транспонирования.

Нормированную матрицу Адамара порядка N можно построить рекурсивно [20]:

$$H_N = \begin{bmatrix} H_{N/2} & H_{N/2} \\ H_{N/2} & -H_{N/2} \end{bmatrix} \text{ при } H_1 = 1. \quad (34)$$

Функцией Уолша в данном случае является строка или столбец матрицы Адамара.

Сигналы в скважинах модели параметра ГИС генерировались вручную таким образом, чтобы они минимально коррелировали между собой, т.е. были линейно независимыми. Полученные три сигнала в скважинах образуют полную группу, то есть описывают все «уникальные» ситуации экспериментальной модели (рис. 2). Число отсчетов в трассе (сигнале): 101.

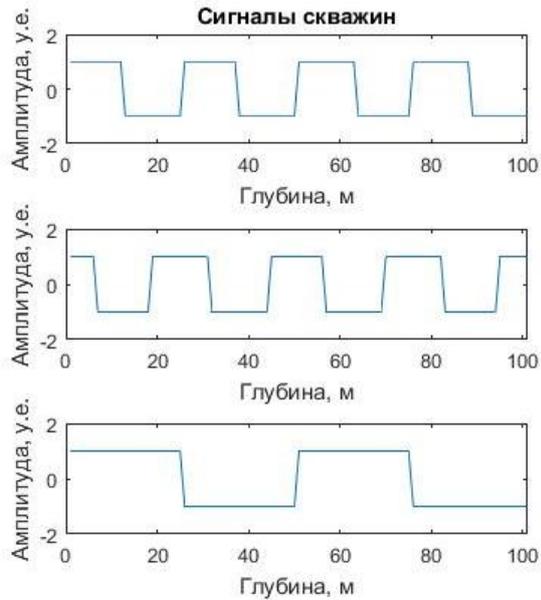


Рисунок 2 – Графики сигналов в скважинах модели параметра ГИС

Весовые функции для моделей также генерировались вручную, как функции от расстояния таким образом, что в точках скважин наблюдается максимальный вес, а во всех прочих он стремится к нулю по мере приближения к другим скважинам. Также на поверхности веса «первой» скважины был добавлен небольшой выступ (максимальное значение не превышает 0.7). Это было сделано для обеспечения более сложного распределения веса и схожести с реальными данными. На рисунке 3 представлены графики поверхности веса «первой» скважины с разных ракурсов.

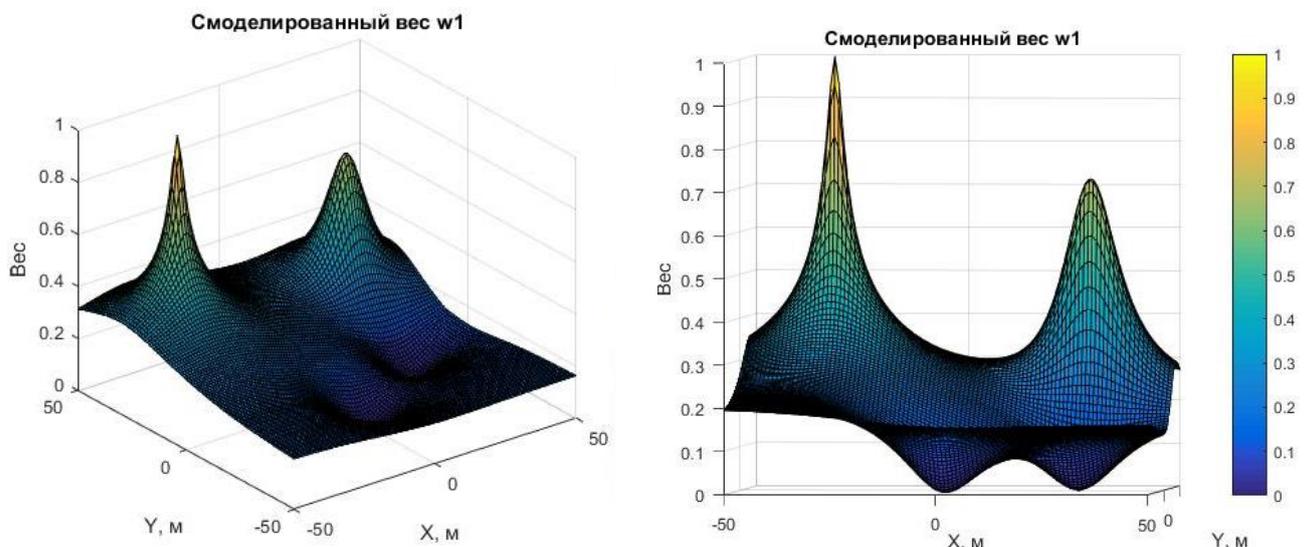


Рис. 3.1

Рис. 3.2

Рисунок 3 – Модель поверхности веса w_1 скважины 1

Веса двух других скважин представлены на рисунках 4 и 5.

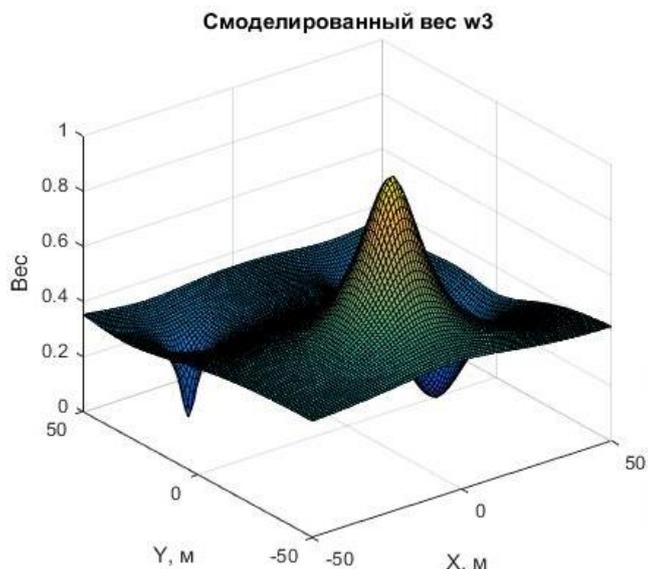
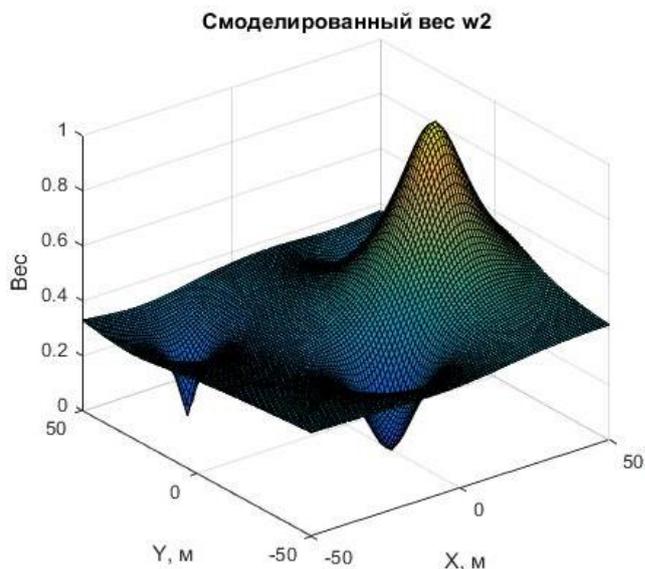


Рисунок 4 – Модель поверхности веса w_2 скважины 2

Рисунок 5 – Модель поверхности веса w_3 скважины 3

Каждая трасса модели была рассчитана как взвешенная сумма четырех импульсов (сигналов) в соответствии с выражением (1). Общее количество трас: 10201.

На экспериментальной модели было проведено два эксперимента. В первом эксперименте скважинная выборка состояла из трех сгенерированных сигналов в скважинах. Далее были составлены системы уравнений, вычислены весовые функции и множитель Лагранжа полученной модели в соответствии с выражением (8).

В результате, полученные весовые функции полностью совпали с смоделированными. В качестве примера на рисунке 6 приведен график поверхности «первой» скважины.

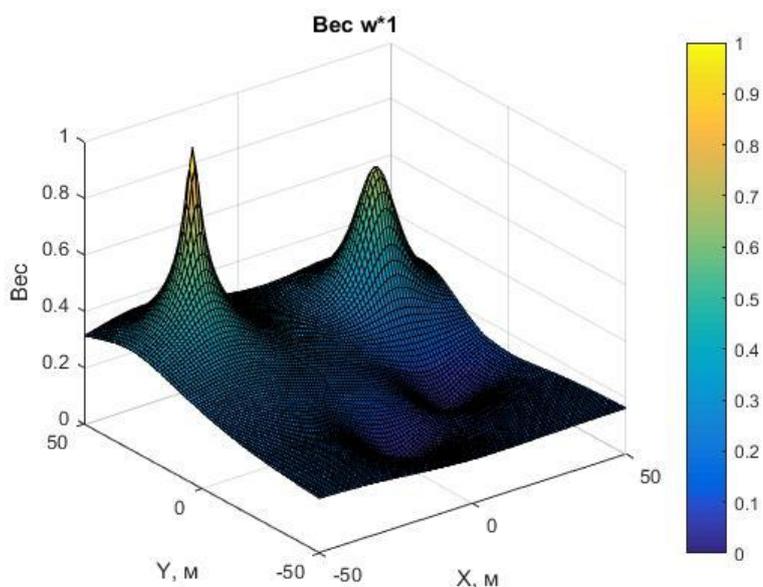


Рисунок 6 – Поверхность множителя Лагранжа модели параметра ГИС в 1-м эксперименте

Множитель Лагранжа в данном эксперименте равен нулю на всей исследуемой поверхности (рис. 7.1) как и среднеквадратическая ошибка моделирования (рис. 7.2), которая была найдена как среднеквадратическое отклонение разности значений трасс исходной модели и модели, построенной по полученным во 1-м эксперименте весам.

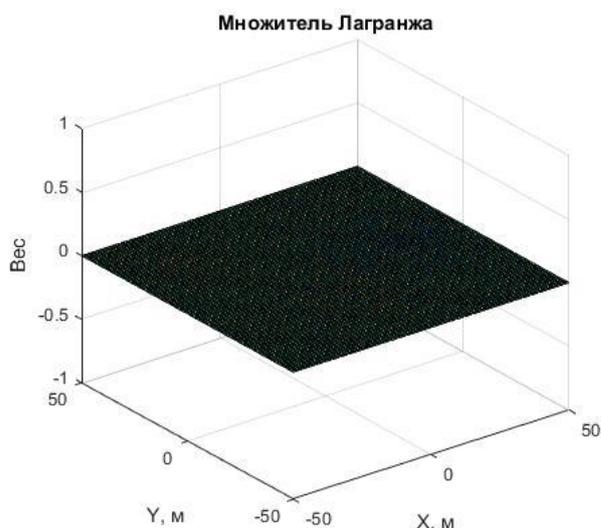


Рисунок 7.1 – Поверхность множителя Лагранжа модели параметра ГИС в 1-м эксперименте

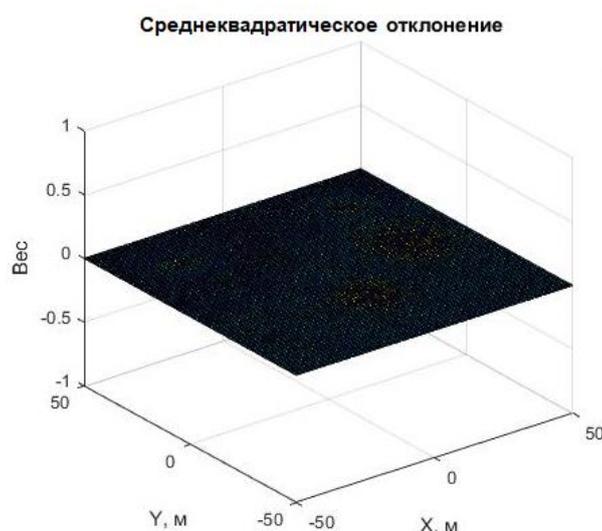


Рисунок 7.2 – Среднеквадратическая ошибка моделирования во 1-м эксперименте

Во втором эксперименте из выборки была исключена «первая» скважина. Результаты эксперимента приведены ниже.

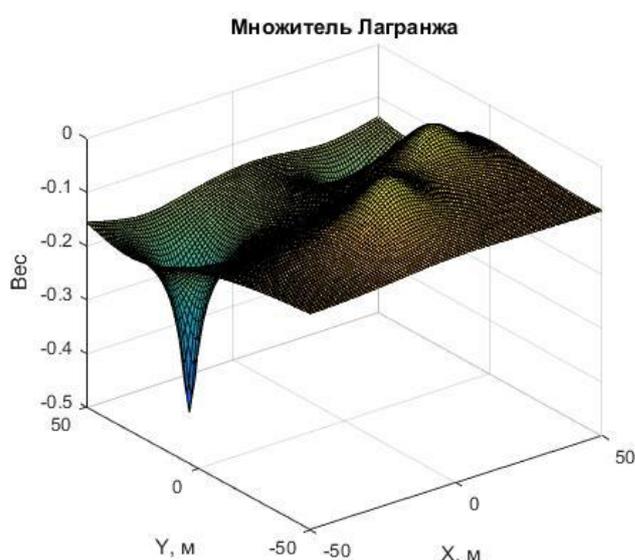


Рисунок 8 – Поверхность множителя Лагранжа модели параметра ГИС в 2-м эксперименте

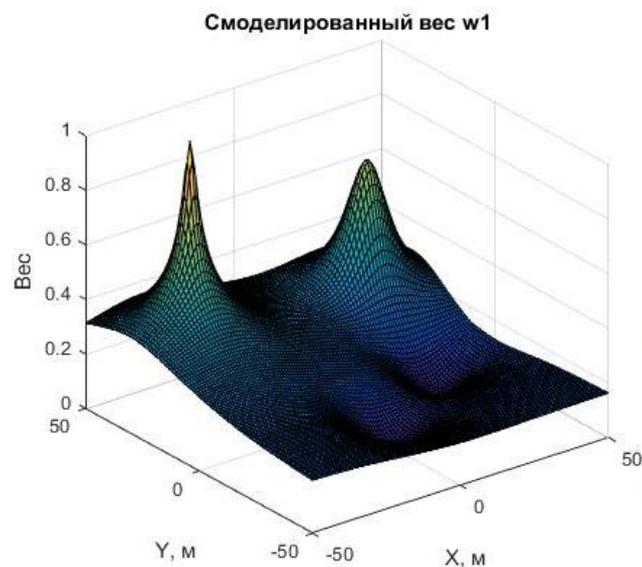


Рисунок 9 – Модель поверхности веса w_1 исключенной скважины

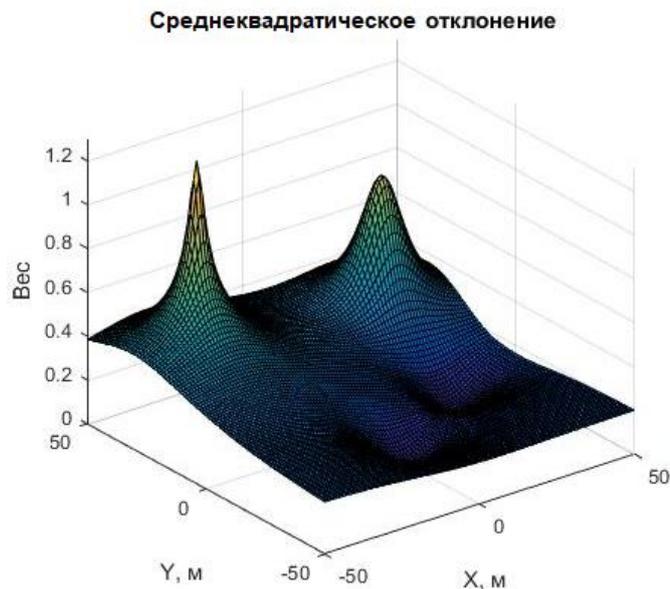


Рисунок 10 – Среднеквадратическая ошибка моделирования во 2-м эксперименте

В результате этого эксперимента подтвердились аналитические выводы. Множитель Лагранжа (рис. 8) оказался отличным от нуля в зонах, где «первая» скважина имела значимое влияние (рис. 9). В этой же зоне

среднеквадратическая ошибка моделирования оказалась отличной от нуля (рис. 10).

Как видно из графиков, множитель Лагранжа и полученная среднеквадратическая ошибка моделирования по поведению полностью совпадают с весовой функцией исключенной скважины, что подтверждает правильность сделанных аналитических выводов.

3. Алгоритм решения задачи

В разделе 2 математически и экспериментально доказано, что предложенный критерий эффективен для оценки достоверности исследуемого метода геостатистического моделирования.

Предложенный ниже алгоритм оценки достоверности может быть использован как до проведения моделирования, так и после. В первом случае, в качестве исходных данных будет выступать куб сейсмического атрибута; во втором случае – смоделированный куб петрофизического параметра. Результат оценки достоверности при этом будет абсолютно одинаков, так как ковариационные свойства смоделированного петрофизического куба полностью повторяют ковариационные свойства куба сейсмического атрибута.

3.1. Описание алгоритма

Схема алгоритма оценки достоверности геостатистического моделирования представлена на рисунке 11.



Рисунок 11 – Схема алгоритма оценки достоверности геостатистического моделирования

Описание шагов алгоритма:

- 1) Ввод данных МОГТ или имеющейся модели параметра ГИС (файл .segy).
- 2) Для данных МОГТ: поиск трасс, координаты которых наиболее близки к координатам скважин.
- 3) Расчет матрицы ковариации выбранных трасс скважин параметра (геофизического или сейсмического).
- 4) Нормирование матрицы ковариации параметра, добавление единичной строки – формирование матрицы левой части СЛАУ.

5) Выбор трассы параметра в каждой точке сейсмического куба (модели параметра ГИС); расчет ковариации между выбранной трассой и трассами скважин; нормирование получившегося вектора относительно ненормированной матрицы ковариации параметра (26).

6) Решение систем линейных алгебраических уравнений – расчет весовых коэффициентов и множителя Лагранжа в каждой точке.

7) Вывод результата.

3.2. Описание программной реализации

Алгоритм решения поставленной задачи был реализован в интерактивной среде для программирования MATLAB. Данный выбор обусловлен рядом факторов:

- MATLAB – высокоуровневый язык программирования, ориентированный на матричные вычисления и разработку алгоритмов;
- матричная математика среды обеспечивает высокую скорость математических действий;
- MATLAB располагает большим количеством встроенных математических функций, в том числе и функциями линейной алгебры, применяемые в алгоритме;
 - имеется возможность создания собственных функций в виде М-файлов;
 - среда позволяет подключать сторонние библиотеки, такие как SeisLab, работающая с файлами формата SEG-Y (society of exploration geophysicists Y format);
 - имеются различные варианты визуализации результата, как в двумерной, так и в трехмерной графике.

В качестве входных параметров в алгоритме используются: количество скважин и их координаты (или номера столбцов в массиве, соответствующие трассам).

Функционал программы включает в себя:

- Считывание данных о геофизическом или сейсмическом параметре из файлов формата SEG-Y (*.sgy). Считанный файл представляет собой специализированную структуру данных, хранящую в себе базовую информацию о файле *.sgy, массив последовательно расположенных трасс их заголовки.

- Поиск сейсмических трасс, наиболее близких к координатам скважин, если исходные данные представляют собой сейсмический куб. Если исследуется уже имеющаяся модель параметра ГИС, предполагается, что местонахождение необходимых трасс уже найдено.

- Расчет матрицы ковариации геофизического или сейсмического параметра и ее нормирование (формирование матрицы левой части СЛАУ).

- Формирование векторов правых частей систем через расчет ковариации между выбранной трассой в каждой точке куба (модели) и трассами вблизи скважин, а также нормирование этих векторов.

- Решение СЛАУ матричным методом: нахождение весов и множителя Лагранжа.

- Вывод результатов в виде графиков поверхностей весов и множителя Лагранжа.

Листинги программных кодов, реализующих алгоритм, представлены в Приложении 1.

3.3. Тестирование программной реализации на реальных данных

Программная реализация была протестирована на данных наземной сейсморазведки (реальном сейсмическом кубе), полученных на одном из месторождений Томской области. Исходные данные представляли собой данные сейсмического атрибута – суммы ОГТ с деконволюцией (Fsrд). Количество скважин в выборке: 7, общее количество трасс: 103622, число отсчетов в трассе: 21.

Сигналы в скважинах сейсмического куба представлены на рисунке ниже. (рис. 12)

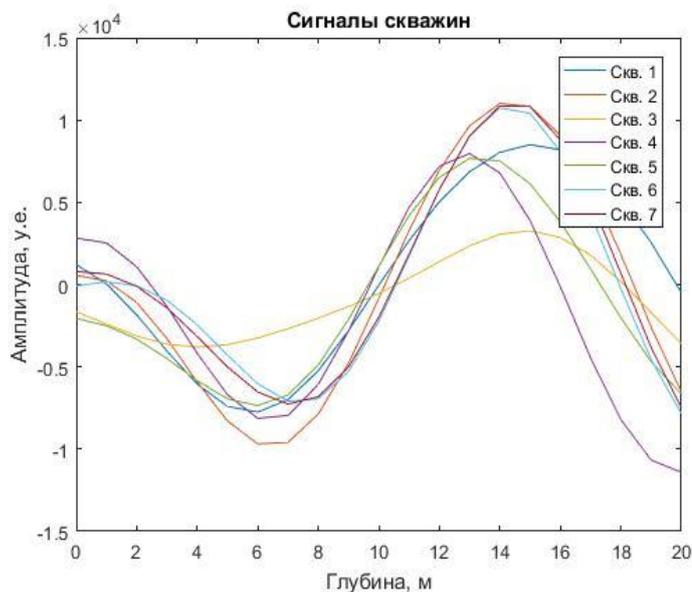


Рисунок 12 – Графики сигналов в скважинах сейсмического куба

В ходе эксперимента были рассчитаны весовые функции и множитель Лагранжа в соответствии с системой (26).

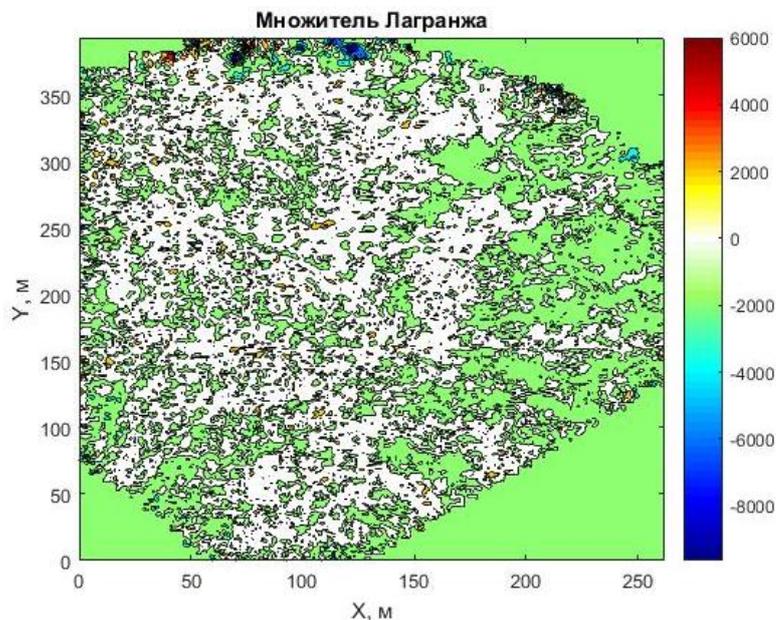


Рисунок 13 – Множитель Лагранжа реального сейсмического куба

В результате, множитель Лагранжа принял различные значения. На представленном графике (рис. 13) белые области – области, в которых

множитель Лагранжа равен или стремится к нулю. Следовательно, выборка скважинных данных в этих точках информативна и решение точное.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью написания раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

4.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала научных исследований

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследований

Потенциальными потребителями результатов исследования являются компании, занимающиеся геологоразведочными и геофизическими работами. Для данных компаний разрабатывается алгоритм для оценки достоверности трехмерного геостатистического моделирования. Алгоритм помогает определить точки объемной модели петрофизического параметра, в которых она является достоверной.

В таблице 1 приведены основные сегменты рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика и направление деятельности. Анализ рынка проводился на основе следующих компаний: ПАО «Газпром» (крупная компания), НАЦ «Недра» (средняя компания), ООО «Геопрогноз» (мелкая компания).

Таблица 1 – Карта сегментирования рынка

		Направление деятельности			
		Обработка и интерпретация сейсмических данных	Обработка и интерпретация данных ГИС	Построение петрофизических моделей	Оценка достоверности петрофизических моделей
Размер компании	Крупные	+	+	+	+
	Средние	+	+	+	–
	Мелкие	+	+	–	–

Согласно карте сегментирования рынка, выберем следующие сегменты: оценка достоверности петрофизических моделей.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Для алгоритма, описываемого в работе, основным критерием достоверности будущей (имеющейся) модели является репрезентативность скважинной выборки. Она определяется через вычисление значений множителя Лагранжа в каждой точке весовой поверхности (осн). Конкурентные методы: расчет ошибки геостатистического метода моделирования (кригинга) и построения изолиний (ок); методы кросс-валидации (кв). Более подробное описание данных методов приведено в разделе «Существующие методы решения».

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _{осн}	Б _{ок}	Б _{кв}	Б _{осн}	Б _{ок}	Б _{кв}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Эффективность	0,3	4	3	4	1,2	0,9	1,2
Устойчивость	0,2	4	4	3	0,8	0,8	0,6
Временные затраты	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
Новизна метода	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
Простота реализации	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
Универсальность	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Итого	1	27	23	20	4,4	3,7	3,4

По полученным результатам можно сделать вывод, что разрабатываемый алгоритм для оценки достоверности трехмерного

геостатистического моделирования является наиболее эффективным по конкурентоспособности.

4.1.3 SWOT – анализ

SWOT-анализ – это эффективный инструмент стратегического менеджмента. SWOT-анализ заключается в исследовании внешней и внутренней сред проекта.

Факторы разделяются на четыре категории:

- **Strengths** (сильные стороны),
- **Weaknesses** (слабые стороны),
- **Opportunities** (возможности),
- **Threats** (угрозы).

Разработанная для алгоритма оценки достоверности трехмерного геостатистического моделирования матрица SWOT представлена в таблице 3.

Таблица 3 – SWOT- анализ

	Сильные стороны:	Слабые стороны:
	<p>С1. Высокая эффективность алгоритма для оценки достоверности трехмерного геостатистического моделирования.</p> <p>С2. Новизна предлагаемого подхода и низкие временные затраты.</p> <p>С3. Низкая стоимость по сравнению с бурением исследовательских скважин.</p> <p>С4. Простая эксплуатация.</p>	<p>Сл1. Узкий круг целевой аудитории.</p> <p>Сл2. Использование только одного платного языка программирования MatLab.</p>
Возможности:	<p>В1. Расширение функционала.</p> <p>В2. Написание алгоритма на других языках программирования.</p>	<p>Написание алгоритма на другом языке программирования и расширение функционала могут сделать алгоритм более широко применимым, увеличить целевую аудиторию. Перенос алгоритма на бесплатную платформу позволит сократить затраты.</p>
Угрозы:	<p>У1. Отсутствие спроса на продукт на рынке.</p>	<p>Узкая направленность и использование платного языка программирования могут ослабить интерес покупателей.</p>

У2. Развитие и появление аналогов алгоритма.	спрос на него.	
--	----------------	--

4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Для выявления возможных альтернатив разработки проекта и доработки результатов был использован морфологический подход. Он основан на подборе возможных решений для отдельных частей задачи и последующем систематизированном получении их сочетаний.

В таблице 4 в виде матрицы представлены возможные варианты реализации разработки.

Таблица 4 – Морфологическая матрица

	1	2	3
А. Количество языков программирования, для которых проводится анализ	1	2	Больше 2
Б. Платформа для анализа кода	MatLab	MathCad	–

Путём комбинации различных параметров были определены два наиболее оптимальных варианта исполнения:

- А1Б1;
- А1Б2.

Для данной матрицы наиболее оптимальным вариантом исполнения является А1Б1.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Трудоемкость выпускной квалификационной работы определяется опытным путем в человеко-днях и имеет вероятностный характер, так как зависит от трудно учитываемых факторов.

Для реализации проекта необходимы: студент-дипломник (СД) и научный руководитель (НР). Основные этапы выполнения ВКР приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные этапы выполнения ВКР

№	Описание этапа	Исполнитель и	Загруженность исполнителей
1	Составление и утверждение задания	НР	НР – 100%
2	Анализ предметной области	С, НР	С – 50%, НР – 50%
3	Разработка календарного плана	С, НР	С – 10%, НР – 90%
4	Обзор литературы и интернет-источников	С, НР	С – 50%, НР – 50%
5	Обзор задач и методов сейсморазведки и ГИС	С	С – 100%
6	Математическая постановка задачи	С, НР	С – 10%, НР – 90%
7	Выбор метода решения поставленной задачи	С, НР	С – 10%, НР – 90%
8	Разработка алгоритмов решения задачи	С	С – 100%
9	Программная реализация компьютерной модели	С	С – 100%
10	Проведение исследований на модельных данных	С, НР	С – 80% НР – 20%
11	Проведение исследований на реальных данных	С, НР	С – 60% НР – 40%
12	Расчет экономической эффективности научно-технической продукции	С	С – 100%
13	Оценка социальной ответственности проекта	С	С – 100%
14	Написание пояснительной записки	С, НР	С – 90% НР – 10%

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Ожидаемая продолжительность этапа рассчитывается по формуле:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (35)$$

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:

$$t_{раб} = t_{ож} \cdot k_{\partial}, \quad (36)$$

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

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

4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

В данном пункте необходимо построить диаграмму Ганта – горизонтально-ленточный график, на котором работы представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения приведенных работ.

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

$$t_{к} = t_{раб} \cdot K_{н}, \quad (37)$$

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

$K_{н}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$K_n = \frac{T_k}{T_k - T_{\text{вд}} - T_{\text{нд}}}, \quad (38)$$

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

$T_{\text{вд}}$ – количество выходных дней, $T_{\text{вд}} = 108$,

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

$$K_n = \frac{365}{365 - 108 - 10} = 1.478. \quad (39)$$

Все расчеты сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Временные показатели проведенных работ

№	Исполнители	Продолжительность работ в днях			Трудоемкость	
		t_{min}	t_{max}	$t_{\text{ож}}$	$t_{\text{раб}}$	t_k
1	НР	1	3	1,8	2,16	2,48
2	С, НР	2	3	2,4	2,88	4,26
3	С, НР	1	2	1,4	1,68	2,48
4	С, НР	3	5	3,8	4,56	6,74
5	С	3	5	3,8	1,56	6,74
6	С, НР	3	5	4,2	5,04	7,45
7	С, НР	5	8	6,2	7,44	11,00
8	С	3	6	4,2	5,04	7,45
9	С	5	7	5,8	6,96	10,29
10	С, НР	1	3	1,8	2,16	3,19
11	С, НР	1	3	1,8	2,16	3,19
12	С	4	6	4,8	5,76	8,51
13	С	4	5	4,4	5,28	7,80
14	С, НР	10	12	10,8	12,96	19,15
Итого				57,2	68,64	101,45

На основании таблицы 6 построим диаграмму Ганта (рис. 14).

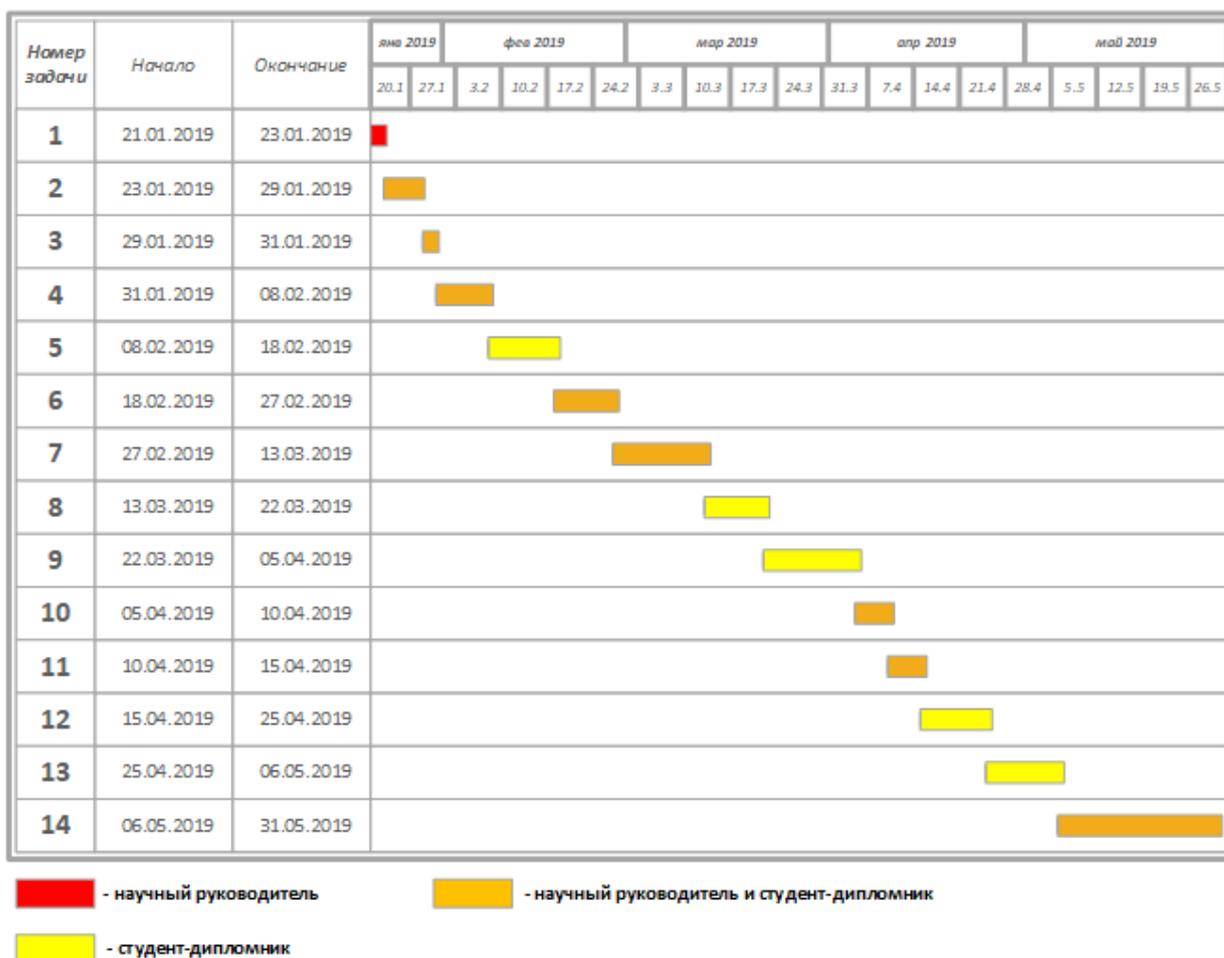


Рисунок 14 – Диаграмма Ганта

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.4.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме (таблица 7).

Таблица 7 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Затраты на материалы, руб.
Персональный компьютер	шт.	1	20000	20000
Итого				20000

4.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда (оклад, стимулирующие выплаты, районный коэффициент).

Для расчета основной заработной платы (табл. 9) необходимо привести действительный годовой фонд рабочего времени руководителя (табл. 8).

Таблица 8 – Баланс времени

Показатели рабочего времени	Руководитель
Календарное число дней	365
Количество нерабочих дней (выходные дни и праздничные дни)	52 и 10
Потери рабочего времени (отпуск, больничные), дни	48
Действительный годовой фонд рабочего времени, дни	255

Таблица 9 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Тарифная заработная плата, руб.	Районный коэффициент	Месячный должностной оклад работника, руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Продолжительность работ, дни	Зарплата основная, руб.
Руководитель	23265	1,3	30244,5	1218	44	53592
Итого:						53592

4.4.3 Дополнительная заработная плата

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0.15 \cdot 53592 = 8083.8, \quad (40)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата, $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы на стадии проектирования, принимается равным 0,15.

4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (41)$$

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

Для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2019г., водится пониженная ставка 28% (п. 6 ч. 1 ст. 58 Закона 212-ФЗ).

Расчет отчислений во внебюджетные фонды приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	53592	8083,8
Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды	15005,76	2250,86
Итого		17256,62

4.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии и т.д.

Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{ир}}, \quad (42)$$

где $k_{\text{ир}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, примем равным 16%.

4.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет бюджета затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Затраты на специальное оборудование	20 000
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей проекта	53 592
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта	8 084
4. Отчисления во внебюджетные фонды	17 257
5. Накладные расходы	15 189
Бюджет затрат НИИ	114 122

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{испi} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (43)$$

где Φ_{pi} – стоимость варианта исполнения, Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Т.к. стоимость всех вариантов исполнения одинакова, интегральные финансовые показатели также будут одинаковы и равны 1.

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (44)$$

где a_i – весовой коэффициент варианта исполнения разработки, b_i – балльная оценка варианта исполнения разработки.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формулам:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп.1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad (45)$$
$$I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп.2}}{I_{финр}^{исп.2}}.$$

Так как интегральные финансовые показатели одинаковы и равны 1, то интегральные показатели эффективности вариантов исполнения разработки равны соответствующим интегральным показателям ресурсоэффективности.

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

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.1}}. \quad (46)$$

В пункте 4.2 было рассмотрено два варианта исполнения алгоритма. На основании этого необходимо провести сравнительную характеристику вариантов исполнения (табл. 12).

Таблица 12– Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Исп.1	Исп.2
1. Повышение производительности труда	0,3	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,2	4	4
3. Удобство в считывании исходных данных	0,2	5	2
4. Скорость работы	0,1	4	3
5. Простота эксплуатации	0,1	4	4
6. Техническая поддержка платформы	0,1	5	3
I_{pi}		4,6	3,4

На основании полученных показателей выполним сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки (табл. 13).

Таблица 13 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп.1	Исп.2
Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,4
Интегральный показатель эффективности	4,6	3,4
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,74

С позиции финансовой и ресурсной эффективности на основании таблицы, первый вариант исполнения системы наиболее выгодный. Данный вариант исполнения и используется в выпускной квалификационной работе.

5. Социальная ответственность

Введение

С каждым годом все большее применение находят электронно-вычислительные машины (ЭВМ) как на производстве, так и для научно-исследовательских и конструкторских работ, а также в сфере управления и образования. Компьютеры уже завоевали свое место на предприятиях, в организациях, офисах и даже в домашних условиях. Однако компьютер является источником вредного воздействия на организм человека, а, следовательно, и источником профессиональных заболеваний.

Несоблюдение требований безопасности приводит к ощущению дискомфорта при работе с компьютером: возникают головные боли и резь в глазах, появляются усталость и раздражительность, может ухудшиться зрение, появиться боль в руках, шее, пояснице. При ненормированной работе возможно нервное истощение.

В рамках данной работы объектом исследования раздела «Социальная ответственность» является алгоритм, реализуемый в виде программного приложения с помощью ЭВМ. В данном разделе анализируются вредные и опасные факторы, возникающие при разработке программного приложения.

5.1 Производственная безопасность

Производственная безопасность определяется как комплекс мероприятий по обеспечению безопасности в случае возникновения опасных факторов и включает в себя электробезопасность, безопасную эксплуатацию оборудования, безопасное протекание технологических процессов, безопасность перемещения грузов и безопасность перемещения персонала по территории предприятия [21].

Согласно *ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»* неблагоприятные производственные факторы по результирующему воздействию на организм работающего человека подразделяют на:

- вредные производственные факторы, приводящие к заболеванию, в том числе усугубляющие уже имеющиеся заболевания;
- опасные производственные факторы, приводящие к травме, в том числе смертельной [22].

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 [23].

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы 14.

Таблица 14 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разработка	Эксплуатация	
1. Превышение уровня шума	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки [24]
2. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [25]
3. Отклонение показателей микроклимата	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [26]
4. Электромагнитное и электростатическое излучение	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [27]
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи			СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [27]

5.1.1 Анализ выявленных вредных факторов

1. **Превышение уровня шума.** При разработке программного обеспечения, основными источниками шума являются: вентиляторы и кулеры системных блоков, находящихся в комнате; жесткие диски и системные блоки. Также могут иметься иные источники шума, находящиеся за пределами рабочего помещения (строительные и ремонтные работы, массовые мероприятия и т.д.).

В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562–96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории 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 15 [24].

Таблица 15 – 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 звуконепроницаемых окон и дверей.

2. **Недостаточная освещенность рабочей зоны.** Неправильно организованное освещение может негативно сказаться на здоровье работников. Данный фактор может привести к ухудшению зрения, к быстрому утомлению и снижению работоспособности у работника. В соответствии со сводом

нормативных актов *СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95** [25] 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.

3. Отклонение показателей микроклимата. Неблагоприятные значения микроклиматических показателей могут стать причиной снижения производительности у работников, привести к таким заболеваниям, как различные формы простуды, радикулит, тонзиллит, хронический бронхит и др.

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. В соответствии с *СанПиН 2.2.4.548–96*.

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 категории работ *Ia* приведены в таблице 16 [26], допустимые параметры микроклимата – в таблице 17.

Таблица 16 – 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

Таблица 17 – Допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура воздуха, °C		Температура поверхностей, °C	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Ниже оптим. величин не более	Выше оптимальных величин не более
Холодный и переходный	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75	0,1	0,1
Теплый	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75	0,1	0,2

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.

4. 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» [27]:

- 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].

5.1.2 Анализ выявленных опасных факторов

Поражение человеческого организма электрическим током может служить причиной травм различного характера: повреждение мышечного и кожного покровов, ожоги, нарушение работы сердца и дыхательной системы. Последствия действия тока на организм человека зависят от: индивидуальных особенностей человека, мощности разряда, класса напряжения, места прикосновения, длительности контакта, пути прохождения потока по организму.

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 2.2.2/2.4.1340-03* запрещено проводить ремонт ЭВМ непосредственно в рабочих, лабораторных и рабочих помещениях [27].

5.2 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. Однако с точки зрения потребления ресурсов компьютер потребляет сравнительно небольшое количество электроэнергии, что положительным образом сказывается на общей экономии потребления электроэнергии.

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

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятная чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть при использовании ЭВМ – пожар. Причиной возникновения пожара при разработке программного приложения может служить:

- неисправность проводки или электрического оборудования;
- 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.

5.4 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»* [28] и *СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»* [27].

При проектировании рабочих мест должны быть учтены освещенность, шум, температура, влажность, наличие электромагнитных полей и другие санитарно-гигиенические требования.

В соответствии с *ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»* продолжительность рабочего дня не должна превышать восьми часов, при этом каждый час необходим перерыв продолжительностью 15 минут [28].

Трудовые отношения между работниками и работодателями определяет трудовой кодекс РФ. В частности, он устанавливает права и обязанности обеих сторон, регулирует вопросы охраны труда, закрепляет правила оплаты и нормирования труда.

Нормативно-правовая база обеспечения безопасности жизнедеятельности населения и защиты территорий регламентирует

обязанности и права государственных органов, общественных организаций, должностных лиц и всех граждан, закрепляет и регулирует устройство и назначение специальных органов управления в области защиты от ЧС, определяет ответственность всех уровней власти и граждан. Правовой основой законодательства в области обеспечения безопасности жизнедеятельности является Конституция.

Обеспечение экологической безопасности на территории РФ, формирование и укрепление экологического правопорядка основаны на действии Федерального закона «Об охране окружающей природной среды».

Выводы по разделу «Социальная ответственность»

После анализа условий труда на рабочем месте был сделан вывод о том, что действие вредных и опасных факторов в помещении, где разрабатывалась данная бакалаврская работа, сведено к минимуму. Т.е. шум, освещение, микроклимат и электромагнитное воздействие соответствуют требованиями, предъявленным в соответствующих нормативных документах. В случае соблюдения техники безопасности и правил пользования компьютером работа в данном помещении не приведет к ухудшению здоровья работника.

Стоит отметить, что во избежание негативного влияния со стороны ЭВМ необходимо делать перерывы от работы, в это время можно провести короткую физическую разминку (зарядку), либо сделать несколько упражнений для глаз.

Работу на ЭВМ можно назвать экологически безопасной, так как компьютер потребляет сравнительно небольшое количество электроэнергии. Однако необходимо должным образом утилизировать пришедшие в негодность составляющие компьютера.

В отношении чрезвычайных ситуаций – при соблюдении правил пожарной безопасности и работы с ЭВМ возгорания можно предотвратить.

Заключение

В ходе выполнения данной работы был проведен анализ существующих методов оценки достоверности (ошибки) интерполяционных геостатистических моделей. Основываясь на их преимуществах и недостатках, разработан новый метод, суть которого заключается в расчете и анализе множества значений множителя Лагранжа геостатистической модели.

Значения множителя Лагранжа на поверхности совпадают со значениями среднеквадратического отклонения ошибки моделирования и могут служить количественным критерием оценки достоверности геостатистического моделирования.

Новый метод реализован в виде программного кода интерактивной среды MATLAB и протестирован на модельных, а также реальных данных. В обоих случаях метод показал хорошие результаты.

Список используемых источников

- [1] ГОСТ 16821-91 Сейсморазведка. Термины и определения. – Взамен ГОСТ 16821-71; Введ. С 01.07.92. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 29 с.
- [2] Крафт Б.С., Хокинс М.Ф. – Прикладной курс технологии добычи нефти – Гостоптехиздат, 1963. – 457 с.
- [3] Геофизические методы исследования скважин. Справочник геофизика. под ред. В.М. Запорожца. – М.: Недра, 1983. – 591 с.
- [4] Матерон Ж.Ж. Основы прикладной геостатистики – Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2009. – 460 с.
- [5] Шерифф Р., Гелдарт Л. Сейсморазведка. Том 1: История, теория и получение данных. – М.: Мир, 1987 г. – 448 с.
- [6] Олегов С.Н., Цыркин Е.Б. О нефти и газе без формул. - Химия, Ленинград, 1989 г. - 160 с.
- [7] Бондарев И.В. Сейсморазведка – Екатеринбург, Уральский государственный горный университет, 2007. – 703 с.
- [8] Сейсморазведка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Сейсморазведка> (дата обращения: 10.02.2019)
- [9] Атрибутный анализ. Теория [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://petroportal.ru/post/atributnyy-analiz-teoriya.html> (дата обращения: 10.02.2019)
- [10] Что понимают под сейсмическими атрибутами? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://inforpedia.su/18x1233c.html> (дата обращения: 11.02.2019)
- [11] Калининкова М. В., Головин Б. А., Головин К. Б. Учебное пособие по геофизическим исследованиям скважин. – Саратов, 2005. — 50 с.
- [12] Молчанов А.А., Лаптев В.В. Аппаратура и оборудование для геофизических исследований нефтяных и газовых скважин. Справочник. – М.: Недра, 1987. – 263 с.

- [13] Принцип и методы геофизических методов исследования скважин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://byreniepro.ru/skvazhiny/geofizicheskoe-issledovanie.html#h3_3 (дата обращения: 11.02.2019)
- [14] Шестаков В. В., Степанов Д. Ю., Сысолятина Г. А. Построение трехмерных моделей параметров геологических сред // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов III Международной конференции. В 2 т., Томск, 23-26 Мая 2016. – Томск: ТПУ, 2016 – Т. 1 – С. 87-91.
- [15] Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика. Теория и практика. – М.: Наука, 2010. – 327 с.
- [16] Ковалевский Е.В. Геологическое моделирование на основе геостатистики. Учебный курс. – ОАО «Центральная геофизическая экспедиция (ЦГЭ)». – Москва, 2011. – 119 с.
- [17] Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. – 2-е изд. – М., 2004 – 573 с.
- [18] Мальцев А.И. Основы линейной алгебры. — Изд. 3-е, перераб., М.: Наука, 1970. – 400 с.
- [19] Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. — М.: Высшая школа, 2000. – 462 с.
- [20] Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.
- [21] Производственная безопасность. Часть 1. Теория и организация производственной безопасности. – СПб: Издательство Политехнического университета, 2012. – 177 с.
- [22] ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
- [23] С.В. Белов безопасность жизнедеятельности – Москва, Высшая шк., 2007 – 616 с.

- [24] СН 2.2.4/2.1.8.562–96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки»
- [25] СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
- [26] СанПиН 2.2.4.548–96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
- [27] СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
- [28] ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».

Список публикаций

1. *Оценка информативности выборки данных нейтрон-нейтронного каротажа.* Шестаков В.В., Аржаник А.А., Шевченко А.А. В сборнике: «Молодёжь и современные информационные технологии» сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. 2018. С. 21-22.

2. *Оценка информативности сейсмических атрибутов при решении задачи построения объемных петрофизических моделей.* Аржаник А.А., Шевченко А.А. В сборнике: «Молодёжь и современные информационные технологии» сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных.

3. *Выбор информативного сейсмического атрибута для построения трехмерной петрофизической модели.* В. В. Шестаков, А. А. Аржаник, А. А. Шевченко; науч. рук. Д. Ю. Степанов // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, Томск, 2-7 апреля 2018 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2018. — Т. 1. — [С. 456-458].

Приложение 1

Листинг 1. Код m-файла для введения исходных параметров и считывания исходных данных из файла .sgy

```
%%-----Блок объявления исходных данных-----
NumOfWells = 3; %-количество сигналов скважин
length = 100; width = 100;
[X,Y] = ndgrid(-width/2:width/2, -length/2:length/2);
WellTraceNum = [2101; 8131; 5081]; %-номера столбцов скважин

%%-----Блок считывания данных-----
%--Считывание данных файла
seismic = read_segy_file('C:\...\SEIS_4.sgy');

%--Извлечение данных из файла
NumOfSamplesInTrace = seismic.aux_per_record(1); %-количество значений
трассы
NumOfTracesInSegy = seismic.traces_per_record(1); %-количество трасс
WellsTr = zeros(NumOfSamplesInTrace, NumOfWells + 1); %-массив скв.
выборки
i = 1:NumOfWells+1;
weight(i,1) = struct('w', zeros(NumOfSamplesInTrace, NumOfSamplesInTrace));
```

Листинг 2. Код m-файла для формирования и нормирования матрицы ковариации

```
%%-----Блок расчета ковариации скважин-----
--
%--Извлечение трасс скважин из структуры в отдельную переменную
for i = 1:NumOfWells

WellsTr(1:NumOfSamplesInTrace,i)=seismic.traces(1:NumOfSamplesInTrace,
WellTraceNum(i));
end;

%--Расчет матрицы ковариации скважин
cov_WellTr = cov(WellsTr);

%--Добавление к матрице ковариации скважин единичные столбцы и строки
cov_WellTr(NumOfWells + 1,1:NumOfWells) = ones(1,NumOfWells);
cov_WellTr(1:NumOfWells,NumOfWells + 1) = ones(NumOfWells,1);

%--Нормирование матрицы ковариации скважин
n_cov_WellTr = cov_WellTr;
for i = 1:NumOfWells
    a = cov_WellTr(i,i);
    for j = 1:NumOfWells + 1
        n_cov_WellTr(i,j) = cov_WellTr(i,j)/a;
    end;
end;
```

*Листинг 3. Код m-файла для формирования правых частей СЛАУ и
решения их*

```

%%-----Блок решения СЛАУ-----
--
%--Объявление вектора правых частей
n_B = ones(NumOfWells + 1, 1);
%--Объявление вектора неизвестных
weights = zeros(NumOfWells + 1, NumOfTracesInSegy);

%--Решение СЛАУ (расчет весовых коэффициентов)
for i = 1:NumOfTracesInSegy;
WellsTr(1:NumOfSamplesInTrace, NumOfWells+1)=seismic.traces(1:NumOfSamples
InTrace, i);
    C = cov(WellsTr);
    for j = 1:NumOfWells
        n_B(j,1) = C(j, NumOfWells + 1)/cov_WellTr(j, j);
    end;
    weights(1:NumOfWells + 1, i) = n_cov_WellTr \ n_B;
end;

%--Приведение весов к нужному виду
for i = 1:NumOfWells+1
    weight(i).w = zeros(width+1, length+1);
    k = 1;
    for j = 1:width+1:NumOfTracesInSegy
        weight(i).w(k, 1:width+1) = weights(i, j:j+width);
        k = k+1;
    end;
end;
end;

```

*Листинг 4. Код m-файла для построения графиков поверхностей весов и
множителя Лагранжа*

```

%--Построение поверхностей весов
for i=1:NumOfWells
figure('Color',[1 1 1]); surf(X,Y,weight(i).w);
colormap parula; colorbar;
xlabel('X, м'); ylabel('Y, м'); zlabel('Вес'); title(['Вес
w*', num2str(i)]);
zlim([0 1]);
end;

%--Построение поверхности множителя Лагранжа
figure('Color',[1 1 1]); surf(X,Y,weight(NumOfWells+1).w);
colormap parula; colorbar;
xlabel('X, м'); ylabel('Y, м'); zlabel('Вес'); title('Множитель
Лагранжа');
zlim([-1 1]);

%--Построение лямбды 2D
figure('Color',[1 1 1]); contourf(X,Y,weight(NumOfWells+1).w);
colormap parula; colorbar; xlabel('X, м'); ylabel('Y, м');
title('Множитель Лагранжа');

```