TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка алгоритма оценки информативности сейсмических атрибутов

УДК 004.7.021:004.925.84:552.1:53

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б51	Аржаник Александра Алексеевна		

Руководитель ВКР

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 ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шевелев Геннадий Ефимович	к.ф.-м.н.		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения

Код Результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, Критерии АИОР
Профессиональные компетенции		
Р1	Применять *глубокие математические и профессиональные знания* 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 *EUR-ACE* и *FEANI* 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
Р2	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 *EUR-ACE* и *FEANI* Требования работодателей: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина», ООО «НАПО им. В.П. Чкалова», ИХН СО РАН
Р3	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 *EUR-ACE* и *FEANI* Требования профессиональных стандартов Ассоциации предприятий компьютерных и информационных технологий Требования работодателей: Контек, ОАО «Газпром переработка», ООО Нижневартовскэнергонефть».
Р4	Выполнять *инновационные* проекты с применением *глубоких профессиональных* знаний и *эффективных* методов проектирования для достижения *новых* результатов, обеспечивающих *конкурентные преимущества* в условиях экономических, экологических, социальных и других ограничений.	Требования ФГОС (ОК-14, ПК- 7, 9,14), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI* Требования профессиональных стандартов Ассоциации предприятий компьютерных и информационных технологий. Требования работодателей: Контек, ОАО «Газпром переработка», ИХН СО РАН.

Р5	*Демонстрировать знание* о формах организации образовательной и научной деятельности в высших учебных заведениях, *иметь навыки* преподавательской работы.	Требования ФГОС (ОК-1, 10, 16, ПК-1, 14, 15), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI*
Р6	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 *EUR-ACE* и *FEANI*
Универсальные компетенции		
Р7	*Активно* владеть *иностранным языком* 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 *EUR-ACE* и *FEANI* и Требования профессиональных стандартов Ассоциации предприятий компьютерных и информационных технологий
Р8	Эффективно работать индивидуально, в качестве *члена и руководителя группы*, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность *следовать корпоративной культуре* 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 *EUR-ACE* и *FEANI и* Требования профессиональных стандартов Ассоциации предприятий компьютерных и информационных технологий. Требования работодателей: Контек, ОАО «Газпром переработка», ООО Нижневартовскэнергонефть».
Р9	*Самостоятельно учиться* и непрерывно *повышать квалификацию* 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 *EUR-ACE* и *FEANI.* Требования работодателей: Контек, ОАО «Газпром переработка», ООО Нижневартовскэнергонефть».

TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

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

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

_____ _____ _____
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме: бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
8Б51	Аржаник Александре Алексеевне

Тема работы:

Разработка алгоритма оценки информативности сейсмического атрибута	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№2766/с от 09.04.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе *(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.).*	Данные 3D ОГТ и ГИС, полученные на месторождении Томской области

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов *(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).*	1. Обзор литературы на тему «понятие сейсморазведки и её основные задачи» 2. Обзор существующих алгоритмов оценки информативности сейсмических атрибутов. 3. Разработка нового алгоритма оценки информативности сейсмических атрибутов. 4. Проведение численных исследований разработанного алгоритма 5. Реализация разработанного алгоритма в виде программного приложения 6. Тестирование программного приложения на данных реального месторождения Томской области
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	Презентация работы

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

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	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б51	Аржаник Александра Алексеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Б51	Аржаник Александра 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. *Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих*	*Человеческие ресурсы – 2 человека (руководитель и студент-дипломник).*
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Планирование и формирование бюджета научных исследований*	*Необходимо составить календарный план НИ и рассчитать затраты НИ.*
2. *Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования*	*Расчет интегральных показателей эффективности исследования, выбор наилучшего исполнения.*
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	Аржаник Александра Алексеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Б51	Аржаник Александра Алексеевна

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

Тема ВКР:

Разработка алгоритма оценки информативности сейсмических атрибутов	
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: исследование свойств геологической среды.*
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	*Рассмотрены организационные мероприятия по обеспечению безопасности* программиста.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных факторов 2.2. Анализ выявленных опасных факторов	*2.1. Физически вредные факторы:* *–недостаточная освещенность рабочего места;* *–повышенный уровень шума на рабочем месте;* *–несоответствующие нормам показатели микроклимата.* *2.2. Физически опасные факторы:* *–повышенное значение напряжения в электрической цепи;* *–возможность возникновения пожара из-за короткого замыкания или нарушения техники безопасности.*
3. 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.*
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	*Возможные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения: пожар, морозы. Наиболее типичная ЧС: пожар в результате замыкания.*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент ООТД	Мезенцева И.Л.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б51	Аржаник Александра Алексеевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 76 страниц, 14 рисунков, 17 таблиц, 26 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: сейсмическая разведка, геофизические исследования скважин, сейсмическая трасса, сейсмический атрибут.

Объектом исследования является геологическая среда.

Цель работы: разработка метода количественного оценивания информативности атрибута для исследуемого метода моделирования.

В первой главе данной работы рассмотрены задачи и методы сейсморазведки, методы геофизических исследований скважин; рассмотрена задача моделирования петрофизического параметра и приведен один из методов её решения.

Во второй главе работы проведен анализ существующих алгоритмов решения задачи оценки информативности сейсмических атрибутов, выявлены их преимущества и недостатки; приведено описание предлагаемого алгоритма поиска информативного атрибута; 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, полученных на месторождении Томской области.

Результатом работы является новый алгоритм оценки информативности сейсмического атрибута, который позволяет определять информативный атрибут в условиях исследуемого метода моделирования параметров геологической среды.

Оглавление

Введение 12
1. Задачи и методы сейсморазведки и геофизических исследований скважин .. 14
1.1 Понятие сейсморазведки и её задачи и методы 14
1.2 Методы геофизических исследований скважин 17
1.2.1 Электрические методы ГИС 18
1.2.2 Радиоактивные методы ГИС 19
1.2.3 Акустические методы ГИС 20
1.3 Прогноз параметра ГИС в трехмерном пространстве 20
2. Оценка информативности сейсмических атрибутов 23
2.1 Общая постановка задачи оценки информативности сейсмических атрибутов 23
2.2 Алгоритмы оценки информативности сейсмических атрибутов 23
2.2.1 Метод главных компонент 24
2.2.2 Метод главных факторов 25
2.2.3 Нейронный анализ 25
2.2.4 Регрессионный анализ 27
2.2.5 Недостатки рассмотренных методов 28
2.3 Предлагаемый метод решения 28
3. Алгоритм решения задачи 38
3.1 Описание программной реализации 39
3.2 Тестирование программной реализации на данных месторождения Томской области 41
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 43
4.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала научных исследований 43
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследований 43
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений 44
4.1.3 SWOT – анализ 45

4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований46
4.3 Планирование научно-исследовательских работ 46
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования 46
4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ 47
4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования 48
4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) 50
4.4.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ 50
4.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы 50
4.4.3 Дополнительная заработная плата 51
4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) 51
4.4.5 Накладные расходы 52
4.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта . 52
4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования 53
5. Социальная ответственность 56
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности 56
5.2 Производственная безопасность 59
5.2.1 Анализ выявленных вредных факторов 60
5.2.2 Анализ выявленных опасных факторов 63
5.3 Экологическая безопасность 63
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях 64
5.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность» 65
Заключение 67
Список использованных источников 68
Список публикаций 71
Приложение А 72

Введение

Петрофизические параметры геологической среды, такие как пористость, проницаемость, газонефтеводонасыщенность и другие, несут в себе важную информацию о наличии или отсутствии углеводородных коллекторов – горных пород, содержащих пустоты и способных вмещать и фильтровать флюиды (нефть, газ, воду) [1]. Так как первоначальная информация об этих параметрах известна лишь в ограниченном пространстве вблизи скважин, актуальной является задача прогноза в пределах некоторого объема.

По используемому подходу существующие методы решения данной задачи можно классифицировать на стохастические, геостатистические, нейросетевые и т.д. По типу используемых данных они также могут быть разделены на две группы:

— методы, использующие только данные о прогнозируемом параметре;

— методы, использующие в качестве вспомогательных данных сейсмические атрибуты, которые несут в себе косвенную информацию о прогнозируемом параметре.

Методы первой группы эффективны в условиях густо разбуренного месторождения. Если же скважин мало, но имеется густая регулярная сеть сейсмических измерений, то в таком случае применяются методы второй группы.

Эффективность методов второй группы зависит от ряда факторов: зашумленности используемых сейсмических данных, корректности увязки по глубине сейсмических атрибутов и прогнозируемых параметров, а также – от информативности сейсмического атрибута для конкретно взятого параметра. Под *информативным сейсмическим атрибутом* подразумевается такой атрибут, который с определенной точностью измеряет свойство прогнозируемого параметра [2].

Так как существование связи между сейсмическими атрибутами и параметрами среды принимается на уровне аксиомы, на сегодняшний день разработано множество методов моделирования, каждый из которых базируется на собственной взаимосвязи. Однако вопросу количественной оценки этой взаимосвязи и соответственно вопросу выбора наиболее информативного атрибута авторы многих методов не уделяют достаточного внимания. В данной работе проводится исследование одного из таких методов. Целью работы является разработка метода количественного оценивания информативности атрибута для исследуемого метода моделирования.

Объектом исследования является геологическая среда. *Предмет исследования* – сейсмические атрибуты и параметры геологической среды.

1. Задачи и методы сейсморазведки и геофизических исследований скважин

1.1 Понятие сейсморазведки и её задачи и методы

Сейсмическая разведка включает в себя комплекс методов исследований геологического строения земной коры, основанных на изучении особенностей распространения в ней искусственно возбуждаемых упругих волн [3].

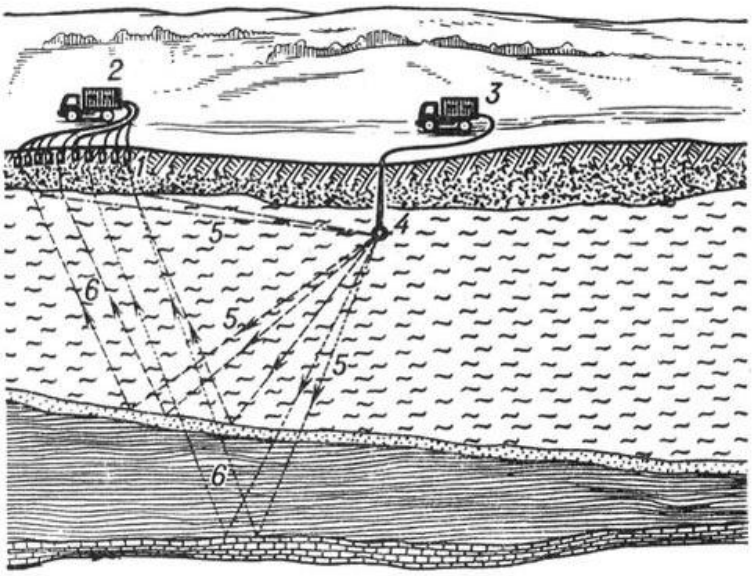

Рисунок 1 – Схема сейсморазведочных работ методом отраженных волн:
1 – сейсмоприёмники; 2 – сейсморазведочная станция; 3 – взрывной пункт;
4 – место взрыва; 5 – прямая волна; 6 – отраженная волна

Сейсморазведка является одним из ведущих методов исследования структуры и состава горных пород. Прямая задача сейсморазведки – определение волнового поля геологической среды – материальной среды упругого взаимодействия природных объектов. Сейсморазведочные работы проводят по отдельным линиям или их группам – *профилям* (рис. 1). На профиле наблюдений бурят взрывные скважины, в которых инициируются взрывы взрывчатого вещества (в настоящее время могут использоваться и невзрывные источники). Также на профиле раскладываются сейсмоприемники

упругих колебаний, способные улавливать даже слабые сотрясения поверхности земли. С помощью взрыва в земной коре возбуждаются упругие волны.

Так как разные горные породы с разными физическими свойствами имеют различные скорости распространения упругих волн, это создает условия для возникновения на границах литологических пластов процессов отражения и преломления упругих волн. Отраженные волны, которые достигли поверхности земли, фиксируются специальными датчиками (сейсмоприемниками) в виде сейсмотрасс. С*ейсмическая трасса* – это совокупность сейсмических сигналов, зарегистрированных в пункте приема в течение заданного времени после возбуждения упругой волны [4]. Все зарегистрированные сейсмотрассы в совокупности проходят первичную обработку на сейсмостанциях и в дальнейшем отправляются специалистам-геофизикам для решения обратной задачи [3].

Обратной задачей сейсморазведки является прогнозирование некоторых характеристик горных пород по результатам сейсморазведочных работ [5]. Однако точное решение обратной задачи невозможно на практике в виду ряда причин, среди которых – наличие помех в волновом поле, дискретность систем наблюдений, отсутствие математической модели, отражающей в полной мере особенности распространения упругих волн в геологической среде.

Не смотря на это, сейсмические данные несут в себе достаточно информации для построения адекватной модели геологической среды в пределах задач выбора мест бурения скважин и поиска залежей полезных ископаемых [6].

В сейсморазведке выделяют два основных метода:

1. *метод отраженных волн (МОВ)*, основанный на исследовании особенностей распространения упругих волн, однократно отразившихся от границы раздела геологических слоев, различных по физическим свойствам;

2. *метод преломленных волн (МПВ)*, основанный на регистрации колебаний преломленных упругих волн, скользящих вдоль кровли геологических образований, вдали от источника.

На сегодняшний день основным методом сейсморазведки, применяемым примерно в 98% сейсморазведочных работ, является один из вариантов реализаций МОВ – метод общей глубинной точки (МОГТ). Метод основан на многократной регистрации и последующем накапливании сигналов сейсмических волн, которые были отражены под разными углами от одного и того же локального участка (точки) сейсмической границы в земной коре (рис. 2) [7].

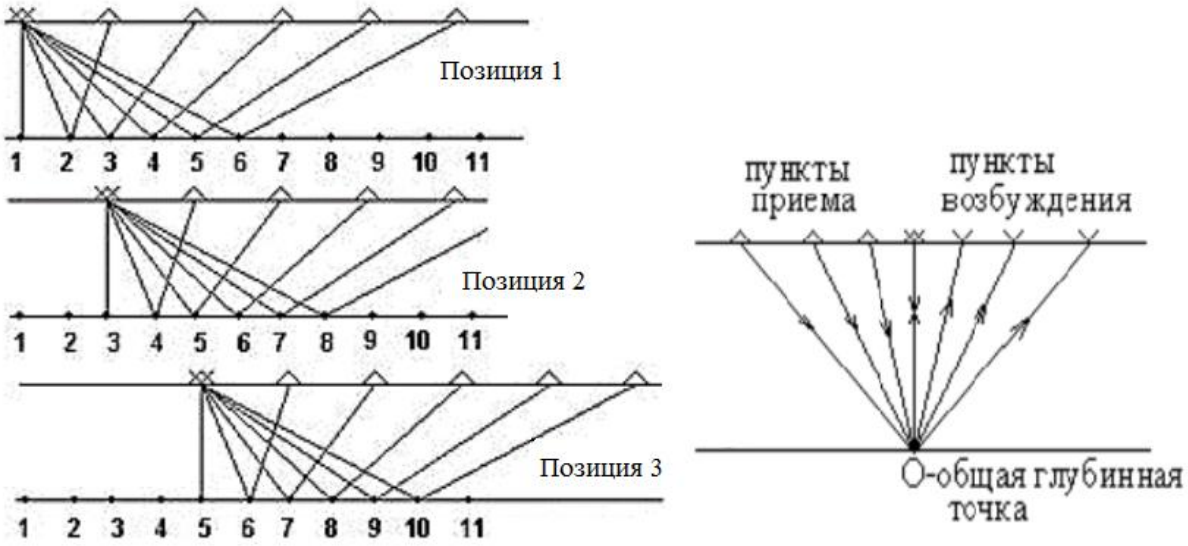

Рисунок 2 – Метод общей глубинной точки

Принципиальное достоинство метода заключается в том, что в процессе получения результатов существенно ослабляются волны-помехи. Однако обработка данных методом общей глубинной точки предъявляет высокие требования к используемым ЭВМ [3].

Пространственная интерполяция и экстраполяция в областях с низкой плотностью скважин (скважинных измерений фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пород) при использовании сейсмических данных основывается на атрибутном анализе.

Атрибутный анализ – это анализ динамики атрибутов волнового поля в межскважинном пространстве, а также прогноз свойств резервуара на основании связей, установленных между скважинными характеристиками (пористостью, проницаемостью, газонефтеводонасыщенностью и т.д.) и свойствами акустических волн (амплитудой, частотой, фазой). Физическая основа метода заключается в том, что атрибуты сейсмических волн связаны со свойствами пород: амплитуды отражений связаны с контрастами акустических жёсткостей на границе слоёв, частоты – с мощностями пластов и их литологическим составом, фазы – с характером переслаивания и т.д. [8].

Сейсмические атрибуты – это параметры, свойства или характеристики, полученные из сейсмических данных. Сейсмические атрибуты могут быть измерены в определенный момент времени или же во временном окне, также они могут измеряться как по одной трассе, так и по группе трасс, это могут быть извлеченные из сейсмических данных поверхности или объемы.

Вычисление сейсмических атрибутов включает в себя выбор окна, фильтрацию, сглаживание, вычисление статистических характеристик и другую обработку данных [9].

Под сейсмическими атрибутами понимают как конкретные измерения геометрических, динамических и кинематических характеристик волнового поля, так и статистические оценки, найденные с помощью сейсмических данных, то есть некоторые производные от сейсмических данных [8].

1.2 Методы геофизических исследований скважин

Геофизические исследования скважин (ГИС) – это комплекс методов исследования горных пород с целью изучения их свойств в межскважинном и околоскважинном пространствах.

Геофизические методы позволяют представить разрезы скважин набором физических характеристик, таких как теплопроводность изучаемых сред, удельное электрическое сопротивление, радиоактивность, скорость распространения упругих волн и др.

ГИС предназначены для выявления и оценки полезных ископаемых, осуществления контроля над разработкой нефтяных и газовых месторождений, изучения технического состояния скважин и т.д. ГИС также используются при контроле технического состояния скважин [10].

Методы ГИС могут быть разделены на электрические, радиоактивные, акустические, магнитные, термические и др.

1.2.1 Электрические методы ГИС

Электрические методы исследования разрезов скважин основаны на изучении электромагнитных полей различной природы в горных породах. Электромагнитные поля подразделяются на естественные и искусственные. Естественные поля в земной коре обусловлены электрохимическими процессами и другими природными явлениями. Искусственные электромагнитные поля создаются в горных породах генераторами постоянного или переменного тока различной мощности. Искусственные поля – непосредственный результат человеческой деятельности, направленный на изучение строения земной коры, поиск и разработку месторождений.

Естественные электрические поля изучают с помощью метода потенциалов собственной поляризации горных пород (ПС). Вокруг скважины, заполненной глинистым раствором или водой, самопроизвольно возникают электрические поля, названные самопроизвольной или собственной поляризацией. Происхождение таких потенциалов в скважине обусловлено тем, что на границах пластов возникают фильтрационные и окислительно-восстановительные процессы. Измерение естественных потенциалов сводится к замеру разности потенциалов между электродом, перемещаемым по скважине, заполненной водой или глинистым раствором, и электродом, находящимся на поверхности вблизи устья скважины. Разность потенциалов между неподвижным и перемещаемым электродами указывает на изменение электрического потенциала вдоль скважины и фиксируется в виде кривой ПС.

Искусственные электрические поля могут быть исследованы методами кажущегося сопротивления (КС), сопротивления заземления (БК и МБК), микрозондирования (МЗ) и др. Данные методы основаны на исследовании удельного электрического сопротивления земных пород с помощью зонда, который кроме записи кривых также обеспечивает перпендикулярное распределение тока на боковой поверхности скважины [10].

1.2.2 Радиоактивные методы ГИС

Радиоактивный каротаж (РК) – это геофизические методы изучения геологического разреза скважин, основанные на измерении характеристик полей естественных и искусственных ионизирующих излучений, происходящих в ядрах атомов. Наиболее широко распространены следующие виды радиоактивного каротажа: гамма-каротаж (позволяет изучать естественное γ-излучение горных пород); гамма-гамма-каротаж и нейтронный каротаж (основаны на эффекте взаимодействия источников γ-излучения и нейтронов с горной породой).

Гамма-каротаж применяют для изучения литологии пород, выделения глинистых и продуктивных пластов, качественной и количественной оценки их глинистости, пористости коллекторов. Интенсивность радиоактивного излучения пород в скважине измеряют при помощи индикатора γ-излучения (счетчика Гейгера-Мюллера), расположенного в глубинном приборе.

Гамма-гамма-каротаж (ГГК) – метод измерения характеристик полей рассеянного γ-излучения, возникающего при облучении горных пород источником γ-квантов вдоль ствола скважины. ГГК применяют для оценки пористости горных пород, изучения технического состояния скважин, выявления интервалов притока в скважину флюидов различной плотности и др.

Нейтронный гамма-каротаж основывается на измерении характеристик поля γ-излучения, возникающего в результате внешнего источника нейтронов. По нейтронным свойствам осадочные горные породы подразделяются на две группы: породы с низким и высоким

водородосодержанием. К первой группе относятся глины с высокой пористостью, которые содержат значительное количество минералов с химически связанной водой, а также некоторые очень пористые и проницаемые песчаники и карбонатные породы, насыщенные в естественных условиях жидкостью [10].

1.2.3 Акустические методы ГИС

Акустический каротаж (АК) основан на изучении характеристик упругих волн ультразвукового и звукового диапазона в горных породах. При АК в скважине возбуждаются упругие колебания, которые распространяются в ней и в окружающих породах, а затем воспринимаются приемниками, расположенными в той же скважине.

АК в основном сводится к определению скорости распространения упругих колебаний в пересеченных скважиной породах, также могут определяться поглощающие свойства горных пород.

Данные АК в комплексе с другими геофизическими методами позволяют уточнить литологию разреза; определить пористость пород; выделить зоны трещиноватости в карбонатном разрезе; получить сведения о техническом состоянии скважины, вычислить скорости распространения упругих колебаний, которые в дальнейшем используются при интерпретации данных сейсморазведки [10].

1.3 Прогноз параметра ГИС в трехмерном пространстве

В общем случае задачу моделирования петрофизического параметра можно сформулировать следующим образом: 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 $g_k(x_k, y_k, h)$ вдоль стволов скважин: $k = \overline{1, K}$, $h = \overline{h_0, h_{\max}}$; K – количество скважин; h_0 –

соответствующая глубина первого измерения; $h_{\max}$ – соответствующая глубина последнего измерения. Необходимо осуществить оценку параметра ГИС $G(x, y, h)$ в каждой точке, в которой сейсмический атрибут $S(x, y, h)$ известен.

Метод моделирования, используемый для решения выше рассмотренной задачи, базируется на геостатистическом подходе и в качестве основных уравнений использует два уравнения Крайгинга:

$$\hat{G}(x, y, h) = \sum_{k=1}^{K} v_k(x, y, h)\, \mathrm{g}_k(h), \tag{1}$$

$$\hat{S}(x, y, h) = \sum_{k=1}^{K} w_k(x, y, h) s_k(h), \tag{2}$$

где $\hat{G}(x, y, h)$ – значение параметра ГИС в точке прогноза с координатами (x, y, h), $g_k(h)$ – значения параметра ГИС, измеренные в стволе *k*-ой скважины; K – количество скважин; $v_k(x, y, h)$ – весовая функция *k*-ой скважины; $\hat{S}(x, y, h)$ – значение сейсмического атрибута в точке прогноза; $s_k(h) = S(x_k, y_k, h)$ – значение сейсмического атрибута вблизи *k*-ой скважины; $w_k(x, y, h)$ – весовая функция сейсмических данных вблизи *k*-ой скважины.

Как показано в [10], несмещенность оценок (1) и (2) при фиксированных аргументах *x*, *y* и *h* достигается при условиях

$$\sum_{k=1}^{K} w_k(x, y, t) = 1, \tag{3}$$

$$\sum_{k=1}^{K} v_k(x, y, t) = 1. \tag{4}$$

Учитывая то, что данные ГИС и сейсмические атрибуты измерены в пределах одного геологического объекта, предполагается, что их ковариационные свойства близки. В силу этого функции w_k, вычисляемые в

соответствии с выражением (2), принимаются схожими с функциями $v_{k,}$, а выражение (1) – эквивалентно выражению (5):

$$\hat{G}(x,y,h)=\sum_{k=1}^{K} w_k(x,y,h)\,\mathrm{g}_k(h)\,. \tag{5}$$

Выбор весовых функций w_k определяется минимизацией ошибки:

$$M\left[(G(x,y,t)-\hat{G}(x,y,t))^2\right]\to\min\,. \tag{6}$$

Или с учетом (2):

$$D\left[S(x,y,t)-\sum_{k=1}^{K} w_k(x,y,t)s_k(t)\right]\to\min\,. \tag{7}$$

В результате математических преобразований, дифференцирования выражения (7) относительно каждой искомой весовой функции и добавления методом неопределенных множителей Лагранжа уравнения $w_1^0(t)+w_2^0(t)+\cdots+w_K^0(t)=1$ (для учета условия (3)) получим систему линейных уравнений вида [11]:

$$C(h)\cdot W(h)=C^0(h), \tag{8}$$

$$C(h)=\begin{pmatrix} c_{11}(h) & c_{12}(h) & \cdots & c_{1K}(h) & 1\\ c_{21}(h) & c_{22}(h) & \cdots & c_{2K}(h) & 1\\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots\\ c_{K1}(h) & c_{K2}(h) & \cdots & c_{KK}(h) & 1\\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{pmatrix},\ W(h)=\begin{pmatrix} w_1\\ w_2\\ \vdots\\ w_K\\ \alpha(t) \end{pmatrix},\ C^0(h)=\begin{pmatrix} C_{K+1,1}(h)\\ C_{K+1,2}(h)\\ \vdots\\ C_{K+1,\mathrm{K}}(h)\\ 1 \end{pmatrix},$$

где $C(h)$ – ковариационная матрица значений сейсмического атрибута вблизи скважин; $W(h)$ – матрица весовых функций; $C^0(h)$ – матрица-столбец, коэффициенты которой – это ковариации значений сейсмического атрибута вблизи точек скважин и точки прогноза.

Для того чтобы исключить возможность получения физически нереального результата, на весовые коэффициенты накладываются дополнительные ограничения:

$$0\le w_k^0, k=\overline{1,K}\,. \tag{9}$$

2. Оценка информативности сейсмических атрибутов

2.1 Общая постановка задачи оценки информативности сейсмических атрибутов

Пусть имеются несколько сейсмических атрибутов $S^i(x, y, h)$, тогда $S_k^i(x_k, y_k, h)$ – это соответствующие для каждого атрибута выборки трасс в точках K скважин; $i = \overline{1, N}$, $k = \overline{1, K}$, $h = \overline{h_0, h_{\max}}$; N – количество сейсмических атрибутов; K – количество скважин; h_0 – соответствующая глубина первого отсчета сейсмической трассы; $h_{\max}$ – соответствующая глубина последнего отсчета сейсмической трассы.

Пусть также имеются измерения параметра ГИС $G_k(x_k, y_k, h)$ вдоль стволов тех же скважин: $k = \overline{1, K}$, $h = \overline{h_0, h_{\max}}$; K – количество скважин; h_0 – соответствующая глубина первого отсчета; $h_{\max}$ – соответствующая глубина последнего отсчета; известно, что $G_k(x_k, y_k, h)$ – образует генеральную совокупность.

Необходимо установить, какой из сейсмических атрибутов $S^i(x, y, h)$ окажется наиболее информативным при построении объемной модели $G(x, y, h)$ заданным методом.

2.2 Алгоритмы оценки информативности сейсмических атрибутов

Существующие алгоритмы оценки информативности сейсмических атрибутов базируются на непосредственном сопоставлении значений сейсмических атрибутов и параметров ГИС. Наиболее информативным принимается тот атрибут (или набор атрибутов), который по определенным признакам более соответствует параметру ГИС. Выбор необходимых признаков осуществляется с учетом решаемой задачи и метода её решения. Отдельной

задачей является выбор метода количественной оценки признака, среди которых можно выделить следующие [12]:

— метод главных компонент;
— метод главных факторов;
— нейронный анализ (алгоритм оценки значимости);
— регрессионный анализ.

2.2.1 Метод главных компонент

Метод главных компонент – один из способов уменьшить размерность данных при наименьшей потери информации. Данный метод позволяет уменьшить число переменных, выбрав наиболее изменчивые.

Идея метода состоит в преобразовании множества переменных в некоторое новое множество попарно некоррелированных переменных, таких, что первая соответствует максимально возможной дисперсии, вторая соответствует максимально возможной дисперсии в ортогональном первому подпространстве и т.д. Таким образом отбрасываются переменные, соответствующие минимальным дисперсиям. Выходом такой процедуры является набор данных, которые называются *главными компонентами*. Вычисление главных компонент сводится к вычислению собственных векторов и собственных значений ковариационной матрицы исходных данных. Главные компоненты оцениваются в соответствии с их вкладом в изменчивость данных. Компоненты, которые содержат шумовую и избыточную информацию, удаляются, и процесс повторяется.

Впоследствии по полученным вспомогательным переменным – главным компонентам – можно воспроизвести интересующие свойства массива данных, анализируемого согласно задаче [13].

2.2.2 Метод главных факторов

Метод главных факторов – один из методов факторного анализа.

Основное различие метода главных факторов и метода главных компонент заключается в том, что в методе главных компонент предполагается, что должна быть использована вся изменчивость переменных, тогда как в методе главных факторов используется только изменчивость переменной, общая и для других переменных.

Главные компоненты основываются на собственных числах и собственных векторах ковариационной матрицы, тогда как главные факторы опираются на такие же числа и векторы, но найденные для ее редуцированной формы, то есть такой, в которой элементы главной диагонали соответствуют общностям. *Общностью* называется доля дисперсии отдельной переменной, принадлежащая общим факторам (и разделяемая с другими переменными).

То есть главные компоненты описывают всю суммарную вариацию исходных данных, а главные факторы учитывают только суммарную общность этих данных.

Первый главный фактор, таким образом, описывает максимум суммарной общности, второй – следующую по величине ее часть и т.д. Аналогично главные факторы не коррелируют друг с другом, т.е. являются ортогональными [14].

2.2.3 Нейронный анализ

Нейронный анализ – подход, основанный на использовании искусственных нейронных сетей (ИНС). ИНС состоит из множества формальных нейронов [15]. Структура нейрона представлена на рисунке 3.

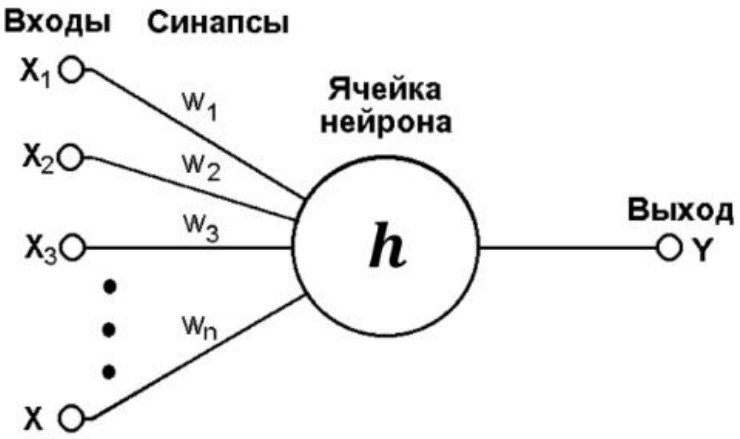

Рисунок 3 – Структура формального нейрона

На рисунке 3 имеются следующие обозначения:

$$h = \sum_{i=1}^{n} W_i X_i, \tag{10}$$

$$Y = f(h), \tag{11}$$

где W_i – синаптические веса, которые определяют значимость каждого входного сигнала X_i; $f(h)$ – передаточная функция; Y – выходной сигнал [16].

Как правило, ИНС состоят из нескольких нейронов, которые организованны в виде слоев. Каждый слой соединяется с предыдущим при помощи синаптических связей, вес которых влияет на конечный результат работы сети. Настройка таких весов синаптических связей называется обучением нейронной сети и чаще всего сводится к поиску таких значений весов, при которых выходной сигнал наиболее близок к некоторому эталонному значению [15].

Для определения информативного набора атрибутов может быть использован *алгоритм оценки значимости*. Идея алгоритма заключается в том, что если признак является избыточным для классификации набора примеров, то фиксация значения соответствующего входа сети не будет существенно ухудшать значение целевой функции обученной нейронной сети в сравнении с реальными значениями данного признака для того же набора примеров. То есть чем значимее признак, тем более негативно воздействие на целевую функцию

ИНС, когда вход этого признака фиксируется к среднему значению. Под *значимостью* имеется в виду коэффициент, отражающий степень реакции сети на фиксированный признак. Чем больше данный коэффициент, тем лучше представлен диапазон данных этим признаком [17].

2.2.4 Регрессионный анализ

Для установления связи между сейсмическими атрибутами и петрофизическими параметрами на практике чаще всего применяется метод линейного регрессионного анализа. С целью выявления значимой статистической зависимости данные ГИС, соответствующие породам с высокими коллекторскими свойствами, сравниваются с сейсмическими атрибутами. Прогнозная величина параметра ГИС рассчитывается по следующей формуле [18]:

$$P = a + bA, \tag{12}$$

где P – прогнозируемый петрофизический параметр;

A – сейсмический атрибут;

a и b – коэффициенты, вычисляемые методом наименьших квадратов.

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

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n}[(P_i - \bar{P}) \cdot (A_i - \bar{A})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \bar{P})^2 \cdot \sum_{i=1}^{n}(A_i - \bar{A})^2}}. \tag{13}$$

Величина коэффициента должна быть не менее 0.7. Если данное условие не выполнено, то нельзя говорить о надежности построенной модели. Таким образом, в данном случае критерием информативности является наличие линейной взаимосвязи между параметрами и атрибутами.

Также возможна оценка взаимосвязи петрофизического параметра с несколькими сейсмическими атрибутами методами множественного

регрессионного анализа. Однако такой подход не распространен на практике ввиду сложности его реализации.

2.2.5 Недостатки рассмотренных методов

Метод главных компонент допускает, что размерность данных может быть понижена путем линейного преобразования, однако это не всегда корректно по отношению к данным сейсморазведки. Также в основе метода лежит допущение о том, что больше всего информации несут те направления, в которых дисперсия входных данных максимальна. Тем же самым недостатком обладает *метод главных факторов*.

Недостаток *методов нейронного анализа* заключается в том, что для каждого отдельно взятого месторождения необходимо переобучать и видоизменять ИНС, что трудозатратно, поэтому данные методы плохо подходят для прогнозирования параметров геологической среды, в том числе и для поиска информативного атрибута.

Недостаток *методов регрессионного анализа* заключается в том, что на практике не существует сейсмического атрибута, который имел бы однозначную корреляционную связь с прогнозируемым параметром.

2.3 Предлагаемый метод решения

Методы, рассмотренные в пункте 2.2, направлены на исследование взаимосвязи непосредственно между кривыми (наборами значений) сейсмических атрибутов и данных ГИС. Однако в используемом методе моделирования петрофизического параметра ключевую роль играют весовые функции, которые, в свою очередь, зависят от изменчивости ковариационных свойств в пределах месторождения, но не непосредственно от кривых в точках скважин.

В соответствии с [11], рассматриваемый метод моделирования основан на предположении эквивалентности систем следующего вида:

$$C^S(h) \cdot W^S(h) = C_0{}^S(h), \tag{14}$$

$$C^G(h)\cdot W^G(h) = C_0{}^G(h), \tag{14}$$

$$\left\| W^S(h) - W^G(h) \right\| = 0, \tag{15}$$

где $C^S(h)$ и $C_0{}^S(h)$ – матрицы системы, рассчитанные по сейсмическому атрибуту; $C^G(h)$ и $C^G(h)$ – матрицы системы, рассчитанные по параметру ГИС; $W^S(h)$ и $W^G(h)$ – весовые функции, полученные по сейсмическим атрибутам и параметрам ГИС соответственно.

Выражение (15) является верным в случае, когда между $S(h)$ и $G(h)$ существует значимая и однозначная статистическая взаимосвязь и их ковариационные свойства схожи. В противном случае оценка параметра является приближенной, а выражение (15) преобразуется к следующему виду:

$$\left\| W^S(h) - W^G(h) \right\| = \varepsilon, \tag{16}$$

$$\overline{G^0(h)} \approx G^0(h). \tag{17}$$

где $\overline{G^0(h)}$ – прогнозное значение параметра ГИС; $G^0(h)$ – истинное значение параметра ГИС.

Таким образом, среди нескольких атрибутов S^i ($i = \overline{1, N}$, N – количество сейсмических атрибутов) наиболее информативным будет тот, при котором ε^i в выражении (16) – минимально. Такой атрибут должен быть использован для расчета коэффициентов СЛАУ (8).

2.3.1 Исследование метода на модельных данных

Для доказательства эффективности предложенного метода были проведены численные эксперименты на модельных данных. Модельные данные представляют собой три куба сейсмического атрибута и куб петрофизического параметра, сформированные в соответствии с выражениями (1) и (2). Значения сейсмических атрибутов и параметров ГИС вблизи скважины были сгенерированы с помощью функций Берлаге и Уолша соответственно.

В первом приближении сейсмотрасса представляет собой синусоиду, отклоняющуюся влево и вправо от нулевой линии. Степень отклонения от нуля – это амплитуда волны, она может быть как отрицательной, так и положительной. Также волна характеризуется периодом и частотой [7]. В связи с этим трасса сейсмического атрибута была сформирована на основе импульса Берлаге, который задается в общем виде следующей формулой:

$$S(t) = a_0\, t^n e^{-\beta t} \sin(2\pi f_0\, t),\ t \geq 0, \tag{18}$$

где a_0, n, β – параметры, определяющие конкретный вид огибающей импульса, f_0 – преобладающая частота.

Матрица корреляции между импульсами Берлаге в точках скважин имеет следующий вид:

$$R_{Ber} = \begin{pmatrix} 1.000 & 0.0884 & 0.0590 & 0.1236 \\ 0.0884 & 1.000 & 0.0010 & 0.1179 \\ 0.0590 & 0.0010 & 1.000 & 0.1170 \\ 0.1236 & 0.1179 & 0.1170 & 1.000 \end{pmatrix}. \tag{19}$$

По значениям матрицы (19) можно сделать вывод, что сгенерированные импульсы Берлаге в точках скважин линейно независимы и могут быть использованы для формирования коэффициентов СЛАУ.

Кривые ГИС были сформированы на основе функций Уолша, так как параметры ГИС в отличие от сейсмических данных меняются не синусоидально, а более резко, ступенчато. Функции Уолша могут быть сформированы на основе функции Радемахера, имеющей следующий вид:

$$r_k(\Theta) = \operatorname{sign}[\sin(2^k \pi\, \Theta)],\ 0 \leq \Theta < 1, \tag{20}$$

где аргумент Θ – безразмерный параметр, нормированный к произвольному интервалу, а k – порядок функции.

Кривые Уолша в точках скважин были заданы с помощью функций Радемахера следующим образом:

$$wal(1, \Theta) = r_1(\Theta), \tag{21}$$

$$wal(2, \Theta) = r_1(\Theta) \cdot r_2(\Theta), \tag{22}$$

$$wal(3,\Theta) = r_2(\Theta), \tag{23}$$

$$wal(4,\Theta) = r_2(\Theta) \cdot r_3(\Theta). \tag{24}$$

На рисунках 4.1-4.2 представлены графики полученных импульсов Берлаге и Уолша соответственно.

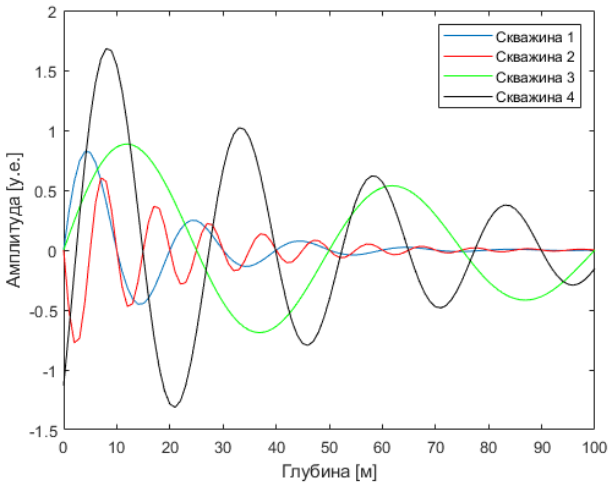

Рисунок 4.1 – Импульсы Берлаге в точках четырех скважин

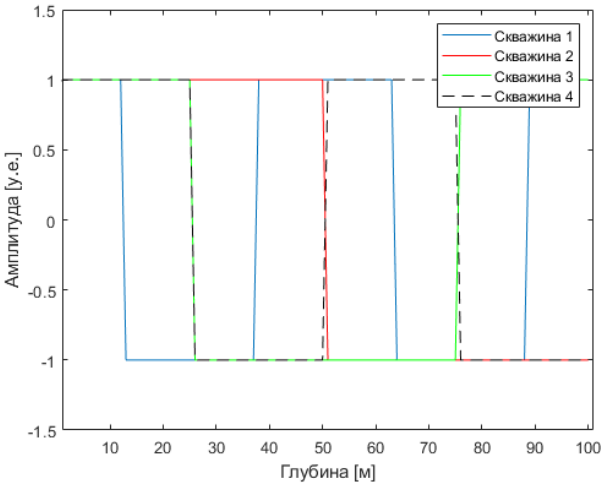

Рисунок 4.2 – Импульсы Уолша в точках четырех скважин

Схема расположения «псевдо-скважин» приведена на рисунке 5:

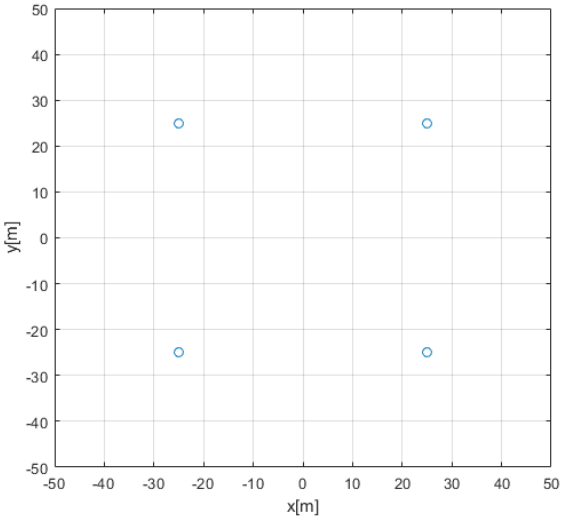

Рисунок 5 – Схема расположения скважин

Эксперимент проводился в три этапа с различными начальными условиями:

1. Кубы сейсмического атрибута и параметра ГИС рассчитываются с использованием одних и тех же весовых функций, то есть $V_k(x,y) = W_k(x,y)$, $k = \overline{1,4}$. Проекции поверхностей весовых функций представлены на рисунках 6.1-6.4.

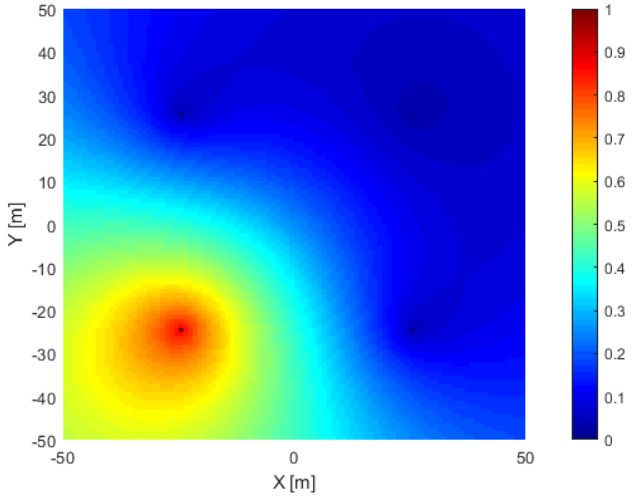

Рисунок 6.1 – Весовая функция $V_1(x,y)$

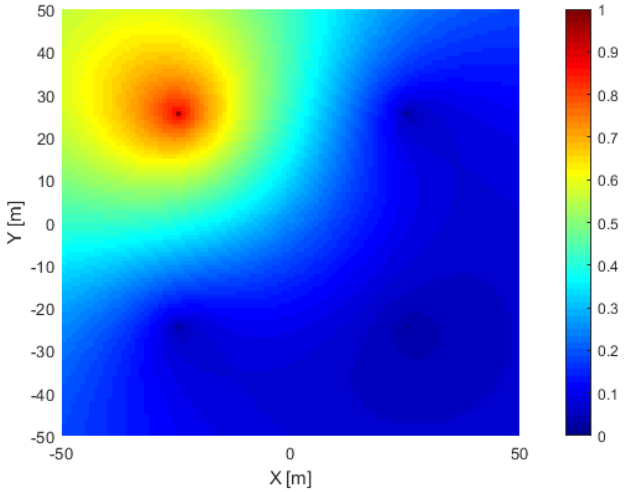

Рисунок 6.2 – Весовая функция $V_2(x,y)$

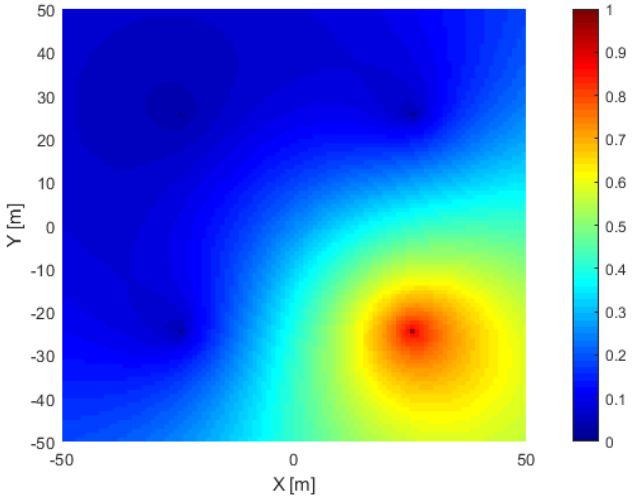

Рисунок 6.3 – Весовая функция $V_3(x,y)$

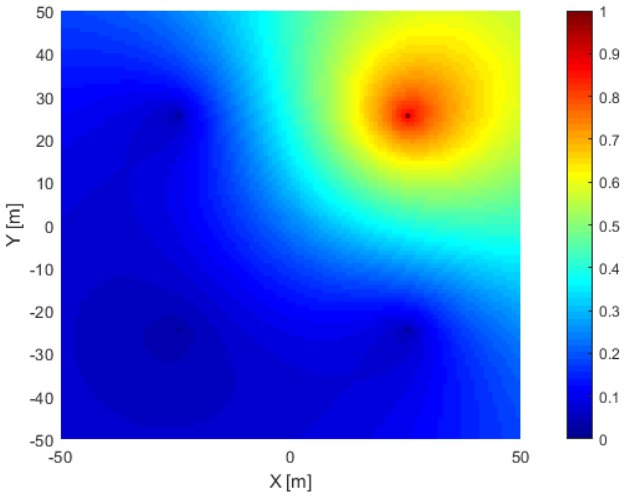

Рисунок 6.4 – Весовая функция $V_4(x,y)$

2. Весовые функции параметра ГИС $V_k(x,y)$ остались неизменными. Куб сейсмического атрибута рассчитывается с использованием незначительно видоизмененных весовых поверхностей. Симметрия поверхностей сохраняется, то есть скважины равнозначны. Проекции поверхностей весовых функций $W_k^2(x,y)$, $k = \overline{1,4}$, представлены на рисунках 7.1-7.4.

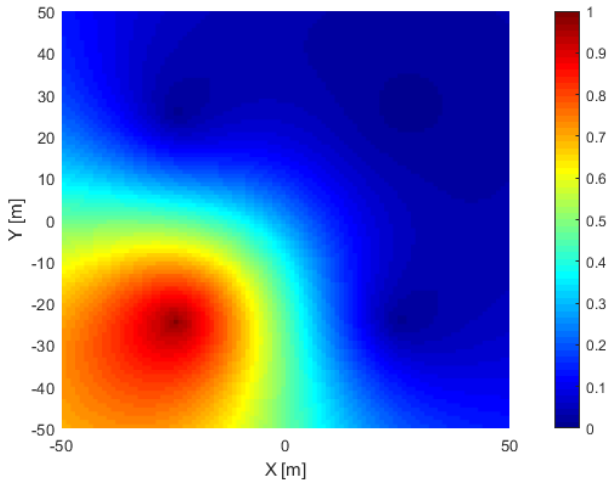

Рисунок 7.1 – Весовая функция скважины $W_1^2(x, y)$

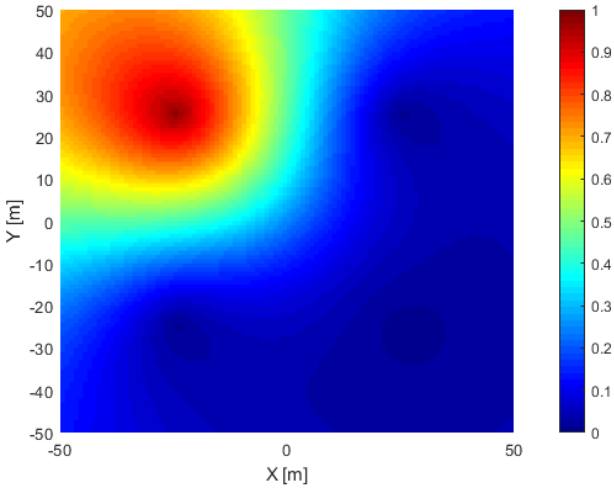

Рисунок 7.2 – Весовая функция скважины $W_2^2(x, y)$

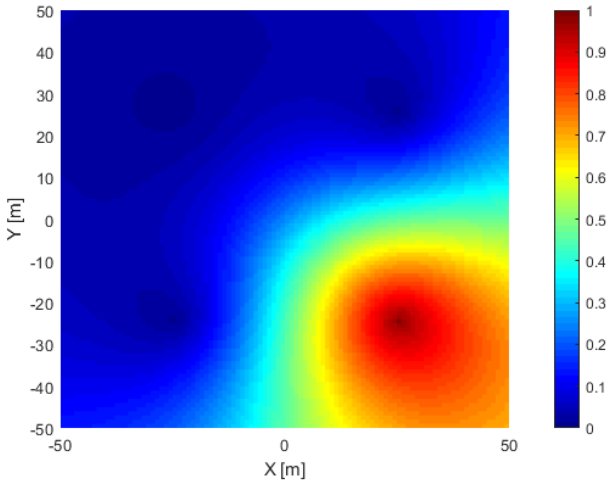

Рисунок 7.3 – Весовая функция скважины $W_3^2(x, y)$

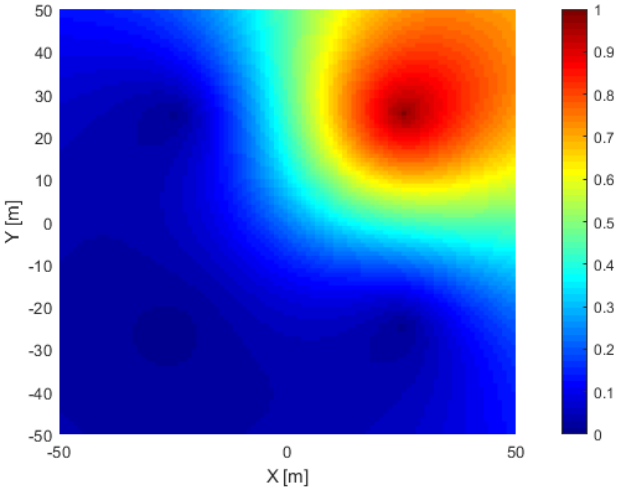

Рисунок 7.4 – Весовая функция скважины $W_4^2(x, y)$

3. Весовые функции параметра ГИС $V_k(x, y)$ остались неизменными. Куб сейсмического атрибута рассчитывается с использованием сильно видоизмененных поверхностей. Симметрия поверхностей не сохраняется. Проекции поверхностей весовых функций $W_k^3(x, y)$, $k = \overline{1,4}$, представлены на рисунках 8.1-8.4.

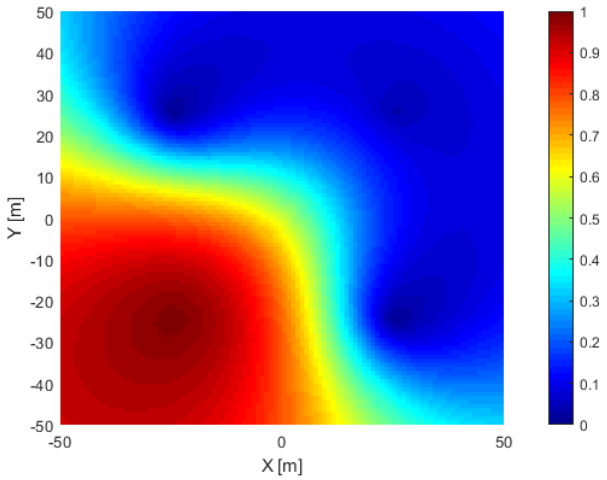

Рисунок 8.1 – Весовая функция скважины $W_1^3(x, y)$

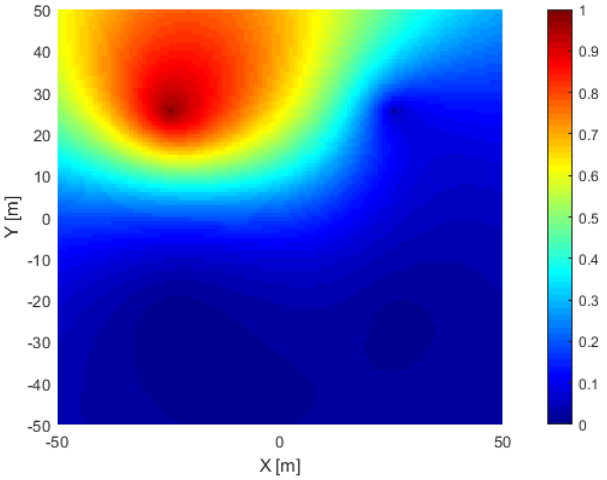

Рисунок 8.2 – Весовая функция скважины $W_2^3(x, y)$

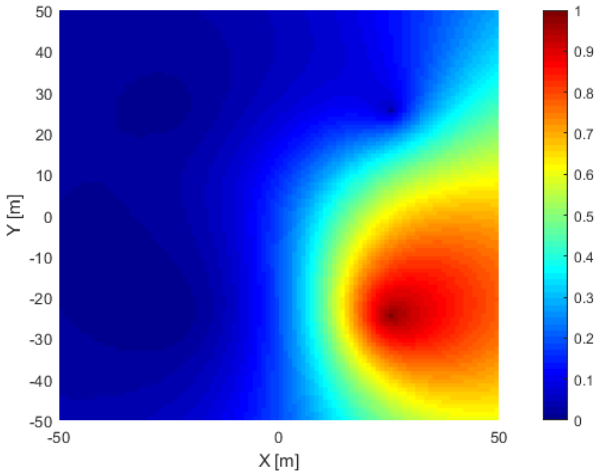

Рисунок 8.3 – Весовая функция скважины $W_3^3(x, y)$

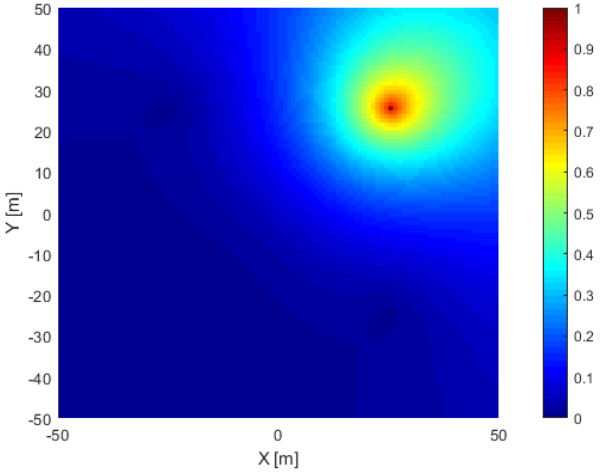

Рисунок 8.4 – Весовая функция скважины $W_4^3(x, y)$

В соответствии с заданными условиями этапов эксперимента для формирования кубов сейсмического атрибута согласно формуле (2) были смоделированы три набора весовых функций $W_k^m(x, y)$, $k = \overline{1..4}, m = \overline{1..3}$, для четырех скважин соответственно. Аналогично для формирования куба параметра ГИС согласно формуле (1) смоделирован набор весовых функций $V_k(x, y)$, $k = \overline{1,4}$. Визуализация одного из кубов сейсмического атрибута и параметра ГИС представлена на рисунках 9.1-9.2.

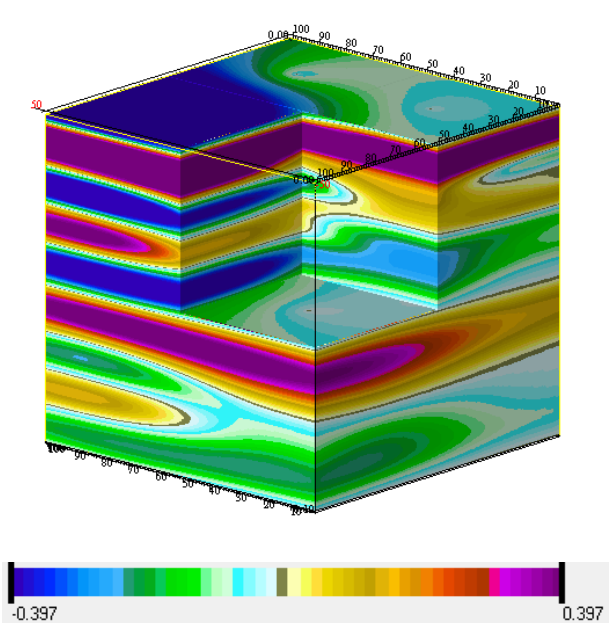

Рисунок 9.1 – Модельный куб сейсмического атрибута

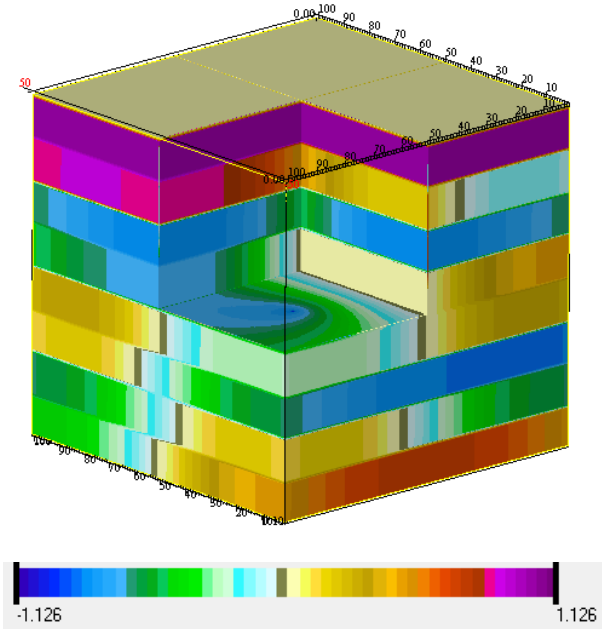

Рисунок 9.2 – Модельный куб параметра ГИС

Так как для формирования первого куба сейсмического атрибута и куба параметра ГИС использовались эквивалентные весовые функции, т.е. $W_k^1(x,y) = V_k(x,y), \quad k = \overline{1,4}$, заранее известно, что информативным является именно первый атрибут. Отсюда очевидно, что предложенный метод оценки информативности можно считать эффективным в том случае, если его применение позволит однозначно определить первый куб сейсмического атрибута как наиболее информативный.

На каждом этапе эксперимента на вход алгоритма моделирования подавался один из кубов сейсмического атрибута и координаты псевдо-скважин. Выходом алгоритма являлся набор прогнозных значений весовых функций параметра ГИС $\overline{V}_k(x,y)$, которые в дальнейшем сопоставлялись со своими истинными значениями $V_k(x,y)$ по формуле (16). На рисунках 10.1-10.3 представлены результаты сравнения в виде проекций поверхностей:

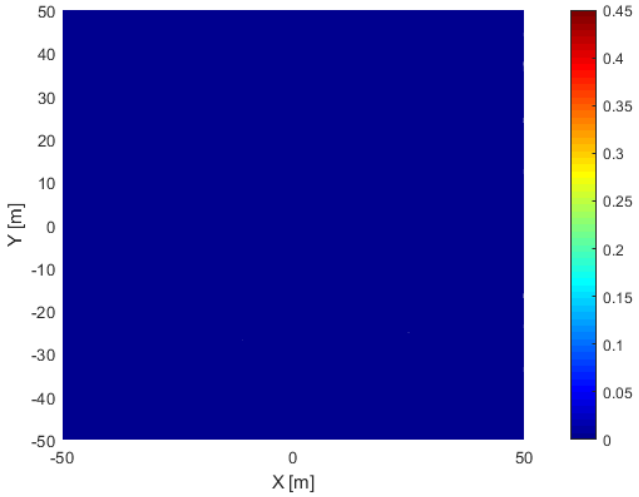

Рисунок 10.1 – Норма разности весовых функций (эксперимент 1)

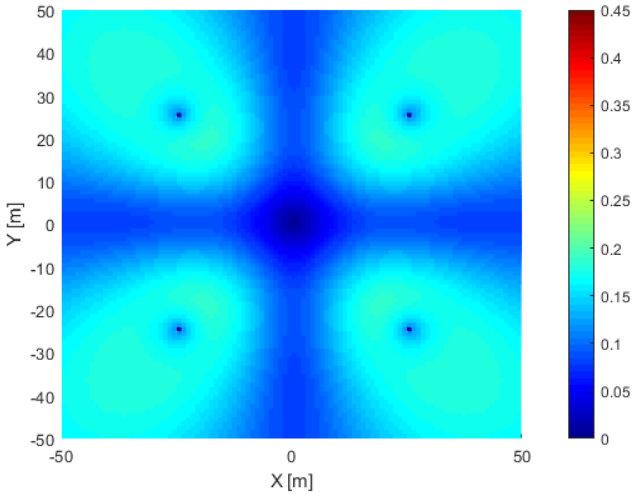

Рисунок 10.2 – Норма разности весовых функций (эксперимент 2)

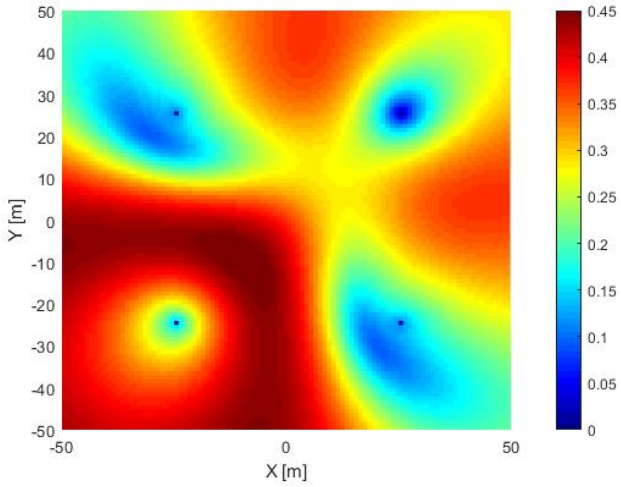

Рисунок 10.3 – Норма разности весовых функций (эксперимент 3)

Каждая точка этих поверхностей соответствует значению нормы разностей весовых функций. Как и предполагалось, наиболее информативным оказался первый атрибут, т.к. норма разности весов практически равна нулю во всех рассматриваемых точках (рис. 10.1). Менее информативным оказался второй атрибут, т.к. его использование повлекло незначительные искажения весовых функций (рис. 10.2). Наибольшие искажения при прогнозе весовых функций проявились при использовании сейсмического атрибута 3, что делает его наименее информативным (рис. 10.3). Все эти выводы подтверждают, что выдвинутый критерий оказался эффективным и может быть использован для оценки информативности сейсмических атрибутов.

Также, основываясь на том, что сгенерированные в точках скважин трассы сейсмического атрибута и параметра ГИС оставались неизменными во всех трех случаях, можно сделать вывод, что непосредственная оценка взаимосвязи этих трасс не подходит для используемого метода моделирования.

3. Алгоритм решения задачи

В разделе 2 было экспериментально доказано, что предложенный критерий эффективен для оценки информативности атрибутов.

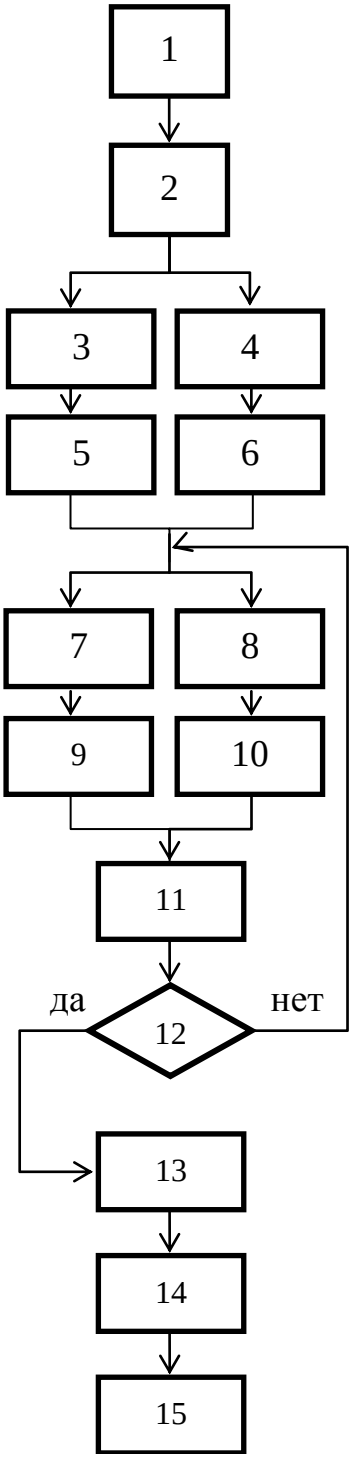

Рисунок 11 – Алгоритм поиска информативного атрибута

Однако, так как в условиях реальных данных параметр ГИС неизвестен в межскважинном пространстве, правую часть соответствующей СЛАУ (14) составить невозможно. Для решения данной проблемы предлагается использовать метод кросс-валидации, в соответствии с которым усредненное значение ошибки можно получить, последовательно используя данные каждой скважины для составления правой части системы. Однако важно учитывать, что применение метода кросс-валидации имеет свои риски: точность метода зависит от объема скважинных данных. Оценка тем точнее, чем больше объем данных.

Алгоритм поиска информативного атрибута представлен на рисунке 11.

1) Ввод данных МОГТ (файл .segy) и ГИС (файл .xls).

2) Поиск трасс МОГТ, координаты которых соответствуют координатам скважин, запись данных в файл .xls, считывание данных с файла.

3) Расчет матрицы ковариации трасс скважин для параметра ГИС.

4) Расчет матриц ковариации трасс скважин для сейсмических атрибутов.

5) Нормирование матрицы ковариации параметра ГИС, добавление единичной строки.

6) Нормирование матриц ковариации сейсмических атрибутов, добавление единичной строки.

7) Выбор из матрицы ковариации параметра ГИС столбца (скважины) для формирования правой части системы (14), исключение столбца и соответствующей строки из матрицы.

8) Выбор из матрицы ковариации каждого сейсмического атрибута столбца (скважины) для формирования правой части системы (14), исключение столбца и соответствующей строки из матрицы.

9) Решение системы линейных алгебраических уравнений (расчет весовых коэффициентов), составленной на основе параметра ГИС.

10) Решение систем линейных алгебраических уравнений (расчет весовых коэффициентов), составленных на основе каждого сейсмического атрибута.

11) Поиск нормы разности весовых коэффициентов, полученных из системы, составленной по параметру ГИС, и систем, составленных по каждому сейсмическому атрибуту попарно.

12) Проверка условия: для формирования правой части системы использовались все скважины?

13) Усредненение значений норм разности весовых коэффициентов по каждому сеймическому атрибуту.

14) Поиск наименьшего значения нормы разности.

15) Вывод результата.

3.1 Описание программной реализации

Алгоритм реализован в пакете прикладных программ MATLAB. Выбор MATLAB обусловлен большим количеством встроенных функций, удобством работы с матрицами и векторами, простотой построения графиков, а также возможностью подключать сторонние библиотеки, среди которых имеется

библиотека SeisLab, с помощью которой возможно работать с исходными данными – с файлами формата .segy.

В качестве входных параметров в алгоритме используются:

— количество сейсмических атрибутов;

— количество параметров ГИС;

— количество скважин и их координаты.

Данные параметры могут быть изменены пользователем программы.

Основной функционал программы включает:

- Считывание данных МОГТ из файлов формата .segy. Данная функция реализована с помощью сторонней библиотеки SeisLab. Считывание файла осуществляется в специальную структуру данных, хранящую в себе базовую информацию о файле .segy, а также заголовки трасс и их амплитуды.
- Считывание данных ГИС из файлов формата .xls. В файле .xls каждая строка соответствует одной из скважин; в первом столбце хранятся названия скважин, во втором – координаты X и Y; во всех последующих – значения параметра ГИС.
- Поиск ближайших по отношению к координатам скважин трасс сейсмического атрибута.
- Расчет матриц ковариации сейсмического атрибута и параметра ГИС (формирование левых частей СЛАУ).
- Формирование правых частей системы с использованием метода кросс-валидации; решение СЛАУ матричным методом.
- Определение наиболее информативного атрибута среди имеющегося набора для каждого параметра ГИС, запись результатов в структуру, в которой хранятся пары значений «параметр ГИС – наиболее информативный атрибут».
- Вывод результата в виде графиков.

Листинги кодов, реализующих алгоритм, представлены в Приложении А.

3.2 Тестирование программной реализации на данных месторождения Томской области

Метод протестирован на реальных данных, полученных на одном из месторождений углеводородов Томской области. В качестве исходных данных использовался один параметр ГИС – *Aps* (потенциал самопроизвольно возникающего электрического поля), измеренный в стволах шести скважин (рис. 12), и 8 сейсмических атрибутов, список которых приведен ниже:

1. *Fsrd* – куб суммы ОГТ с деконволюцией;
2. *g* – куб градиента амплитуды;
3. *n* – куб нормального луча;
4. *ns* – разность кубов нормального распределения и суммы ОГТ;
5. *puasson* – куб коэффициентов Пуассона;
6. *rn30Fsd* – куб рангов;
7. *sd* – результирующий временной куб с деконволюцией;
8. *vf45rn30Fsd* – куб рангов после адаптивной веерной фильтрации.

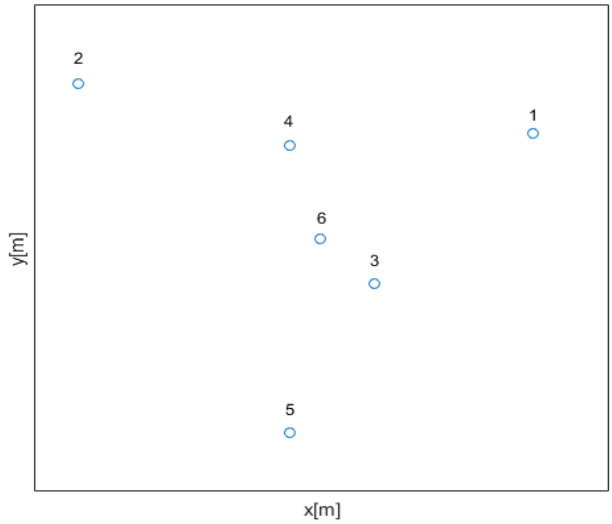

Рисунок 12 – Схема расположения скважин на месторождении

Системы вида (14) были составлены и решены для кривых параметра ГИС и сейсмических атрибутов в точках скважин с использованием метода кросс-валидации. Информативность каждого атрибута относительно *Aps*

была оценена посредством критерия (16). Нормы разности весовых коэффициентов были усреднены по каждому сеймическому атрибуту.

На рисунке 13 приведен график усредненных значений норм разностей весовых коэффициентов, полученных из системы, составленной по ГИС, и систем, составленных по сейсмическим атрибутам.

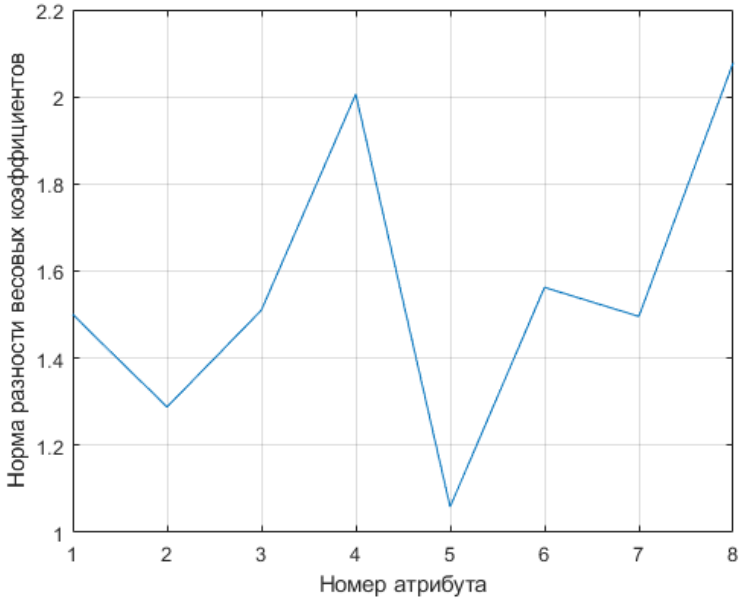

Рисунок 13 – Усредненные нормы разностей весовых коэффициентов параметра ГИС и сейсмических атрибутов

По графику на рисунке 13 можно отметить, что наименьшая норма разности весовых коэффициентов параметра *Aps* и сейсмического атрибута наблюдается при использовании атрибута *puasson*. Следовательно, для параметра *Aps* в качестве наиболее информативного атрибута принимаем атрибут *puasson*.

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 геолого-разведочными и геофизическими работами. Для данных компаний разрабатывается алгоритм для оценки информативности сейсмического атрибута.

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

Таблица 1 – Карта сегментирования рынка

		Направление деятельности			
		Обработка и интерпретация сейсмических данных	Обработка и интерпретация данных ГИС	Поиск связей между геологическими данными	Построение петрофизических моделей
Размер компании	Крупные	+	+	+	+
	Средние	+	+	–	+
	Мелкие	–	+	–	–

Согласно карте сегментирования рынка, выберем следующие сегменты: поиск связей между геологическими данными для средних и мелких компаний.

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, исследованного в работе, основным критерием информативности, является норма разности весов полученных решений систем, составленных по данным ГИС и атрибутам (осн). Конкурентные методы: метод главных компонент (гк), факторный анализ (фа). Более подробное описание данных методов приведено в разделе «Существующие методы решения задачи».

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

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес	Баллы			Конкуренто-способность		
		$Б_{осн}$	$Б_{гк}$	$Б_{фа}$	$Б_{осн}$	$Б_{гк}$	$Б_{фа}$
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Эффективность	0,3	4	4	4	1,2	1,2	1,2
Устойчивость	0,2	5	5	5	1	1	1
Временные затраты	0,2	5	4	4	1	0,8	0,8
Новизна метода	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
Простота реализации	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
Универсальность	0,1	4	4	4	0,5	0,4	0,4
Итого	**1**	**29**	**24**	**25**	**4,7**	**4,1**	**4,2**

По полученным результатам можно сделать вывод, что разрабатываемый алгоритм для оценки информативности является по конкурентоспособности наиболее эффективным.

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:

- **S**trengths (сильные стороны),
- **W**eaknesses (слабые стороны),
- **O**pportunities (возможности),
- **T**hreats (угрозы).

Разработанная для алгоритма поиска информативного атрибута матрица SWOT представлена в таблице 3.

Таблица 3 – SWOT- анализ

	Сильные стороны: С1. Высокая эффективность алгоритма для поиска информативного атрибута С2. Гибкость алгоритма с точки зрения считывания исходных данных С3. Низкая стоимость по сравнению с бурением исследовательских скважин С4. Простая эксплуатация	**Слабые стороны**: Сл1. Узкий круг целевой аудитории. Сл2. Использование только одного платного языка программирования MatLab.
Возможности: В1. Расширение функционала. В2. Написание алгоритма на других языках программирования.	Благодаря гибкости и высокой эффективности алгоритм может быть дополнен реализацией других критериев оценки информативности атрибута.	Написание алгоритма на другом языке программирования, а также расширение функционала могут сделать алгоритм более широко применимым, увеличить целевую аудиторию.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на продукт на рынке. У2. Развитие и появление аналогов алгоритма.	Наглядные результаты использования алгоритма, а также его низкая стоимость могу увеличить спрос на него.	Узкая направленность и использование платного языка программирования могут ослабить интерес покупателей.

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	Исполнители	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:

$$t_{ожс} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}, \quad (25)$$

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:

$$t_{раб} = t_{ожс} \cdot k_д, \quad (26)$$

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

$k_д$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на консультации и согласование работ, $k_д$ = 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:

$$t_к = t_{раб} \cdot K_н, \quad (27)$$

где $t_к$ – длительность этапов работ в календарных днях;

$K_н$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$K_н = \frac{T_к}{T_к - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (28)$$

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

$T_{вд}$ – количество выходных дней, $T_{вд}$ 108,

$T_{пд}$ – количество праздничных дней, $T_{пд}$ =10,

$$K_н = \frac{365}{365 - 108 - 10} = 1.478. \quad (29)$$

Все расчеты сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Временные показатели проведенных работ

№	Исполнители	Продолжительность работ в днях			Трудоемкость	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$t_{раб}$	t_k
1	НР	1	2	1,4	1,68	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	2	5	3,2	3,84	5,68
6	С, НР	3	6	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	4	6	4,8	5,76	8,51
10	С, НР	2	5	3,2	3,84	5,68
11	С, НР	2	4	2,8	3,36	4,97
12	С	5	7	5,8	6,96	10,29
13	С	4	5	4,4	5,28	7,80
14	С, НР	9	12	10,2	12,24	18,09
Итого				**58**	**69,6**	**102,87**

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

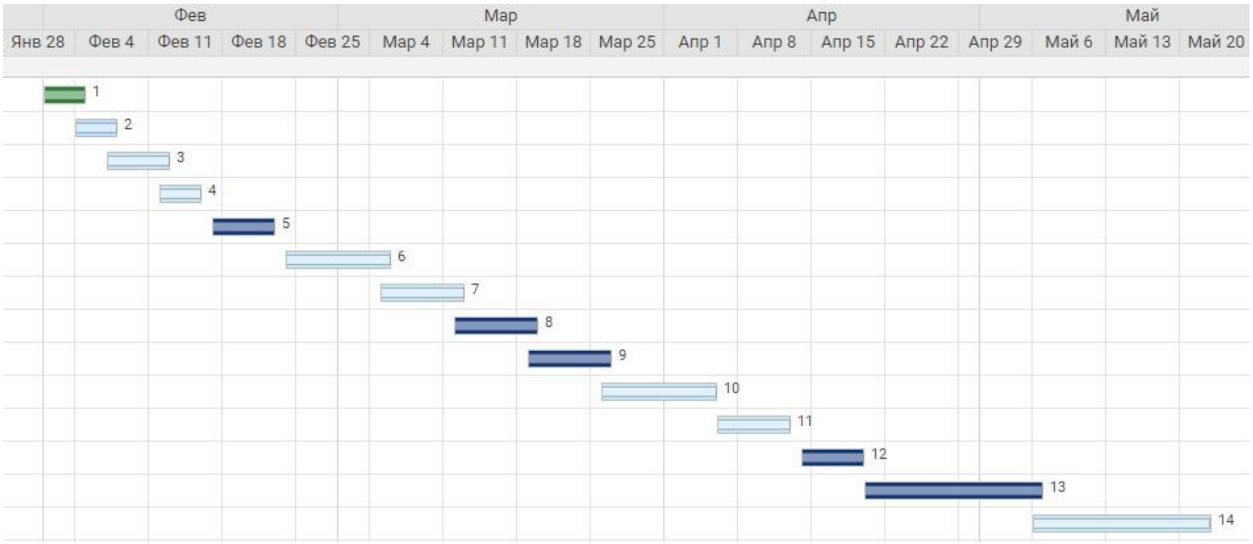

Рисунок 14 – Диаграмма Ганта

– научный руководитель

– научный руководитель и студент

– студент

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.

В ходе выполнении НТИ использовалось имеющееся компьютерное оборудование, поэтому его стоимость учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений за 5 месяцев (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.
Амортизация оборудования	шт.	1	16000	16000
Итого				16000

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	Заработная плата основная, руб.
Руководитель	23265	1,3	30244,5	1218	43	52374
Итого:						52374

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:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0.15 \cdot 52374 = 7856.1, \quad (30)$$

где $З_{осн}$ – 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:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (31)$$

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	52374	7856,1
Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды	14664,72	2199,7
Итого		16864,42

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:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{ир}, \quad (32)$$

где $k_{ир}$ – 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	16 000
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей проекта	52 374
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта	7856
4. Отчисления во внебюджетные фонды	16864
5. Накладные расходы	14 895
Бюджет затрат НТИ	107 989

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:

$$I_{финр}^{испi} = \frac{Ф_{pi}}{Ф_{\max}}, \quad (33)$$

где $Ф_{pi}$ – стоимость варианта исполнения, $Ф_{max}$ – 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:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (34)$$

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:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп.1}}{I_{финр}^{исп.1}},$$
$$I_{исп.2} = \frac{I_{р-исп.2}}{I_{финр}^{исп.2}}. \quad (35)$$

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:

$$Э_{ср} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.1}}. \quad (36)$$

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	5
2. Удобство в эксплуатации	0,2	4	3
3. Удобство в считывании исходных данных	0,2	5	2
4. Скорость работы	0,1	4	3
5. Простота эксплуатации	0,1	4	3
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

Охрана окружающей среды и труда, а также обеспечение безопасности работников в чрезвычайных ситуациях являются важными составляющими организации рабочего процесса.

В настоящее время электронно-вычислительные машины (ЭВМ) находят все большее применение и на производстве, и для научно-исследовательских целей. Однако компьютеры являются источниками вредного воздействия на организм человека, следовательно, могут стать причиной возникновения профессиональных заболеваний.

В связи с этим необходимо соблюдать требования безопасности при работе с ЭВМ. В ином случае человек может начать испытывать дискомфорт, у него может ухудшиться зрение, могут появиться боли в шее, пояснице. Также может возникнуть нервное истощение.

В рамках данной работы объектом исследования раздела «Социальная ответственность» является алгоритм, реализуемый в виде программного приложения с помощью ЭВМ. В связи с чем необходимо знать вредные и опасные факторы при работе с ЭВМ, а также способы их устранения.

5.1 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» [19] и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [20]. При проектировании рабочих мест должны быть учтены освещенность, шум, температура, влажность, наличие электромагнитных полей и другие санитарно-гигиенические требования.

Основные требования СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03:

- При размещении рабочих мест с персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) расстояние между рабочими столами с

дисплеями должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями дисплеев – не менее 1,2 м.

- Экран дисплея должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 0,6 – 0,7 м, но не ближе 0,5 м.

- Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики.

- Конструкция рабочего стула должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.

- Рабочий стул должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

- Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

- Допустимый уровень напряженности электромагнитного поля в 0,5 метрах относительно дисплея и системного – 2,5 [*В/м*];

- Допустимый уровень плотности магнитного потока в 0,5 метрах относительно дисплея и системного блока в диапазоне частот 5-2 [*КГц*] составляет 250 [*нТл*]; поверхностный электростатический потенциал составляет 500 [*В*].

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 [19].

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.

1. Закон РФ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» № 68 – ФЗ от 21.12. 1994 г. определяет общие для РФ организационно-правовые нормы в области защиты граждан РФ, иностранных граждан и лиц без гражданства, находящихся на территории РФ, всего земельного, водного, воздушного пространства в пределах РФ или его части, объектов производственного и социального назначения, а также окружающей природной среды от ЧС природного и техногенного характера.

2. Закон РФ «О гражданской обороне» № 28 – ФЗ от 12.02.1998 г. определяет задачи в области гражданской обороны и правовые основы их осуществления, полномочия органов государственной власти РФ, органов исполнительной власти субъектов РФ, органов местного самоуправления, организаций независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности, а также силы и средства гражданской обороны.

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

5.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих вероятность воздействия на работающих опасных травмирующих производственных факторов, возникающих в рабочей зоне в процессе трудовой деятельности [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, то есть факторы, приводящие к заболеванию, в том числе усугубляющие уже имеющиеся заболевания;

– опасные производственные факторы, то есть факторы, приводящие к травме, в том числе смертельной [22].

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
	Разра-ботка	Эксплуа тация	
1. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	СП 52.13330.2016 *Естественное и искусственное освещение.* Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [23]
2. 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]
3. Отклонение показателей микроклимата	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [25]
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [26]

5.2.1 Анализ выявленных вредных факторов

Недостаточная освещенность рабочей зоны. Неправильно организованное освещение может негативно сказаться на здоровье работников, может ухудшиться зрение. Также недостаточная освещенность может привести к быстрому утомлению и снижению работоспособности. В соответствии со сводом нормативных актов СП 52.13330.2016 *Естественное и искусственное освещение.* Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [23] 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 зеркализованными 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.

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.

Отклонение показателей микроклимата. При определенных значениях параметров микроклимата человек испытывает состояние теплового комфорта, что способствует повышению производительности труда, предупреждению простудных заболеваний. Неблагоприятные значения микроклиматических показателей могут стать причиной снижения производственных показателей в работе, привести к таким заболеваниям, как различные формы простуды, радикулит, тонзиллит, хронический бронхит и др. Слишком высокая влажность затрудняет терморегуляцию, а слишком низкая вызывает пересыхание слизистых: дыхательных путей и глаз. Также уровень влажности влияет на электростатические и электромагнитные поля: чем он выше, тем слабее влияние указанных полей.

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 [25], 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.

5.2.2 Анализ выявленных опасных факторов

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

Для предотвращения поражения электрическим током при работе с компьютером необходимо:

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

Часто в процессе эксплуатации ЭВМ возникает необходимость замены и ремонта ее составляющих. В соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 запрещено проводить ремонт ЭВМ непосредственно в рабочих, лабораторных и рабочих помещениях [26].

5.3 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.

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

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.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В Томске преобладает континентально-циклонический климат. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.) отсутствуют. Возможными ЧС могут быть сильные морозы и пожары.

Морозы. Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Кроме того, необходимо иметь альтернативные источники тепла, электроэнергии и транспорта.

Пожары. 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.

При возникновении пожара человек, обнаруживший пожар, обязан:

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

5.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

Отрицательное воздействие ЭВМ на человека сглажено многими положительными моментами. При соблюдении условий, определяющих оптимальную организацию рабочего места программиста, можно сохранить хорошую работоспособность в течение всего рабочего дня, повысить производительность труда, что в свою очередь будет способствовать быстрейшей разработке и отладке программного продукта.

Во избежание негативного влияния на здоровье необходимо делать перерывы при работе с ЭВМ и проводить специализированные комплексы упражнений для глаз.

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

В отношении чрезвычайных ситуаций – Томск находится в сейсмически неактивной зоне, далекой от океана, природные явления (наводнения,

землетрясения, засухи, ураганы и т. д.) в нем отсутствуют. Возможные ЧС: пожары и морозы. При соблюдении обязательных мер возгорания можно предотвратить. Однако морозы предотвратить невозможно, вследствие чего необходимо иметь альтернативные источники тепла, электроэнергии и транспорта.

Таким образом, чтобы избежать вредного воздействия при работе с ЭВМ необходимо соблюдать соответствующие меры безопасности, правильно планировать рабочее место и режим работы.

Заключение

В ходе выполнения работы был проведен анализ существующих алгоритмов оценки информативности сейсмических атрибутов, основанных на исследовании взаимосвязи непосредственно между кривыми сейсмических атрибутов и данных ГИС.

Однако было экспериментально доказано, что непосредственная оценка такой взаимосвязи не подходит для используемого метода моделирования. В связи с этим был предложен другой алгоритм, который оказался эффективным и может быть использован для оценки информативности сейсмических атрибутов.

Количественная оценка критерия реализована в виде программного кода средствами пакета прикладных программ MATLAB. Алгоритм оценки информативности протестирован на модельных данных, а также на реальных данных месторождения Томской области.

Список использованных источников

[1] Бакиров Э. А., Ермолкин В. И., Ларин В. И. и др. Геология нефти и газа: Учебник для вузов / Под ред. Э. А. Бакирова. – М.: Недра, 1990. – 240 с.

[2] Лаврик А.С., Логинов Д.В., Ванярхо М.А. Применение нейросетей для прогнозирования пористости в 3D кубах (расчет по сейсмическим атрибутам и каротажным данным) / Приборы и системы разведочной геофизики, ООО "ИнформГеофизСервис", №01(39)/2012, стр. 56-57.

[3] И.В. Бондарев. Сейсморазведка – Екатеринбург, Уральский государственный горный университет, 2007. – 703с.

[4] ГОСТ 16821-91 Сейсморазведка. Термины и определения. – Взамен ГОСТ 16821-71; Введ. С 01.07.92. - Москва: Изд-во стандартов, 1982. – 29 с.

[5] Бондарев В. И., Крылатков С. М. Основы обработки и интерпретации данных сейсморазведки. – Екатеринбург, 2001. – 192 с.

[6] Тихонов А.И., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач – М. Недра, 1979.

[7] Нежданов, А. А. Геологическая интерпретация сейсморазведочных данных : курс лекций / А. А. Нежданов. – Тюмень : ТИУ, 2017. – 171 с.

[8] Атрибутный анализ. Теория [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://petroportal.ru/post/atributnyy-analiz-teoriya.html (дата обращения: 20.01.2019)

[9] Виктор Орре Донателла Астрати, Таха Нассер Али Аль Дайини Сабри Лотфи Махмуд, Эндрю Б.С. Кларк, Майкл Дж. Стеллас Джек В. Стрингер, Брайан Толл, Оле В. Вайбэк Джиллиан Уайт «Обнаружение мелких разломов и трещин с помощью сейсмических данных», Нефтегазовое обозрение, 24, №2 (лето 2012 г)

[10] В.Н. Косков, Б.В. Косков – Геофизические исследования скважин и интерпретация данных ГИС. – Пермь, Перм. гос. техн. ун-т., 2007. - 304 стр.

[11] Шестаков В. В., Степанов Д. Ю., Сысолятина Г. А. Построение трехмерных моделей параметров геологических сред // Информационные

технологии в науке: сборник научных трудов III Международной конференции. В 2 т., Томск, 23-26 Мая 2016. – Томск: ТПУ, 2016 – Т. 1 – С. 87-91.

[12] Логинов Д.В., Лаврик С.А. Некоторые методы определения информативного набора сейсмических атрибутов для прогнозирования свойств коллекторов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2010. – Т.5. – №1.

[13] Айвазян С. А., Бухштабер В. М., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.

[14] StatSoft, Inc. (2012). Электронный учебник по статистике. Москва, StatSoft. WEB: http://statsoft.ru/home/textbook/modules/stfacan.html.

[15] Саймон Хайкин. Нейронные сети. – Москва, Вильямс – 2006 – 1104 с.

[16] Самое главное о нейронных сетях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/company/yandex/blog/307260/ (дата обращения: 20.02.2019)

[17] Дубровин В.И., Субботин С.А. Оценка значимости признаков на основе многослойных нейронных сетей в задачах диагностики и распознавания //Информатика и системы управления, 2002. – № 1(3). – С. 66-72.

[18] Ю.Н. Воскресенский. Полевая геофизика. – Москва, Недра, 2010 – 479 с.

[19] ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».

[20] СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»

[21] Производственная безопасность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://it.rfei.ru/course/~4VxS/~IBBT/~uB4p0IUo (дата обращения: 06.05.2019)

[22] ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»

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

[24] СН 2.2.4/2.1.8.562–96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки»

[25] СанПиН 2.2.4.548–96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»

[26] СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»

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 А

Листинг 1. Код m-файла для считывания исходных данных сейсмического атрибута из файла .segy и формирования файла с трассами .xls

```
%Параметры фала EXCEL с координатами скважин----------------
WritingExcelName = 'C:\Users\Аржаник\Desktop\Поиск трасс
скважин\Трассы скважин';
ExcelName='C:\Users\Аржаник\Desktop\Поиск трасс скважин\Координаты
скважин.xlsx';
range='B1:C4';%Диапазон координат скважин
SheetName='Coords';%Имя листа EXCEL
%Параметры считываемого SEGY-------------------------------
SegyName = 'C:\Users\Аржаник\Desktop\Поиск трасс
скважин\Berlage.sgy';
r = 1; %Шаг, с которым меняются координаты
dh = 1; %Шаг жискретизации по глубине
x_LineNum = 3; %Строка в headers, где хранится координата x
y_LineNum = 4; %Строка в headers, где хранится координата y

coords = xlsread(ExcelName, SheetName, range);%Считываем названия
скважин
seismic = read_segy_file('C:\Users\Аржаник\Desktop\Поиск трасс
скважин\Berlage.sgy');
[Headskv, SkvTr, SkvTraceNum] = SearchOfWells (seismic, coords,
x_LineNum, y_LineNum, r);

SkvTr = SkvTr';
size_SkvTr = size(SkvTr);
WritingData = zeros(size_SkvTr(1) + 1, size_SkvTr(2));
WritingData(1,1) = seismic.first;% начальное время куба
for i = 2:size_SkvTr(2)
    WritingData(1,i) = WritingData(1, i -1) + dh;
end;
WritingData(2:size_SkvTr(1) + 1,:) = SkvTr;
xlswrite(WritingExcelName, WritingData);
```

Листинг 2. Код m-файла для считывания исходных данных из фалов .xls, формирования и нормирования матриц ковариации

```
NumOfAttr=8;%Количество атрибутов
NumOfFES=1; %Количество параметров ГИС
NumOfWells = 6; % Количество скважин
NumOfSamplesInTrace = 21; % Число значений в трассе

%Формирование структуры для параметров ГИС и атрибутов
FES = struct('wells', zeros(NumOfSamplesInTrace,NumOfWells));
attributes = struct('wells',
zeros(NumOfSamplesInTrace,NumOfWells));
```

```
%Считывание трасс скважин для атрибутов----------------
ExcelName='C:\Users\Аржаник\Desktop\Поиск трасс скважин\Трассы
скважин атрибуты.xls';
range='A2:CW5';%Диапазон данных
SheetName='Лист1';%Имя листа EXCEL
FES1=xlsread(ExcelName, SheetName, range);
FES.wells = FES1';

%Считывание трасс скважин для ГИС----------------
ExcelName='C:\Users\Аржаник\Desktop\Поиск трасс скважин\Трассы
скважин ГИС.xls';
range='A2:CW5';%Диапазон данных
SheetName='Лист1';%Имя листа EXCEL
attributes1=xlsread(ExcelName, SheetName, range);
attributes.wells = attributes1';

%%-----------Блок расчета матриц ковариации----------------
cov_FES = struct('matrix', zeros(NumOfWells+1, NumOfWells+1));
cov_attributes = struct('matrix',zeros(NumOfWells+1,
NumOfWells+1));
for i=1:NumOfFES
    cov_FES(i).matrix = ones(NumOfWells+1, NumOfWells+1);
    cov_FES(i).matrix(1:NumOfWells,1:NumOfWells) =
Covariation(FES(i).wells);
    cov_FES(i).matrix(NumOfWells+1,NumOfWells+1) = 0;
end;
for i=1:NumOfAttr
    cov_attributes(i).matrix = ones(NumOfWells+1, NumOfWells+1);
    cov_attributes(i).matrix(1:NumOfWells,1:NumOfWells) =
Covariation(attributes(i).wells);
    cov_attributes(i).matrix(NumOfWells+1,NumOfWells+1) = 0;
end;

%%--------Блок нормирования матрицы ковариации------------
% Для ФЕС:
for k = 1:NumOfFES
    for i = 1:NumOfWells
        a = cov_FES(k).matrix(i,i);
        for j = 1:(NumOfWells+1)
            cov_FES(k).matrix(i,j) = cov_FES(k).matrix(i,j)/a;
        end;
    end;
end;
% Для сейсмических атрибутов:
for k = 1:NumOfAttr
    for i = 1:NumOfWells
        b = cov_attributes(k).matrix(i,i);
        for j = 1:(NumOfWells+1)
            cov_attributes(k).matrix(i,j) =
cov_attributes(k).matrix(i,j)/b;
        end;
    end;
end;
```

```
%------Формирование вектора структур для решений---------
solution = struct('FES', ones(NumOfWells, NumOfFES),
'attr',ones(NumOfWells, NumOfAttr));
for i=1:NumOfWells
solution(i).FES = ones(NumOfWells, NumOfFES);
solution(i).attr = ones(NumOfWells, NumOfAttr);
end;
```

Листинг 3. Код m-файла для решения систем, составленных по сейсмическим атрибутам

```
B=zeros(NumOfWells,1); %формирование правого столбца B
A=zeros(NumOfWells,NumOfWells); %формирование матрицы A
for u=1:NumOfAttr   %фиксируем атрибут
    for p=1:NumOfWells   %фиксируем скважину
        i=1; j=1; k=1; t=1;
        while i<=NumOfWells
            if k~=p
                while j<=NumOfWells
                    if t~=p
                         A(i,j)=cov_attributes(u).matrix(k,t);
                         B(j)=cov_attributes(u).matrix(t,p);
                         j=j+1;
                         t=t+1;
                    else
                        t=t+1;
                    end;
                end;
                i=i+1;
                k=k+1;
            else
                k=k+1;
            end;
            j=1;
            t=1;
        end;
        X=A\B;
        for i=1:NumOfWells
            solution(p).attr(i,u)=X(i);
        end;
    end;
end;
```

Листинг 4. Код m-файла для решения систем, составленных по параметрам ГИС

```
B=zeros(NumOfWells,1); %формирование правого столбца B
A=zeros(NumOfWells,NumOfWells); %формирование матрицы A
for u=1:NumOfFES   %фиксируем ФЕС
    for p=1:NumOfWells   %фиксируем скважину
        i=1; j=1; k=1; t=1;
        while i<=NumOfWells
```

```
            if k~=p
                while j<=NumOfWells
                    if t~=p
                         A(i,j)=cov_FES(u).matrix(k,t);
                         B(j)=cov_FES(u).matrix(t,p);
                         j=j+1;
                         t=t+1;
                    else
                        t=t+1;
                    end;
                end;
                i=i+1;
                k=k+1;
            else
                k=k+1;
            end;
            j=1;
            t=1;
        end;
        X=A\B;
        for i=1:NumOfWells
            solution(p).FES(i,u)=X(i);
        end;
    end;
end;
```

Листинг 5. Код m-файла для нахождения минимумов норм разностей решений систем, составленных по атрибутам и параметрам ГИС

```
epsilon = struct('eps', zeros(NumOfWells-1, 1),
'NumOfAttr',zeros(NumOfWells-1, 1));
norms=zeros(NumOfWells,NumOfAttr);

for i=1:NumOfWells
    epsilon(i).eps = zeros(NumOfWells-1, 1);
    epsilon(i).NumOfAttr = zeros(NumOfWells-1, 1);
end;

for k=1:NumOfWells %фиксируем скважину
    for j=1:NumOfFES %фиксируем ФЕС
        m = 10000;
        for i=1:NumOfAttr
            MIN = norm(solution(k).FES(1:(NumOfWells-1),j)-
solution(k).attr(1:(NumOfWells-1),i));
            norms(k,i)=norm(solution(k).FES(1:(NumOfWells-1),1)-
solution(k).attr(1:(NumOfWells-1),i));
            if MIN<m
                m = MIN;
                t=i;
            end;
        end;
        epsilon(k).eps(j)=m;        %записываем минимум
```

```
        epsilon(k).NumOfAttr(j)=t;  %записываем номер атрибута
    end;
end;
```

Листинг 6. Код m-файла для построения графиков

```
%--------Графики для норм-------
%figure('Color',[1 1 1]);
% plot(i,norms(1,:),'m');
% hold on
% plot(i,norms(2,:),'g');
% hold on
% plot(i,norms(3,:),'c');
% hold on
% plot(i,norms(4,:),'b');
% hold on
% plot(i,norms(5,:),'k');
% hold on
% plot(i,norms(6,:),'r');
% xlabel('Number of attribute'); ylabel('Norm'); title('FES 1
(Aps)');
% legend('Скважина 6', 'Скважина 2', 'Скважина 3', 'Скважина 4',
'Скважина 5','Скважина 6');
% grid on;
% hold off

%----Графики сред. значений норм-------
mean_norm=zeros(8,1);
for i=1:8
    mean_norm(i,1)=mean(norms(:,i));
end;

figure('Color',[1 1 1]);
plot(1:NumOfAttr, mean_norm(:,1));
xlabel('Номер атрибута'); ylabel('Норма разности весовых
коэффициентов');
grid on;
```