Министерство образования и науки Российской Федерации Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого Институт прикладной математики и механики

Работа допущена к защите			
Заведующий кафедрой			
«Теоретическая механика»			
Кривцов А.М.			
« » 20_			

г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ ИНВЕРСИОННОЙ МОДЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАЗЛОМНОЙ ТЕКТОНИКИ НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

по направлению 01.04.03 «Механика и математическое моделирование» по образовательной программе 01.04.03_04 «Математическое моделирование процессов нефтегазодобычи»

Выполнила студентка гр.23642/3	 А.В. Сидельник
Руководитель к.фм.н., доцент кафедры "Теоретическая механика" СПбПУ	 И.Б. Суслова
Консультант по нормоконтролю	 О.Ю.Калинин

Санкт-Петербург 2018

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого Институт прикладной математики и механики Кафедра теоретической механики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой, д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН А.М. Кривцов <u>« » 2018</u> г.

ЗАДАНИЕ

по выполнению выпускной квалификационной работы

студентке Сидельник Ангелине Владимировне группы 23642/3

1. Тема работы: Применение методики построения инверсионной модели напряжений для определения параметров разломной тектоники нефтяного месторождения.

2. Срок сдачи студентом законченной работы: 04.06.2018 г.

3. Исходные данные по работе: сейсмические данные; электрические микроимиджеры; керновые исследования, в том числе фото; информация о буровых осложнения; геологические разрезы месторождения.

4. Содержание работы (перечень подлежащих разработке вопросов): история возникновения и развития палеотектонического анализа; применение метода граничных элементов для палеотектонического анализа; инверсия палеонапряжений на основе полевых измерений; применение метода инверсии напряжений для определения разломной тектоники нефтяного месторождения.

5. Консультант по работе: Калинин Олег Юрьевич, руководитель направления Управления геомеханического моделирования и сопровождения проектов «Газпромнефть НТЦ».

6. Дата выдачи задания: 01.09.2017 г.

Руководитель ВКР			
-	(подпись)		инициалы, фамилия
Задание принял к исполнению		(дата)	
Студент	(полпись)		инициалы, фамилия
	(nodimer)		miniquenta, quantana

ΡΕΦΕΡΑΤ

На 47 с., 21 рисунок

ГЕОМЕХАНИКА, ИНВЕРСИЯ ПАЛЕОНАПРЯЖЕНИЙ, РАЗЛОМЫ, ТЕКТОНИКА, ТЕОРИЯ ДИСЛОКАЦИЙ, МЕТОД ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В настоящей работе рассматривается построение инверсионной модели напряжений, как инструмента выделения разрывных нарушений в горных породах, и, следовательно, оптимизации бурения скважин.

Данный метод основан на теории дислокаций в упругом материале и формализован с помощью метода граничных элементов в программном пакете Petrel.

THE ABSTRACT

47 pages, 21 pictures

GEOMECHANICS, INVERSION OF PALEOSTRESSES, FAULTS, TECTONICS, THEORY OF DISLOCATIONS, BOUNDARY ELEMENT METHOD

In this paper, we consider the construction of inversion stress model, as a tool for isolating discontinuities in rocks, and, consequently, optimizing the drilling of wells.

This method is based on the theory of dislocations in elastic material, formalized using the method of boundary elements in the software package Petrel.

СОДЕРЖАНИЕ

Список принятых терминов и сокращений	5
Введение	6
Глава 1. История возникновения и развития палеотектонического анализа	8
1.1. Инверсия Андерсона	8
1.2. Инверсия на основе борозд скольжения и фокальных механизмов	11
1.3. Инверсия на основе неоднородных полей напряжений	13
Глава 2. Применение метода граничных элементов для палеотектоническ	сого
анализа	15
2.1. Теория в основе метода граничных элементов	15
2.1.1. Угловые, биугольные и треугольные дислокации	18
2.1.2. Граничные условия элемента	22
2.1.3. Пост-обработка в точках наблюдения	23
2.1.4. Сокращенный тензор напряжений дальнего поля	23
2.1.5. Принцип суперпозиции	25
Глава 3. Инверсия палеонапряжений на основе полевых измерений	26
3.1. Геологические, геофизические и геодезические наборы данных	26
3.1.1. Наборы данных, содержащие информацию об ориентации	26
3.1.2. Наборы данных, содержащие информацию о величине	28
Глава 4. Применение метода инверсии напряжений для определения разлом	ной
тектоники нефтяного месторождения	29
4.1. Сопоставление результатов моделирования с фактическими данными	37
Охрана труда	42
Заключение	45
Список использованных источников	46

СПИСОК ПРИНЯТЫХ ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ

- ННС наклонно-направленный ствол;
- ГС горизонтальный ствол;
- GPS система глобального позиционирования;

InSAR – радиолокационная станция с интерферометрической синтезированной апертурой;

- ВЕМ метод граничных элементов;
- ГРП гидроразрыв пласта;
- ОГ отражающий горизонт;
- RGB аддитивное цветовое пространство;
- КК контроль качества;
- Quanta GEO электрический микроимиджер;
- ЭВМ электронно-вычислительная машина;
- АУПС автоматическая установка пожарной сигнализации;
- УФМС универсальный фильтрующий малогабаритный самоспасатель.

введение

Актуальность работы: использование математического аппарата определения напряжений и деформаций в упругом изотропном теле для повышения эффективности разведки и разработки нефтяных месторождений.

Цель работы:

✓ Определение параметров разломной тектоники нефтяного месторождения на основе построения инверсионной модели напряжений.

Задачи работы:

 ✓ Ознакомиться с историей и концепцией развития палеотектонического анализа;

Рассмотреть теоретические основы метода граничных элементов;

✓ Использовать метод граничных элементов для определения тектонического напряжения;

✓ Проанализировать карты полей перемещений и деформаций с целью выделения разрывных нарушений;

✓ Сравнить результаты моделирования с фактическими данными.

Защищаемое положение: Построение карты разломной тектоники нефтяного месторождения возможно посредством построения инверсионной модели напряжений.

Объект исследования: нефтяное месторождение N, Восточная Сибирь.

Фактический материал:

- 1. Сейсмические данные;
- 2. Электрические микроимиджеры;
- 3. Керновые исследования, в том числе фото;
- 4. Информация о буровых осложнениях
- 5. Геологические разрезы месторождения.

Научная новизна: Использование палеотектонического анализа для определения разломной тектоники и идентификации разрывных нарушений.

Практическая значимость: Рассматриваемый в данной работе метод способствует повышению эффективности бурения ННС и ГС.

Апробация результатов исследования: XXVII Международная конференция «Математическое и компьютерное моделирование в механике деформируемых сред и конструкций» (МКМ 2017) Ссылка: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452321617303918

Структура работы:

- 1. Титульный лист;
- 2. Задание;
- 3. Реферат;
- 4. Содержание;
- 5. Список принятых терминов и сокращений;
- 6. Введение;
- 7. Основная часть;
- 8. Охрана труда;
- 9. Заключение;
- 10. Список использованных источников.

Объем работы: 46 страниц.

ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ПАЛЕОТЕКТОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

1.1. Инверсия Андерсона

Свою работу Андерсон [3] начал с утверждения одного из главных напряжений как вертикального (рис.1.1а), однако прямо он сделал это предположение 37 лет спустя в своей книге о динамике разломов [2].

В своей статье 1905 года Андерсон предположил, что плоскости с максимальным касательным напряжением «будут иметь большое значение для определения направлений разломов в горной породе». Он понял (рис.1.16), что для трехосного состояния напряжений (P > Q > R) существуют две ориентации таких плоскостей в точке или во всем однородном поле напряжений, что эти плоскости пересекаются в направлении промежуточного главного напряжения (Q) и что они образуют равные углы 45° с направлением максимального сжимающего напряжения (Р). Эти плоскости геометрически главного математически ортогональны «сопряжены» (то есть настолько И взаимосвязаны. чтобы быть взаимозаменяемыми при представлении определенных свойств) в том смысле, что действующие на них векторы сцепления равны по величине.

Андерсон [3] предположил, что «плоскости разлома в любой горной породе не точно следуют направлениям максимального тангенциального напряжения, но отклоняются от этих положений более или менее определенным образом».

Также Андерсон заявил: «Если мы предположим, что сопротивление, при котором любое твердое тело предлагается разрушить сдвигом вдоль любой плоскости, состоит из двух частей: одна часть является постоянной величиной, а другая часть пропорциональна давлению на эту плоскость, мы придем к результатам, которые очень хорошо согласуются с наблюдаемыми геологическими явлениями». Это сопротивление разрушению посредством сдвига эквивалентно тому, которое приписывается Кулону – так называемый критерий разрушения Кулона:

$$|\tau| = S_0 + \mu\sigma \tag{1.1}$$

С левой стороны равенства находится напряжение сдвига, которое способствует образованию разлома. С правой стороны – два параметра сопротивления: S₀ – когезия; μ – коэффициент внутреннего трения; а σ – нормальное напряжение.



Рис.1.1 а) Верхний слева – направления осей главных напряжений. b) Верхний справа – ортогональные плоскости, соответствующие направлению максимального тангенциального напряжение в точке или в объеме с однородным напряженным состоянием. c) Нижний слева – сопряженные плоскости разломов. d) Нижний справа – схематические сбросовые структуры [3]

При вычислении тангенциального и нормального напряжения на сопряженных плоскостях Андерсон использовал тетраэдр Коши с одной

гранью, соответствующей потенциальному разлому, и сделал интересную аналогию: «Эта призма, мы полагаем, существует в горной породе, как статуя существует заранее в блоке мрамора...». Очевидно, Андерсон понял, что при перемещении по разлому будет происходить нарушение однородного напряженного состояния.

Вычитая коэффициент внутреннего трения из напряжения сдвига и вводя главные напряжения, Андерсон показывает [3]:

$$\frac{P-R}{2}(\sin 2\theta) - \mu\left(\frac{P+R}{2} - \frac{P-R}{2}\cos 2\theta\right) = 0$$
(1.2)

где θ - угол между направлением Р и интересующей плоскостью. Андерсон утверждал, что эта величина «будет максимальной в направлениях, в которых наиболее вероятно произойдет разлом».

Используя дифференциальное исчисление для нахождения максимума как функции от θ, он получил отношение (1.3),

$$tan2\theta = 1/\mu \tag{1.3}$$

которое может быть решено для ориентации разлома θ_c .

Признавая, что разломы в природе имеют более сложную геометрию изза последовательного развития и взаимного пересечения (рис.1.1d), Андерсон использовал отношения между ориентациями сопряженных разломов и ориентациями главных напряжений для определения трех тектонических режимов (нормальный, сдвиговый и надвиговый). Для каждого режима направление промежуточного главного напряжения принималось как линией пересечения двух сопряженных совпадающее с разломов, а максимального главного напряжения - как делящее пополам острый угол между этими разломами.

Таким образом, это первое представление о реконструкции палеонапряжений обеспечивает ориентацию осей главных напряжений (с предполагаемой вертикальностью одного из них) и их относительных величин $P \ge Q \ge R$.

1.2. Инверсия на основе борозд скольжения и фокальных механизмов

Второй этап развития анализа палеонапряжений начался в середине прошлого века, когда Уоллес [14] проанализировал максимальное тангенциальное напряжение на плоскостях произвольной ориентации для однородного напряженного состояния с использованием формулы Коши.

Ссылаясь на лабораторные результаты и теорию Мора, Уоллес предположил, что «разломы будут стремиться сосредоточиться на ориентациях, касательных к конусу с углом вершины менее 90°, ось которого совпадает с направлением максимального сжимающего напряжения...» и что «ориентация скольжения ПО разломам может быть скоррелирована с ориентацией максимального тангенциального напряжения...». Он предположил, что «если доступна полная информация об ориентации плоскости разломов и точек перемещения нескольким разломам, то с определенной степенью ПО достоверности можно определить ориентацию и характер системы напряжений, создающих эти разломы».

Ботт [4] предполагал вероятное наличие сильной неоднородности в виде более старых разломов, трещин отрыва и расщепления. Он предположил, что «эти плоскости останутся «незаметными», пока напряжение сдвига внутри них не превысит прочность...».

Кроме того, Ботт предположил, что «...трещина образуется в пределах предпочтительной плоскости, в которой прочность была превышена впервые, а направление начального перемещения определяется направлением максимального тангенциального напряжения в плоскости».

Ботту предшествовало, как это сделал Уоллес [14], чтобы использовать формулу Коши, получить уравнение, связывающее тангенциальное напряжение сдвига τ , со значениями главных напряжений $\sigma_1 \ge \sigma_2 \ge \sigma_3$ в однородном поле:

 $\tau^{2} = \sigma_{1}^{2} n_{1}^{2} + \sigma_{2}^{2} n_{2}^{2} + \sigma_{3}^{2} n_{3}^{2} - (\sigma_{1}^{2} n_{1}^{2} + \sigma_{2}^{2} n_{2}^{2} + \sigma_{3}^{2} n_{3}^{2})^{2} = (\sigma_{1} - \sigma_{2})^{2} n_{1}^{2} n_{2}^{2} + (\sigma_{2} - \sigma_{3})^{2} n_{2}^{2} n_{3}^{2} + (\sigma_{3} - \sigma_{1})^{2} n_{3}^{2} n_{1}^{2}$ (1.4)

где направления главных напряжений совпадают с координатными осями, а (n₁, n₂, n₃) являются направляющими косинусами для единичной нормали к интересующей плоскости.

В некоторой современной литературе по анализу палеонапряжений совпадение ориентации тангенциального напряжения и направления перемещения называют гипотезой Уоллеса-Ботта.

Шесть величин необходимы для определения шести независимых компонент тензора напряжений в точке или в объеме, приуроченном к однородному напряженному состоянию. Эти величины можно принять за три главных напряжения σ_1 , σ_2 , σ_3 и три угла Эйлера (ψ , θ , φ), которые определяют оси главных напряжений, например, относительно географической системы координат.

Однако, учитывая данные только о направлении перемещения на произвольных плоскостях, можно лишь ограничить углы Эйлера и девиаторную часть тензора напряжений. Это можно понять, отметив, что направление максимального тангенциального напряжения сдвига зависит от разности главных напряжений, которая может быть выражена следующим образом:

$$\phi = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} \tag{1.5}$$

В типичных обратных задачах, следуя методологии Уоллеса-Ботта, направления удаленных главных напряжений и отношение их величин ограничены анализом полевых данных об ориентациях разломов и направлениях скольжения из борозд скольжения на открытых поверхностях разломов.

Близкая методология, в которой сейсмические данные используются для идентификации квадрантов, содержащих так называемые оси Р и Т для очагового механизма землетрясения, развивалась параллельно, а иногда и переплеталась с геологическим анализом палеонапряжений.

Некоторые исследователи связывают оси Р и Т с осями максимального сжатия и растяжения, то есть главными деформациями, тогда как другие связывают их с осями максимального и минимального сжатия, то есть главными напряжениями.

1.3. Инверсия на основе неоднородных полей напряжений

В то же время, когда разрабатывался и уточнялся безразломный анализ палеонапряжений, рассмотренный в 1.1. и 1.2., геологи и геофизики стремились понять происхождение и эволюцию разломов, а также тектоническую историю регионов, связывая ориентацию разломов и направление перемещения с напряженным состоянием в земной коре.

В типичных прямых задачах уравнения движения решаются с заданным удаленным напряжением как граничным условием, что приводит к локальным полям напряжений, деформаций и перемещений, а также распределению перемещения по модельным разломам. В этих прямых моделях разломы однозначно определяются в терминах их геометрии, а граничные условия задаются в терминах сцеплений или разрывов перемещения.

В данной работе применяется тот же подход, но с точки зрения обратной задачи. Учитывая геометрию разлома и данные о перемещении, определяется удаленное тектоническое напряжение.

Наборы данных, используемых для инверсии напряжений, бывают двух типов. Те, которые предоставляют информацию только об ориентации (например, трещины и плоскости вторичных разломов с внутренним углом трения), и те, которые предоставляют информацию о величине (например, перемещение по разлому, GPS, набор данных InSAR).

На рис.1.2 схематически изображена геомеханическая проблема анализа палеонапряжений. Известны геометрии разломов, а также данные из скважин (ориентация трещины, вторичные плоскости разломов, набор данных GPS и наклонометрия).



Рис.1.2 Общая геомеханическая проблема. Известны: геометрия разлома, данные из скважин (ориентация трещин, измерение напряжений в пластовых условиях, вторичные плоскости разломов), геодезические данные (InSAR, GPS и наклонометрия), а также целевые горизонты. Цель представленного метода состоит в том, чтобы восстановить удаленное напряжение и тектонический режим для тектонического события, а также разрыв перемещения на разломах, а затем оценить перемещение и возмущенные поля напряжений и деформаций в любой точке модели [8]

Цель описанной данной работе, методики, В заключается В восстановлении тектонического события, а также разрыва перемещения по набора данных (сейсмическая разломам с использованием такого интерпретация, данные скважин и полевые наблюдения), а затем в оценке перемещения и возмущенного поля напряжений.

ГЛАВА 2. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПАЛЕОТЕКТОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

2.1. Теория в основе метода граничных элементов

Теория дислокаций в упругих материалах широко использовалась за последние полвека для оценки полей перемещения, деформации и напряжения вокруг разломов в литосфере Земли.

Стекетей обсудил потенциальные приложения к геофизическим проблемам в двух работах [11], [12]. Он рассмотрел формулировку Вольтерра для задачи дислокации и представил метод построения функций Грина для полубесконечного пространства, содержащего поверхность разрыва перемещения, то есть дислокацию. Функции Грина могут быть интегрированы для расчета поля перемещения вокруг плоской поверхности разрыва. Эти поля уравнениям Навье, которые перемещений удовлетворяют являются основополагающими линейной теории уравнениями для упругости. Пространственные производные компонентов перемещения обеспечивают компоненты деформации, а учет закона Гука для однородного и изотропного упругого материала дает компоненты напряжений. Таким образом, работа Стекетея иллюстрирует, как математические инструменты теории дислокаиий перемещения, деформации позволяют вычислить поля напряжения вокруг идеализированных разломов в упругом полупространстве, но она не дает явных сравнений с геофизическими данными.

Чиннери использовал некоторые результаты Стекетея, чтобы получить конкретное решение для вертикального прямоугольного разлома сдвигового типа произвольных размеров и глубины [5]. Он вычислил поля перемещения и напряжений и сравнил поверхностные перемещения с измеренными вблизи активных разломов [5]. Теоретическая основа Стекетея и соответствие наблюдениям, выполненным Чиннери, оказали глубокое влияние на сообщество геофизических исследований, поскольку они заложили основу для использования дислокационной теории как одного из основных инструментов механического анализа разломов. Это использование продолжается с начала шестидесятых годов до наших дней со значительными успехами.

Для двумерных решений широко используемым численным методом является *метод граничных элементов (BEM)*.

Метод, созданный Стекетеем и Чиннери, предполагает сложную и длительную интеграцию даже для простых геометрических фигур, таких как прямоугольники. Другой подход, первоначально представленный Бюргерсом, был принят Иоффе [13] для задачи об угловой дислокации в бесконечной упругой среде. Это решение затем использовалось для построения многоугольников дислокации и многогранников в бесконечной среде. Современная литература по материаловедению рассматривает непосредственно треугольные элементы дислокации вместо суперпозиции угловых дислокаций, но не предлагает общего решения проблемы полупространства. Комминоу и Дандарс расширили использование угловой дислокации проблеме В полупространства [6] и тем самым проложили путь для применения этого подхода к геофизическим проблемам в целом и, в частности, к проблеме разломообразования.

Треугольные элементы строятся посредством суперпозиции угловых дислокаций по методу, описанному Джекамураном, Рудницким и Киром, а затем Томасом [8]. Упругие поля вокруг элементов получены из решения для одной угловой дислокации в упругом целом или полупространстве [6], [13]. С геологической точки зрения, треугольный элемент может представлять собой некоторую часть поверхности трещины или разлома, по которой разрыв перемещения приблизительно постоянный.

Несколько треугольных быть дислокационных элементов могут использованы для моделирования разломов или трещин или даже могут быть образованием соединены с замкнутой поверхности, которая может представлять собой либо конечное упругое тело, либо пустое пространство в бесконечном или полубесконечном упругом теле. Эта суперпозиция позволяет моделировать геологические структуры со сложными трехмерными границами и формами, которые невозможно эффективно симулировать с помощью прямоугольной поверхности, широко используемой при дислокационном моделировании разломов и трещин [9]. Попытки моделировать изогнутые поверхности прямоугольными элементами, за исключением простейших случаев, приводят к зазорам и перекрытиям. Напротив, на рис.2.1 показано, как сложная трехмерная поверхность разлома может быть аппроксимирована треугольными элементами без зазоров или перекрытий.



Рис.2.1 Построение сложной геометрии разлома с использованием треугольных элементов и схематическое изображение сетки наблюдения. Граничные условия на треугольных элементах представляют собой комбинацию перемещения и сцепления. В каждой точке наблюдения перемещение, деформация и напряжение могут быть вычислены в результате пост-процесса. Также показаны трехмерные удаленные напряжения/деформации [8]

Дискретизация трехмерной поверхности разлома в виде треугольных элементов позволяет построить поверхность любого желаемого контура и формы. Граничные условия, то есть разрывы перемещения, которые являются постоянными по всему элементу, или сцепление в центре каждого элемента, задаются в соответствии с локальной системой координат элемента (рис.2.3). Кроме того, можно определить удаленные напряжения и/или деформации. В точках наблюдения (черные точки на рис.2.1) можно рассчитать перемещение, деформацию и напряжение.

2.1.1. Угловые, биугольные и треугольные дислокации

Среди различных способов построения треугольного элемента, простейший (рис.2.2) основан на суперпозиции трех угловых дислокаций, описанных Иоффе [13]. Все три угловые дислокации лежат в одной и той же плоскости. Эта конструкция не позволяет решить проблему полупространства, так как линии некоторых дислокаций пересекают свободную от сцепления поверхность, когда элемент наклонен. Поэтому Комминоу и Дандарс [6] не приняли это простое представление в их решение для угловой дислокации в полупространстве. Вместо этого они использовали угловую дислокацию с одним перпендикуляром к поверхности полупространства.



Рис.2.2 Конструкция треугольных элементов по Иоффе [13]. Все три угловые дислокации лежат в одной плоскости. Эта конструкция не позволяет решить проблему полупространства, так как линии некоторых дислокаций могут пересекать свободную от сцепления поверхность, когда элемент наклонен

Угловая дислокация (A, α , β) (рис.2.3а) лежит в вертикальной плоскости, угол β – угол между осью Y глобальной системы координат и стороной, перпендикулярной к свободной поверхности. Две стороны угловой дислокации образуют угол α и простираются до бесконечности от общей вершины A. Равномерный разрыв перемещения по дислокации задается вектором Бюргерса. Учитывая точку M в упругом теле, составляющая перемещения \dot{u}_l из-за угловой дислокации (A, α , β) (рис.2.3а) определяется следующим образом:

$$\dot{u}_{i}(M) = \sum_{j=1}^{3} \dot{U}_{ij}(M, A, \alpha, \beta) b_{j} = \dot{U}_{ij} b_{j}$$
(2.1)

и является линейной функцией вектора Бюргерса b. Коэффициенты матрицы \dot{U}_{ij} , называемой матрицей влияния перемещения, приведены Комминоу и Дандарсом [6].

Поле деформации в точке М можно вычислить посредством частичного вывода (2.1) с помощью линеаризованного тензора деформации Грина-Сент-Венана:

$$\dot{\varepsilon_{ij}} = \frac{1}{2} \left(\nabla \dot{u} + \nabla \dot{u^t} \right) = \sum_{k=1}^{3} E_{ijk} \left(M, A, \alpha, \beta \right) b_k = \dot{E_{ijk}} b_k$$
(2.2)

где $\nabla \dot{u}$ - тензор градиента деформации. E_{ijk} представляет собой матрицу влияния деформации из-за угловой дислокации. E_{ijk} получена из:

$$E_{ijk} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_{ik}}{\partial x_j} + \frac{\partial U_{jk}}{\partial x_i} \right)$$
(2.3)

Для линейных упругих материалов компоненты напряжений связаны с компонентами бесконечно малой деформации уравнениями, называемыми законом Гука. Общая форма закона Гука упрощена для изотропного материала, поэтому существуют только две материальные константы. Изотропный упругий материал - это тот, в котором константы упругости одинаковы независимо от направления. Учитывая закон Гука,

$$\sigma_{ij} = 2G\varepsilon_{ij} + \lambda\varepsilon_{kk}\sigma_{ij} \tag{2.4}$$

тензор напряжений задан для бесконечно малой деформации как

$$\vec{\sigma}_{ij} = 2G\vec{\varepsilon}_{ij} + \lambda\vec{\varepsilon}_{kk}\sigma_{ij} = \sum_{k=1}^{3}S^{\dagger}_{ijk}(M, A, \alpha, \beta)b_k = S^{\dagger}_{ijk}b_k$$
(2.5)

где G - модуль сдвига, λ постоянная Ламэ, δ_{ij} дельта Кронекера, а ε_{ij} задается формулой (2.2). $\dot{S_{ijk}}$ представляет собой матрицу влияния напряжения из-за угловой дислокации.





треугольном элементе вектор Бюргерса постоянный. d) Представление локальной системы координат элемента и вектора Бюргерса [8]

Биугольная дислокация построена из двух угловых дислокаций (A₀, α, β) и (A₁, α, β) (рис.2.3b). Результирующее перемещение в точке М является суперпозицией двух угловых дислокаций:

$$\overline{u}_{i}(M) = \sum_{j=1}^{3} \left[U_{ij}(M, A_{0}, \alpha, \beta) - U_{ij}(M, A_{1}, \alpha, \beta) \right] b_{j} =$$
$$\sum_{j=1}^{3} \overline{U_{ij}}(M, A_{0}, A_{1}, \alpha, \beta) b_{j} = \overline{U_{ij}} b_{j} \qquad (2.6)$$

Используя тот же принцип суперпозиции, треугольный элемент {A₀, A₁, A₂} в целом или полупространстве строится с помощью трех биугольных дислокаций (рис.2.3с). Вектор Бюргерса b постоянный над треугольной дислокацией.

Таким образом, полное перемещение в точке М в результате треугольной дислокации, состоящей из трех дислокационных сегментов, определяется как:

$$u_{i}(M) = \sum_{j=1}^{3} \sum_{k=1}^{3} \overline{U_{ij}} (M, A_{k}, A_{k+1}, \alpha_{k}, \beta_{k}) b_{j} = U_{ij} b_{j}$$
(2.7)

деформация:

$$\varepsilon_{ij}(M) = \sum_{k=1}^{3} \sum_{l=1}^{3} \overline{E_{ijk}} (M, A_l, A_{l+1}, \alpha_l, \beta_l) b_k = E_{ijk} b_k$$
(2.8)

напряжения:

$$\sigma_{ij}(M) = \sum_{k=1}^{3} \sum_{l=1}^{3} \overline{S_{ijk}} (M, A_l, A_{l+1}, \alpha_l, \beta_l) b_k = S_{ijk} b_k$$
(2.9)

Для модели, состоящей из n треугольных дислокационных элементов, перемещение в любой точке M определяется суперпозицией, то есть вкладом всех элементов в упругом теле:

$$u_i(M) = \sum_{m=1}^n U_{ij}^m b_j^m = U_{ij}^m b_j^m$$
(2.10)

где U_{ij}^m – коэффициенты влияния перемещения из-за m-го элемента, а b_j^m – j-я векторная компонента Бюргерса. Деформация и напряжение определяются аналогичным образом.

Вектор Бюргерса b для данного элемента е можно разделить на два вектора перемещения: u⁺ на положительной стороне элемента и u⁻ на отрицательной стороне, и они связаны следующим образом:

$$b = u^{+} - u^{-} \tag{2.11}$$

Чтобы получить эти векторы, сначала вычисляется перемещение u⁺ в центроиде элемента, используя уравнение (2.10) с бесконечно малым положительным сдвигом вдоль нормали элемента. Затем перемещение на отрицательной стороне u⁻, вычисляется с использованием заданного граничного значения и (2.11) [8].

2.1.2. Граничные условия элемента

Каждая треугольная дислокация определяется тремя граничными условиями, использующими локальную систему координат элемента. В ней х откладывается вдоль азимута падения (направление наибольшего наклона в плоскости элемента), z вдоль нормали элемента, а у является векторным произведением z и х. Граничные условия состоят из разрыва перемещения и сцепления в каждом направлении координат. Когда все треугольные дислокации в модели задаются разрывами перемещения, перемещение в любой точке упругого поля полностью определяется уравнением (2.10). Однако, когда треугольным элементам задается граничное условие сцепления, сначала нужно определить соответствующие компоненты Бюргерса, которые производят эти сцепления, а затем перейти к (2.10).

Благодаря применению формулы Коши для решения тензора напряжений σ_{ij} (2.9) на плоскости треугольного элемента, используя его центроид в качестве точки расположения, сцепление элемента может быть определено следующим образом:

$$t_i = \sigma_{ij} n_j = (S_{ijk} b_k) n_j = (S_{ijk} n_j) b_k = T_{ij} b_k$$

$$(2.12)$$

где n_j представляет нормальные компоненты элемента, а $T_{ij} = S_{ijk}n_j$ – матрица влияния сцепления.

Используя формулу сцепления для треугольной дислокации, общее сцепление в центре треугольного элемента представляет собой полное сцепление:

$$t_i = T_{ij}^m b_j^m \tag{2.13}$$

Затем строится система линейных уравнений с использованием (2.13) и решается для неизвестных компонент вектора Бюргерса:

$$\{t\} = [T]\{b\}$$
(2.14)

В уравнении (2.14) {t} представляет столбец изначально заданных векторов сцепления, [T] - плотная матрица коэффициентов влияния сцепления, а {b} - столбец неизвестных векторов Бюргерса.

2.1.3. Пост-обработка в точках наблюдения

После решения системы (2.14) компоненты перемещения, деформации и напряжения могут быть вычислены где угодно внутри упругого твердого тела, используя принцип суперпозиции.

Для данной точки наблюдения (точки поля) результирующий компонент представляет собой сумму вкладов от всех влияющих элементов (источников). Для перемещения используется уравнение (2.10), для деформации и напряжения – уравнения (2.15) и (2.16):

$$\varepsilon_{ij}(M) = \sum_{m=1}^{n} E_{ijk}^{m} b_k^{m} + \varepsilon_{ij}^{R} = E_{ijk}^{m} b_k^{m} + \varepsilon_{ij}^{R}$$
(2.15)

$$\sigma_{ij}(M) = \sum_{m=1}^{n} S_{ijk}^{m} b_{k}^{m} + \sigma_{ij}^{R} = S_{ijk}^{m} b_{k}^{m} + \sigma_{ij}^{R}$$
(2.16)

где E_{ijk}^m и S_{ijk}^m представляют матрицы деформации и напряжения в точке М поля из-за элемента-источника m, а ε^R и σ^R – удаленные деформация и напряжение соответственно. В уравнениях (2.15) и (2.16) возмущенное поле деформаций/напряжений из-за дислокации треугольных элементов просто накладывается на удаленное поле напряжений/деформаций.

2.1.4. Сокращенный тензор напряжений дальнего поля

Модель, состоящая из нескольких разломов, подвергается постоянному тензору напряжений дальнего поля σ_R , определенному в глобальной системе координат как:

$$\sigma_R = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ & a_{22} & a_{23} \\ & & & a_{33} \end{bmatrix}$$
(2.17)

Если предположить, что тензор напряжений субгоризонтален [3], уравнение 2.17 упрощается:

$$\sigma_R = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ & a_{22} & 0 \\ & & & a_{33} \end{bmatrix}$$
(2.18)

Поскольку добавление гидростатического давления не изменяет σ_R , то записывается:

$$\sigma_R = \begin{bmatrix} a_{11} - a_{33} & a_{12} & 0 \\ & a_{22} - a_{33} & 0 \\ & & & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{a_{11}} & a_{12} \\ & \overline{a_{22}} \end{bmatrix}$$
(2.19)

Следовательно, определение напряжения дальнего поля включает три неизвестные, а именно { $\overline{a_{11}}$, $\overline{a_{22}}$, a_{12} }.

Тензор напряжений дальнего поля, как определено в уравнении 2.19, можно вычислить, используя только два параметра вместо трех { $\overline{a_{11}}, \overline{a_{22}}, a_{12}$ }. Используя спектральное разложение приведенного σ_{R} :

$$\sigma_R = R_\theta^T \sigma R_\theta \tag{2.20}$$

где

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0\\ 0 & \sigma_2 \end{bmatrix}$$
(2.21)

и матрица главных значений

$$R_{\theta} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta\\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$
(2.22)

является матрицей вращения вокруг глобальной оси z (так как субгоризонтальный тензор напряжений). Написав:

$$\sigma_2 = k\sigma_1 \tag{2.23}$$

уравнение 2.20 преобразуется в:

$$\sigma_R(\theta, k) = \sigma_1 R_{\theta}^T \begin{bmatrix} 1 & 0\\ 0 & k \end{bmatrix} R_{\theta}$$
(2.24)

Опуская коэффициент масштабирования σ_1 , σ_R можно выразить как функцию из двух параметров θ и k:

$$\sigma_R(\theta, k) = R_{\theta}^T \begin{bmatrix} 1 & 0\\ 0 & k \end{bmatrix} R_{\theta}$$
(2.25)

Эти два параметра естественно ограничены:

$$\begin{cases} -\frac{\pi}{2} \le \theta \le \frac{\pi}{2} \\ -10 \le k \le 10 \end{cases}$$
(2.26)

Стоит отметить, что при k = 1 вычисляется тензор гидростатического давления, который не влияет на модель.

2.1.5. Принцип суперпозиции

Принцип суперпозиции предусматривает, что заданное значение f может быть определено линейной комбинацией конкретных решений. Восстановление напряжения дальнего поля предполагает восстановление трех параметров $\{\overline{a_{11}}, \overline{a_{22}}, a_{12}\}$. Поэтому число линейно независимых решений должно быть три. Другими словами:

$$f = F(\sigma) = F(\alpha_1 \sigma^{(1)} + \alpha_2 \sigma^{(2)} + \alpha_3 \sigma^{(3)}) = \alpha_1 F(\sigma^{(1)}) + \alpha_2 F(\sigma^{(2)}) + \alpha_3 F(\sigma^{(3)}) = \alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2 + \alpha_3 f_3$$
(2.27)

где (α_1 , α_2 , α_3) - вещественные числа, а $\sigma^{(i)}$ (для i = 1 - 3) - три линейно независимых тензора напряжений.

Если мы выберем F как функцию деформации, напряжения или перемещения, то полученные значения ε, σ и и в точке P можно выразить как комбинацию трех конкретных решений:

$$\begin{cases} \varepsilon_p = \alpha_1 \varepsilon_p^{(1)} + \alpha_2 \varepsilon_p^{(2)} + \alpha_3 \varepsilon_p^{(3)} \\ \sigma_p = \alpha_1 \sigma_p^{(1)} + \alpha_2 \sigma_p^{(2)} + \alpha_3 \sigma_p^{(3)} \\ u_p = \alpha_1 u_p^{(1)} + \alpha_2 u_p^{(2)} + \alpha_3 u_p^{(3)} \end{cases}$$
(2.28)

Напряжение дальнего поля также определяется как комбинация трех параметров:

$$\sigma_R = \alpha_1 \sigma_R^{(1)} + \alpha_2 \sigma_R^{(2)} + \alpha_3 \sigma_R^{(3)}$$
(2.29)

ГЛАВА 3. ИНВЕРСИЯ ПАЛЕОНАПРЯЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛЕВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Если известны полевые измерения в некоторых точках наблюдения (например, перемещение, деформация и/или напряжение, ориентация трещин, вторичные плоскости разломов, которые образуются вблизи основных разломов), тогда можно восстановить тройку (α_1 , α_2 , α_3), а, следовательно, тектоническое напряжение σ_R и соответствующий тектонический режим.

3.1. Геологические, геофизические и геодезические наборы данных

Особенность этого метода заключается в том, что для ограничения инверсии можно использовать большое количество различных наборов данных.

Выделяется две группы данных: первая включает информацию только об ориентации, а вторая несет информацию о величине перемещения и/или напряжения.

3.1.1. Наборы данных, содержащие информацию об ориентации

Использование ориентации трещин и стилоллитов

При открытии трещины (отрыва, стилолиты, дайки) ориентация нормали к плоскости разрушения указывает на направление минимального сжимающего напряжения (σ_3). Аналогично, нормали к стилолитам указывают на направление максимального сжимающего напряжения (σ_1).

С использованием измерений ориентации трещин, стилолитов возможно восстановить тектонический режим, который генерирует такие структуры.

Цель состоит в том, чтобы определить наилучшее соответствие напряжения дальнего поля σ_R , на основе параметров α_1 , α_2 и α_3 , учитывая ориентации некоторых открытых трещин, для которых нормали совпадают с

направлениями минимального сжимающего напряжения σ_1^P в точке P (рис.3.1.a и b).



Рис.3.1 Трещины и сопряженные разломы. а) Ориентация σ₃ по отношению к открытой трещине (отрыва, стилолиты, дайки), определяемая по нормали n. b) То же, что и (а), но для стилолита. c) Ориентация σ₁ и σ₂ относительно сопряженных разломов, заданных нормалью n и внутренним углом трения [8]

Использование вторичных плоскостей разломов

Ориентация вторичных плоскостей разломов, возникающих вблизи больших активных разломов, может быть оценена с использованием критерия разрушения Кулона:

$$\tan(2\theta) = \frac{1}{\mu} \tag{3.1}$$

где θ - угол между плоскостью разрушения и максимальным главным сжимающим напряжением (σ₁), а μ - коэффициент внутреннего трения. Две плоскости сопряженных разломов пересекаются вдоль σ₂, а на ориентацию

разлома влияет только ориентация главных напряжений и величина коэффициента внутреннего трения.

3.1.2. Наборы данных, содержащие информацию о величине

К наборам данных, содержащих информацию о величине перемещений и напряжений относятся:

- Данные GPS;
- Данные InSAR;
- Информация о перемещении в направлении падении разлома.

ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИНВЕРСИИ НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗЛОМНОЙ ТЕКТОНИКИ НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Разрывные нарушения, возникшие на разных этапах формирования месторождения, являются основным источником неоднородности в поле напряжений, что *крайне важно учитывать при бурении скважин и проведении* операций ГРП.

Алгоритм включает в себя построение каркаса расчетной модели с наиболее явно выделяемыми разломами по сейсмическим данным, затем проведение расчета ориентации удаленного тектонического напряжения, построение карт полей перемещений и деформаций на опорной поверхности (наблюдения). В результате последовательных итераций в зонах с различными значениями перемещений и деформаций выделяются малоамплитудные разрывные нарушения.

Если известен характер разлома, используемого в качестве входных данных, то, перебирая всевозможные соотношения между главными напряжениями и сравнивая их направления с ориентацией разломов, можно определить тот напряжение, которое наиболее вероятно при заданной ориентации разломов (рис.4.1).

		Тектонические режимы			
		Нормальный	Сдвиговый	Надвиговый	
	Трещины растяжения		G2 G3	G1 G2	
Типы трещин	Стилолиты	σ ₁ σ ₂ σ ₂			
	Трещины сдвига	G1 G2 G2 G3 G3 G3 G3 G3 G3 G3 G3 G3 G3 G3 G3 G3	G1 G1	G ₁ G ₁ G ₂ G ₂	

Рис.4.1 Схематическое изображение ориентации трех типов трещин в различных режимах напряжений: сбросовый (normal), сдвиговый (strike-slip) и надвиговый (reverse) [7]

Каркасная модель включает в себя разломы, выделенные в результате интерпретации сейсмических исследований и опорную поверхность.

При первой итерации расчета инверсионной модели использовались разломы, уверенно идентифицируемые по срезам кубов когерентности в интервале – от ОГ X до фундамента (рис.4.2).





Рис.4.2 Разломы, уверенно выделяемые по кубу когерентности 1

Согласно анализу результатов, полученных при первой итерации расчета, удалось выделить разрывные нарушения 1 и 2 (рис.4.3).



Рис.4.3 Карта поля перемещений, полученная в результате первой итерации. Цветом обозначена вертикальная компонента Uz

При второй итерации расчета инверсионной модели использовались разломы, уверенно идентифицируемые по срезам кубов когерентности в интервале – от ОГ X до фундамента, а также разрывные нарушения 1 и 2, полученные в результате первой итерации.

Согласно анализу результатов, полученных при второй итерации расчета, удалось выделить разрывные нарушения 3-5 (рис.4.4).



Рис.4.4 Карта поля перемещений, полученная в результате второй итерации. Цветом обозначена вертикальная компонента Uz

При третьей итерации расчета инверсионной модели использовались разломы, уверенно идентифицируемые по срезам кубов когерентности в интервале – от ОГ X до фундамента, а также разрывные нарушения 1-5, полученные в результате первой и второй итерации.

Согласно анализу результатов, полученных при третьей итерации расчета, удалось выделить разрывное нарушение 6 (рис.4.5).



Рис.4.5 Карта поля перемещений, полученная в результате третьей итерации. Цветом обозначена вертикальная компонента Uz

При четвертой итерации расчета инверсионной модели использовались разломы, уверенно идентифицируемые по срезам кубов когерентности в интервале – от ОГ X до фундамента, а также разрывные нарушения 1-6, полученные в результате 1-3 итерации.

Согласно анализу результатов, полученных при четвертой итерации расчета, удалось выделить разрывное нарушение 7 (рис.4.6).



Рис.4.6 Карта поля перемещений, полученная в результате четвертой итерации. Цветом обозначена вертикальная компонента Uz

При пятой итерации расчета инверсионной модели использовались разломы, уверенно идентифицируемые по срезам кубов когерентности в интервале – от ОГ X до фундамента, а также разрывные нарушения 1-7, полученные в результате 1-4 итерации.

Согласно анализу результатов, полученных при пятой итерации расчета, в районе скважины 62 выделено разрывное нарушение 7 (рис.4.7).



Рис.4.7 Карта поля перемещений, полученная в результате пятой итерации. Цветом обозначена вертикальная компонента Uz

Посредством последовательно выполненных расчетов, построена карта разрывной тектоники в подсолевых отложениях изучаемого нефтяного месторождения (рис.4.8) [10].



Рис.4.8 Карта разрывной тектоники в подсолевом комплексе. Зеленым цветом обозначены границы куба 1, фиолетовым – 3, синим – 2 [10]

Выделенные нарушения 1-7, имеющие определенную взаимную ориентацию, являются оперяющими разрывными нарушениями в зоне влияния крупных разломов.

Ориентация выделенных элементов согласуется с модельным представлением о развитии трещиноватости в зоне сдвига (рис.4.9), то есть соответствует одному из четырех вариантов ориентации оперяющих трещин относительно крупного разлома.



Рис.4.9 Парагенезис оперяющих трещин в зоне сдвига - «палетка Гзовского»; а, б - напряженное состояние при углах скалывания 45°, < 45°; в, г - обстановки дополнительного растяжения и сжатия; 1 – разлом; 2 – трещина отрыва; 3, 4 – сколы со сдвиговой кинематикой; 5, 6 – ориентация осей растяжения и сжатия в горизонтальной плоскости [1]

Ориентация напряжения, при котором вероятность точного определения типа разлома более 75%, составляет 71-157° с преобладающим режимом strike-slip (рис.4.10).



MD	Well	Dip angle	Dip azimuth	Faults	Fit (Ang_previous +15, Tectonic event 1)
1586.25	well 101 vert 🔻	89.99	22.76	2	0.85
361.25	well 102 vert 🔻	89.97	217.76	2	0.88
861.25	well 103 vert 🔻	89.98	205.07	2	0.76
361.25	well 104 vert 🔻	90.00	11.55	2	0.76
113.75	well 105 vert 🔻	89.99	13.47	2	0.83
813.75	well 106 vert 🔻	90.00	18.59	2	0.81
2013.75	well 107 vert 🔻	89.97	344.08	2	0.85
1763.75	well 108 vert 🔻	90.00	210.74	2	0.84

Рис.4.10 Ориентация максимального горизонтального напряжения и отношения напряжений. В таблице приведена вероятность точного определения типа разломов, выделенных по кубам когерентности

4.1. Сопоставление результатов моделирования с фактическими данными

В качестве фактических данных, используемых для калибровки разрывных нарушений, используются фотографии керна, микроимиджеры стенок скважин, сейсмические данные.

Разрывные нарушения, полученные в результате расчета инверсионной модели, сопоставлены со структурами, выделенными по кубам когерентности 1, 2, 3 в интервале – от ОГ X до фундамента.

Наиболее заметное сходство выделяемых структур отмечено при сопоставлении карт полей перемещений и срезов кубов когерентности RGB (рис.4.11-4.13).



Рис.4.11 Сопоставление результатов расчета с RGB кубом когерентности 1



Рис.4.12 Сопоставление результатов расчета с RGB кубом когерентности 3



Рис.4.13 Сопоставление результатов расчета с RGB кубом когерентности 2

Палеотектонический анализ может выступать в качестве метода контроля качества (КК) для геометрии разломов, интерпретируемых из сейсмических После определения данных. удаленного тектонического перемещения напряжения, поле вычисленного используется для деформирования первоначально ровных горизонтов. Это необходимо для сравнения геометрии полученных деформированных горизонтов С интерпретируемыми по сейсмическим данным. Если наблюдаются явные несоответствия (например, интерпретированное поднятие и вычисленное опускание), интерпретация разломов по сейсмическим данным, возможно, является неверной.

На рис.4.14 приведены примеры наложения построенной поверхности Uz и срезов сейсмического куба 1 Inline и Xline. Изображенная форма изгиба поверхности Uz в местах пересечения с нарушением позволяет определить тип этого нарушения – в данном случае трещина отрыва и трещина сдвига.



Рис.4.14 Сопоставление поверхности Uz и куба амплитуд

Представительным источником информации о направлении трещиноватости являются имиджи стенок скважин. Выделение трещин или других объектов на имиджах возможно только при наличии электрического контраста между объектом и вмещающей его породой. Контраст наблюдается за счет заполнения трещины буровым проводящим электрический ток раствором.

Электрический микроимиджер позволяет:

• Провести структурный анализ: определить углы и азимуты падения пластов для всего интервала исследования;

• Выполнить анализ трещиноватости;

• Определить направления текущих максимального и минимального горизонтальных напряжений.

Интерпретация данных имиджера Quanta GEO скважины 62PL2 позволила выделить естественные трещины, углы падения которых лежат в интервале 80-90°, а азимут простирания – 40-60°.

Ориентация трещин, зафиксированных на имидже, согласуется с ориентацией разрывных нарушений 5 и 7, полученных при расчете инверсии

напряжений (рис.4.15). Низкая плотность трещин свидетельствует об отдалении от пояса интенсивной трещиноватости.



Рис.4.15 Интерпретация записи электрического микроимиджера Quanta GEO скважины 62PL2

ОХРАНА ТРУДА

Для того чтобы обеспечить безопасные условия труда, сохраняющие здоровье человека, необходимо рассматривать вопрос охраны труда при работе с использованием ЭВМ, как неотъемлемую часть рабочего процесса.

При работе в помещении с использованием ЭВМ ключевыми факторами являются:

- Пожароопасность;
- Освещение помещения;
- Микроклимат помещения;
- Уровень шума;
- Опасность поражения электрическим током.

Пожароопасность

Основным требованием к безопасности помещения является наличие противопожарных систем. Для любого помещения обязательно:

✓ Наличие табличек с номером телефона вызова пожарной охраны и фамилиями ответственных за противопожарное состояние помещений. За размещение таких табличек несет ответственность руководитель организации.

✓ Наличие планов эвакуации при пожаре. План должен быть разработан для каждого этажа здания. В соответствии с требованиями план эвакуации должен быть фотолюминесцентным и размещаться в хорошо просматриваемых местах. Расстояние от одного плана до другого на одном этаже не должно превышать 60 метров.

 \checkmark Наличие знаков пожарной безопасности. К ним относятся стенды, информационные плакаты по пожарной безопасности И информационные таблички (запрещающие, предупреждающие, указательные знаки для средств противопожарной защиты красного цвета с изображением местонахождения пожарного гидранта, телефона; указательные знаки для целей зеленые таблички с указанием направления эвакуации движения,

эвакуационного или аварийного выхода). За размещение таких знаков в офисе также несет ответственность руководитель.

✓ Наличие первичных средств пожаротушения в офисе. Это средства, которые эффективны на начальной стадии возгорания. Они подразделяются на огнетушащие вещества, огнетушащие материалы, пожарный ручной инструмент и инвентарь. Все оборудование должно находиться в доступных местах.

 ✓ Наличие журнала инструктажа. Журнал инструктажа по пожарной безопасности создается в соответствии с требованиями Правил противопожарного режима РФ.

✓ Доступ к эвакуационным выходам и путям эвакуации. Одной из действенных мер пожарной безопасности в офисе является обеспечение свободного доступа к эвакуационным путям и выходам. Для указания их расположения можно использовать различные средства оповещения, как речевые, так и световые. *Двери аварийного выхода должны обязательно открываться по направлению движения из помещения.*

Средства пожаротушения в помещении:

В крупных организациях с большим количеством сотрудников, помимо огнетушителей, помещение должно быть оснащено системой охраннопожарной сигнализации (АУПС), автоматической системой пожаротушения, пожарными гидрантами, а так же индивидуальными универсальными фильтрующими малогабаритными самоспасателями (УФМС).

Самоспасатель предназначен для индивидуальной защиты органов дыхания и зрения людей от токсичных продуктов горения при эвакуации из задымленных помещений во время пожара, а также от других опасных химических веществ (паров, газов и аэрозолей) в случае техногенных аварий. Самоспасатель соответствует ГОСТ 12.4.041-2001, ГОСТ Р 22.9.09-2005, СТБ 11.14.05-2010, Требованиям «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» ФЗ №123-Ф 2008г., ГОСТ Р 53261-2009.

Освещение помещения

Освещение на рабочем месте должно быть достаточным, чтобы обеспечить комфортные условия для работы.

В соответствии с особенностями работ каждого вида и эффективным использованием электроэнергии должен быть индивидуальный и регулируемый источник освещения. Именно свет обеспечивает поступление и обработку почти 90 процентов всей информации.

Освещение рабочего места должно быть равномерным и достаточным в любое время суток.

Выполнение этих условий способствует повышению эффективности производственного процесса и предотвращает быструю утомляемость глаз.

При организации рабочего места нужно максимально использовать естественный свет. В помещениях постоянного пребывания персонала светильники общего освещения должны быть установлены так, чтобы свет по всей площади распределялся равномерно, или же непосредственно над каждым рабочим местом.

Микроклимат помещения

В соответствии с Санитарными нормами и правилами микроклимат производственного помещения измеряется по установленным показателям:

- ✓ Температура воздуха (не менее +22-24 °С);
- ✓ Температура поверхностей (не менее +21-25 °С);
- ✓ Относительная влажность воздуха (40-60%);
- ✓ Скорость движения воздуха (0.1 м/с).

Уровень шума

Уровень шума на рабочем месте не должен превышать значения от 50 до 80 дБА, в зависимости от напряженности труда (в соответствии с СанПиН 2.2.4.3359-16).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы были рассмотрены этапы и концепция развития палеотектонического анализа, а также теоретические основы метода граничных элементов, с помощью которого реализуется построение инверсионной модели напряжений. На основе методики, используемой в данной работе, возможно восстановить тектоническое событие (удаленное напряжение), определить разрыв перемещения по разломам с использованием исходного набора данных – сейсмическая интерпретация, данные скважин и полевые наблюдения, а затем оценить перемещения и возмущенное поле напряжений.

Фактические данные в точках наблюдения (например, перемещение, деформация и/или напряжение, ориентация трещин, вторичные плоскости разломов, которые образуются вблизи основных разломов), позволяют восстановить тектоническое напряжение σ_R и соответствующий тектонический режим.

Установлено, что в зонах различных значений по картам перемещений и деформаций возможно выделить разрывные нарушения.

Наиболее заметное сходство структур, выделенных на основе палетектонического анализа, отмечено при сопоставлении карт полей перемещений и срезов сейсмических кубов когерентности RGB.

Применение инверсионной модели напряжений на нефтяном месторождении N (Восточная Сибирь) позволило построить карту разрывных нарушений в целевом интервале, и, следовательно, сформировать рекомендации для планируемого к бурению ГС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. – М.: Наука, 1975 – 536 с.

2. Anderson A. The Dynamics of Faulting and Dyke Formation with Application to Britain. – Edinburgh: 1942 – 12 c.

 Anderson E. The dynamics of faulting. – Edinburgh Geol. Soc., 1905 – 387-402 c.

4. Bott M. The mechanics of oblique slip faulting // Geological Mag, 1959. № 96.
c. 109–117.

5. Chinnery M. The stress changes that accompany strike-slip faulting // Bull. of Seism. Soc. of America, 1963. № 53. c. 921–932.

6. Comninou M. and Dundurs J. The angular dislocation in a half space // Journal of Elasticity, 1975. №5(3). c. 203–216.

7. Maerten L., Maerten F., Lejri M. Geomechanical paleostress inversion using fracture data // Journal of Structural Geology, 2016. № 89. c. 197-213.

8. Maerten F. Geomechanics to solve geological structure issues: forward, inverse and restoration modeling. – PhD these, представлено 19 ноября 2010 – 455 с.

 Okada Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space // Bulletin of the Seismological Society of America, 1985. № 75. c. 1135–1154.

10. Sidelnik A. Determination of Fracture Tectonics of Rocks by Reconstruction of Stresses and Analysis of Displacements // Procedia Structural Integrity, 2017. № 6. c. 316-321.

 Steketee J. On volterra's dislocations in a semi-infinite elastic medium // Journal Physics, 1958 a. № 36. c. 192–205.

12. Steketee J. Some geophysical applications of the elasticity theory of dislocations // Journal Physics, 1958 b. № 36. c. 1168–1198.

13. Yoffe E. The angular dislocation // Phil. Mag., 1960. №5. c. 161–175.

14. Wallace, R. Geometry of shearing stress and relation to faulting // Journal of Geology, 1951. № 59. c. 118–130.