

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

**«Оценка помехоустойчивости сложных
полевых интерференционных систем,
использованных при сейсморазведочных
работах МОГТ-2D на Богородском
лицензионном участке»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 5 курса 501 группы
(направление 05.03.01 геология)
геологического ф-та
Чопчяна Альберта Адамовича

Научный руководитель

К. г.-м.н., доцент

Э.С. Шестаков

подпись, дата

Зав. кафедрой

К. г.- м.н., доцент

Е.Н. Волкова

подпись, дата

Саратов 2019

Введение. Как известно, для подавления низкоскоростных волн-помех в сейсморазведке МОВ повсеместно используется интерференционный приём упругих колебаний – группирование сейсмоприёмников. Внедрение в практику полевых наблюдений маломощных источников сейсмических колебаний (малые заряды ВВ, невзрывные импульсные и вибрационные источники) привело к широкому применению групповых излучателей.

Параметры группирования источников выбираются исходя из максимального подавления низкоскоростных помех, т.е. группирование источников и приёмников решает одну и ту же задачу. В описании свойств интерференционных систем широкое применение нашла энергетическая теория, оперирующая в привычной пространственно-временной области и наиболее удобная с точки зрения синтеза систем. Однако в рамках этой теории слабо разработана проблема оценки свойств сложных интерференционных систем, образуемых совместным применением групп источников и приёмников. Чаще всего решение её ищется в простом перемножении значений целевой функции – коэффициента направленного действия (КНД), определённых отдельно для групп источников и приёмников по всем заданным волнам-помехам. На наш взгляд, это является существенным упрощением реального взаимодействия интерференционных систем.

На кафедре геофизики Саратовского государственного университета был разработан новый подход к описанию взаимодействия компонент сложных интерференционных систем, опирающийся на идею Б.И. Беспятова об амплитудно-временном аналоге интерференционной системы (АВА). Суть этого подхода состоит в выделении главной структуры интерференции идеально-регулярных волн: каждый элемент интерференционной системы описывается двумя параметрами:

Чувствительностью (или эквивалентной ей интенсивностью излучения применительно к источникам колебаний);

запаздыванием регулярной волны (оно может быть задано как запаздывание на i -том элементе по отношению к $i - 1$ или к 1-ому элементу).

При этом предполагается, что сигналы регулярных волн удовлетворительно аппроксимируются нуль-фазовым импульсом Пузырёва. Правомерность такого предположения обоснована:

эмпирическим изучением формы импульса сигналов сейсмических волн, выполненным Н.Н. Пузырёвым ещё в 50-х годах прошлого столетия; теоретическими и лабораторными исследованиями закономерностей изменения формы импульсов сигналов упругих волн при их распространении в реальной среде.

Это позволяет существенно упростить описание сигналов, сведя его к заданию значений видимого периода и эффективной длительности импульса (в долях видимого периода).

Основное содержание работы. В разделе 1 «Геолого-геофизические особенности Богородского лицензионного участка» описаны положение участка работ показано расположение участка работ. Богородский лицензионный участок административно расположен в Духовницком районе Саратовской области. В подразделах описаны геолого-геофизические и сейсмогеологические характеристики участка работ.

В подразделе 1.1 «Краткая геологическая характеристика территории работ» дана тектоническая и литолого-стратиграфическая характеристика. В тектоническом отношении Богородский лицензионный участок приурочен к южному склону Жигулевского свода фундамента, который на юге и юго-западе граничит с Иргизским прогибом, а на юго-востоке – с Бузулукской впадиной. В геологическом строении участка работ принимают участие архейско-нижнепротерозойские породы, слагающие кристаллический фундамент, и отложения верхнепротерозойского, палеозойского, мезозойского, кайнозойского возрастов, образующие осадочный чехол. Глубоким бурением установлено, что на Богородском участке толщина

осадочного чехла меняется от 1850 м до 2000 м за счёт наращивания или сокращения разреза терригенного девона. Постепенное увеличение мощности терригенного девона прослеживается при движении с севера на юг. На Богородском участке в палеозойском разрезе осадочного чехла наиболее перспективными являются два преимущественно терригенных комплекса: средне- верхнедевонский и ниже-верхневизейский. Эти комплексы на соседних площадях и ближайших месторождениях имеют покрышки и коллекторы с хорошими фильтрационно-емкостными свойствами, содержат разрабатываемые залежи нефти, газа, конденсата.

Анализ имеющихся геолого-геофизических данных позволяет заключить, что на рассматриваемом лицензионном участке к первоочередным объектам можно отнести бобриковские отложения. Исходя из возможной схемы формирования УВ скоплений, здесь предполагается наличие нефтяных скоплений, недонасыщенных газом. Отложения девонского возраста рассматриваемого участка представляются менее перспективными ввиду их значительного размыва (полный размыв отложений верхнего и среднего девона отмечается на вершинах Пугачевского свода и др.) и возможной обводненности в зонах, где они не размывы полностью.

Породы кристаллического фундамента вскрыты рядом глубоких скважин. В кровле фундамента развита кора выветривания мощностью до 3 м.

Терригенный комплекс девона включает в себя породы живецкого (ардатовский и муллинский горизонты) и франского (пашийский и тиманский горизонты) ярусов среднего и верхнего девона.

В подразделе 1.2 «Сейсмогеологическая характеристика района работ», Богородский участок характеризуется высоким залеганием кровли сульфатно-карбонатных отложений палеозоя. Значения интервальной скорости от линии приведения до кровли карбонатного палеозоя по площади работ изменяются от 1650 м/с до 2070 м/с.

Поверхность сульфатно-карбонатного палеозоя имеет сложный рельеф, возникший в результате длительного предмезозойского и преадакчагыльского перерывов. На поверхность размыва выходят карбонатные породы касимовского яруса. Они перекрываются, сохранившимися от преадакчагыльского размыва преимущественно терригенными юрскими отложениями. В общем случае, поверхность палеозоя перекрыта с угловым несогласием неогеновыми отложениями, представленными глинами и суглинками.

На территории Пугачевско-Жигулёвского свода с поверхностью сульфатно-карбонатного палеозоя связан первый опорный отражающий горизонт PZ.

В скоростном отношении палеозойский осадочный чехол можно представить в виде эффективной скоростной модели. Она включает в свой состав толстые пласты, объединяющие литолого-стратиграфические комплексы с близкими скоростными характеристиками, ограниченные границами крупных перерывов, с которыми связаны опорные отражающие горизонты:

- поверхность сульфатно-карбонатного палеозоя (ОГ PZ);
- подошва карбонатных отложений каширского горизонта (ОГ nC2k);
- подошва алексинских карбонатных отложений (кровля терригенных отложений тульского горизонта) визейского яруса нижнего карбона (ОГ nC1al);
- подошва карбонатного комплекса верхнего девона (ОГ nD3sr). -кровля кристаллического фундамента (ОГ F).

В разделе 2 «Основы энергетической теории интерференционных систем» затронуты теоретические аспекты энергетической теории.

В подразделе 2.1 «Основные понятия теории интерференционных систем», даны определения *идеально-регулярных волн, интерференционных систем* в дискурсе работы. Так, независимо от природы интерференционной системы, как правило, ее можно свести к совокупности входов (источников сигналов), располагающихся на плоскости наблюдения, каждый из которых

может быть охарактеризован координатами, определенными на этой плоскости, и чувствительностью входа (интенсивностью излучения отдельного источника). По характеру расположения входов на плоскости наблюдения интерференционные системы можно подразделить на *линейные*, где входы располагаются вдоль некоторой линии, и *площадные*.

В зависимости от характера распределения; чувствительности можно рассматривать *однородные* системы, где чувствительность не зависит от координат входа, и *неоднородные*.

В дискретных линейных интерференционных системах кроме того выделяют *равномерные*, где расстояние между соседними входами является величиной постоянной, и *неравномерные*.

Далее рассматривались только дискретные линейные системы.

В подразделе 2.2 «Аналитический аппарат энергетической теории интерференционных систем» посвящен вопросам теории расчёта КНД.

Коэффициентом направленного действия (КНД) интерференционной системы называется отношение энергии сигнала некоторой волны на выходе интерференционной системы к максимально возможной энергии выходного сигнала той же волны в той же системе (максимально возможную энергию сигнала той же волны можно получить, собрав все входы этой системы в одну точку), КНД:

$$\frac{E_{\text{вых}}}{E_{\text{вх}}}$$

КНД характеризует степень ослабления волны за счет действия интерференционной системы с входами, размещенными в разных точках плоскости наблюдения и обладающими чувствительностью μ_j .

Для частного случая однородной системы:

$$KND = \frac{1}{n^2} \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{\cos \frac{2\pi}{T} (r_k - r_l)}{2} \quad (n \text{ входов})$$

Таким образом, по заданным параметрам импульса (k , T , ψ) и серии амплитудно-временных аналогов можно рассчитать график КНД, описывающий свойства конкретной интерференционной системы. Естественно, что разным параметрам импульса будут соответствовать и разные графики КНД. Обычно рассматриваются двухпериодные ($\gamma = k^2 T^2 = 3$), трехпериодные ($\gamma = 0.8$) и реже – пятипериодные импульсы ($\gamma=0.2$).

В подразделе 2.3 «Оценка направленных свойств сложных интерференционных систем» обсуждается проблема слабой разработанности вопроса оценки свойств сложных интерференционных систем, образуемых совместным применением групп источников и приемников. Рассматривая интерференционные системы как системы линейные, опираясь на присущий им принцип суперпозиции и вытекающий из него принцип взаимности, с помощью АГА можно построить корректный алгоритм оценки свойств сложных интерференционных систем. Алгоритм формирования АГА эквивалентной ИС легко уяснить на простом примере совместного использования линейных однородных групп сейсмоприёмников (СП) и источников (Ист), ориентированных вдоль продольного профиля.

На кафедре геофизики Саратовского госуниверситета в 90-е годы прошлого столетия была разработана программа расчета КНД для сложных продольных (расположенных вдоль одного профиля) интерференционных систем, использующая выше описанный подход (KND2). Программа написана на алгоритмическом языке QBasic, функционирующем на персональных компьютерах под управление операционной системы MSDOS. В настоящее время программное обеспечение переработано с использованием современного языка Visual Basic, аналогом KND2 являются программы KND_SLIS_2D_graf и KND_SLIS_2D_tab_vyb, последняя была использована при подготовке данной работы.

В разделе 3 «Программно-алгоритмическое обеспечение» описана работа программы оценки помехоустойчивости сложных интерференционных систем, включающих группу источников и группу приёмников упругих колебаний, KND_SLIS_2D_graf, созданной на кафедре геофизики Саратовского университета. Автором было принято участие в обкатке на полевом материале комплекса CaDiFactor в режиме «КНД 2D». В нём использованы алгоритмы и блок-схемы, реализованные в программе

В разделе 4 «Результаты оценки помехоустойчивости» помещены основные результаты работы. Съёмка на Богородском ЛУ проводилась в соответствии с действующими правилами и нормативными документами для производства сейсморазведочных исследований, согласно регламенту проведения сейсморазведочных работ в ОАО «Волгограднефтегеофизика» Р-7.5-01.

В подразделе 4.1 «Основные сведения по методике исследований» показано, что в ходе проведения первого этапа сейсморазведочных работ МОГТ-2D на Богородском лицензионном участке были проведены опытные работы с целью определения оптимальных для решения поставленных задач параметров возбуждения и регистрации. Это позволило скорректировать параметры методики наблюдения полевых работ МОГТ-2D второго этапа в сторону улучшения качества первичных сейсмических материалов.

В результате были рекомендованы следующие параметры: Граничные частоты свип-сигнала: 7-100 Гц; Тип свип-сигнала: линейный; Длина свип-сигнала: 10 с; Количество виброустановок Nomad-65 в группе: 2; База группы вибраторов: 24 м статическая; Конус: 300 мс; Количество воздействий на ПВ – 1; Шаг между ПВ – 25 м;

Для проведения второго этапа сейсморазведочных работ было решено оставить рекомендованные параметры, увеличив количество воздействий на одном ПВ до двух. Методика наблюдения представлена в таблице 1, схема

расположения вибраторов на базе возбуждения – на рисунке 4.1 (2 вибратора, 2 накопления, геометрия расстановки сейсмоприёмников: 2500м - 25 м - 0 - 25м -2500 м).

Таблица 1 - Параметры сейсмической съемки

| | |
|---|---|
| Сейсморазведочные работы МОГТ-2D | Продольное профилирование МОГТ-2D |
| Система наблюдения | Центральная, симметричная (ПВ на 101 канале) |
| Кратность номинальная | 100 |
| Минимальное расстояние взрыв-прибор, м | 25 |
| Максимальное расстояние взрыв-прибор, м | 2500 |
| Расстояние между ПВ, м | 25 |
| Расстояние между ПП, м | 25 |
| Шаг ОГТ, м | 12.5 |
| Сейсмостанция: | телеметрическая сейсмостанция 408UL |
| Количество активных каналов, шт. | 200 (+1 канал-технологический вынос) |
| Аналого-цифровой преобразователь | 24-разряда (23 + знак) |
| Тип сейсмоприемников | GS-20DX (10 Гц) |
| Число сейсмоприемников в группе | 12 сейсмоприемников на базе 25м. |
| Параметры возбуждения: | |
| Тип источника возбуждения | вибрационный (NOMAD-65) |
| Количество источников в группе, шт. | 2 |
| База группирования источников, м | 24 (статический режим) |

В подразделе 4.2 «Определение характеристик волн-помех» дана характеристика волн-помех, показанная в таблице 2. Из таблицы 2 видно, что волны 1 и 2 можно отнести к низкоскоростным, волну 3 к среднескоростным, а волны 4 и 5 к высокоскоростным помехам.

Таблица 2 - Характеристики волн-помех

| Условный номер | V* (м/с) | T* (с) | f* (Гц) | * (м) | имп (в долях T*) |
|----------------|----------|--------|---------|-------|------------------|
| 1 | 422 | 0,13 | 7,7 | 54,9 | 2 |
| 2 | 655 | 0,11 | 9,1 | 72,1 | 3 |
| 3 | 1672 | 0,1 | 10 | 167,2 | 2 |
| 4 | 2192 | 0,08 | 12,5 | 175,4 | 3 |
| 5 | 2343 | 0,08 | 12,5 | 187,4 | 3 |

Длительность сигналов волн-помех, выраженная в долях видимого периода колебаний, составляет $\tau_{\text{имп}} = 2T^*$ и $3T^*$, т.е. расчет зависимостей.

Зависимости $\sqrt{КНД} = f(D/...)$ для удобства сопоставления результатов счёта по обеим программам сведены таблицы 3 (для $\tau_{\text{имп}} = 2T^*$) и 4 (для $\tau_{\text{имп}} = 3T^*$).

Таблица 3 - Расчетные значения $\sqrt{КНД}$ при импульсе $2T^*$

| t/T* | $\sqrt{КНД}$ | | t/T* | $\sqrt{КНД}$ | | t/T* | $\sqrt{КНД}$ | |
|------|--------------|-----------|------|--------------|-----------|-------|--------------|-----------|
| | SN_SLIS... | CaDiFac.. | | SN_SLIS... | CaDiFac.. | | SN_SLIS... | CaDiFac.. |
| 0,10 | 0,9820 | 0,9820 | 1,00 | 0,2495 | 0,2495 | 10,00 | 0,0521 | 0,0521 |
| 0,12 | 0,9742 | 0,9742 | 1,20 | 0,1910 | 0,1910 | 12,00 | 0,0631 | 0,0631 |
| 0,14 | 0,9650 | 0,9650 | 1,40 | 0,1585 | 0,1585 | 14,00 | 0,1179 | 0,1179 |
| 0,16 | 0,9546 | 0,9546 | 1,60 | 0,1431 | 0,1431 | 16,00 | 0,1797 | 0,1797 |
| 0,18 | 0,9429 | 0,9429 | 1,80 | 0,1383 | 0,1383 | 18,00 | 0,2185 | 0,2185 |
| 0,20 | 0,9301 | 0,9301 | 2,00 | 0,1359 | 0,1359 | 20,00 | 0,2313 | 0,2313 |
| 0,25 | 0,8931 | 0,8931 | 2,50 | 0,1208 | 0,1208 | 25,00 | 0,2065 | 0,2065 |
| 0,30 | 0,8501 | 0,8501 | 3,00 | 0,1037 | 0,1037 | 30,00 | 0,1935 | 0,1935 |
| 0,35 | 0,8024 | 0,8024 | 3,50 | 0,0936 | 0,0936 | 35,00 | 0,2048 | 0,2048 |
| 0,40 | 0,7510 | 0,7510 | 4,00 | 0,0868 | 0,0868 | 40,00 | 0,2093 | 0,2093 |
| 0,45 | 0,6975 | 0,6975 | 4,50 | 0,0814 | 0,0814 | 45,00 | 0,2075 | 0,2075 |
| 0,50 | 0,6430 | 0,6430 | 5,00 | 0,0770 | 0,0770 | 50,00 | 0,2055 | 0,2055 |
| 0,60 | 0,5363 | 0,5363 | 6,00 | 0,0700 | 0,0700 | 60,00 | 0,2039 | 0,2039 |
| 0,70 | 0,4397 | 0,4397 | 7,00 | 0,0644 | 0,0644 | 70,00 | 0,2038 | 0,2038 |
| 0,80 | 0,3588 | 0,3588 | 8,00 | 0,0595 | 0,0595 | 80,00 | 0,2040 | 0,2040 |
| 0,90 | 0,2959 | 0,2959 | 9,00 | 0,0553 | 0,0553 | 90,00 | 0,2041 | 0,2041 |

Таблица 4 - Расчетные значения $\sqrt{КНД}$ при импульсе $3T^*$

| t/T* | $\sqrt{КНД}$ | | t/T* | $\sqrt{КНД}$ | | t/T* | $\sqrt{КНД}$ | |
|------|--------------|-----------|------|--------------|-----------|-------|--------------|-----------|
| | SN_SLIS | CaDiFac.. | | SN_SLIS... | CaDiFac.. | | SN_SLIS | CaDiFac.. |
| 0,10 | 0,9829 | 0,9829 | 1,00 | 0,1319 | 0,1319 | 10,00 | 0,0473 | 0,0473 |
| 0,12 | 0,9754 | 0,9754 | 1,20 | 0,1146 | 0,1146 | 12,00 | 0,0407 | 0,0407 |
| 0,14 | 0,9666 | 0,9666 | 1,40 | 0,1182 | 0,1182 | 14,00 | 0,0449 | 0,0449 |
| 0,16 | 0,9566 | 0,9566 | 1,60 | 0,1011 | 0,1011 | 16,00 | 0,1042 | 0,1042 |
| 0,18 | 0,9453 | 0,9453 | 1,80 | 0,0992 | 0,0992 | 18,00 | 0,2156 | 0,2156 |
| 0,20 | 0,9328 | 0,9328 | 2,00 | 0,1209 | 0,1209 | 20,00 | 0,2955 | 0,2955 |
| 0,25 | 0,8966 | 0,8966 | 2,50 | 0,1340 | 0,1340 | 25,00 | 0,2380 | 0,2380 |
| 0,30 | 0,8538 | 0,8538 | 3,00 | 0,0863 | 0,0863 | 30,00 | 0,1200 | 0,1200 |
| 0,35 | 0,8052 | 0,8052 | 3,50 | 0,0686 | 0,0686 | 35,00 | 0,1596 | 0,1596 |
| 0,40 | 0,7518 | 0,7518 | 4,00 | 0,0815 | 0,0815 | 40,00 | 0,2433 | 0,2433 |

Продолжение таблицы 4

| t/T* | \sqrt{KHD} | | t/T* | \sqrt{KHD} | | t/T* | \sqrt{KHD} | |
|------|--------------|-----------|------|--------------|-----------|-------|--------------|-----------|
| | SN_SLIS.. | CaDiFac.. | | SN SLIS... | CaDiFac.. | | SN SLIS... | CaDiFac.. |
| 0,45 | 0,6945 | 0,6945 | 4,50 | 0,0793 | 0,0793 | 45,00 | 0,2392 | 0,2392 |
| 0,50 | 0,6345 | 0,6345 | 5,00 | 0,0696 | 0,0696 | 50,00 | 0,1977 | 0,1977 |
| 0,60 | 0,5107 | 0,5107 | 6,00 | 0,0653 | 0,0653 | 60,00 | 0,2006 | 0,2006 |
| 0,70 | 0,3892 | 0,3892 | 7,00 | 0,0600 | 0,0600 | 70,00 | 0,2027 | 0,2027 |
| 0,80 | 0,2791 | 0,2791 | 8,00 | 0,0557 | 0,0557 | 80,00 | 0,2046 | 0,2046 |
| 0,90 | 0,1898 | 0,1898 | 9,00 | 0,0514 | 0,0514 | 90,00 | 0,2043 | 0,2043 |

Сопоставление результатов счёта показывает, что по обеим программам рассчитанные значения \sqrt{KHD} совпадают вплоть до пятого знака после запятой. Из этого следует их идентичность по отношению к волновому полю, регистрируемому на Богородском ЛУ. Из рассмотрения таблицы 4.5 и графиков на рисунках 4.7 и 4.8 следует, что высокоскоростные волны-помехи 4 и 5 находятся в полосе пропускания сложной ИС (\sqrt{KHD} 0,707, D/ * 0,454). Среднескоростная волна 3 находится у самой граница этой полосы и ослабляется незначительно. Степень ослабления низкоскоростных помехи 1 и 2 тоже невелика и составляет приблизительно 3.3 и 2.4 раза, соответственно. Численно оценить эффективность использованных полевых ИС не представляется возможным, поскольку отсутствуют данные об отношениях интенсивностей полезных (однократно отраженных волн и волн-помех поверхностного типа в зонах их интерференции).

Заключение. Подводя итоги можно констатировать, что при подготовке данной работы:

рассмотрены сейсмогеологические особенности Богородского ЛУ с точки зрения постановки сейсморазведочных работ МОГТ-2D и особенностей регистрируемого волнового поля;

рассмотрены основы энергетической теории интерференционных систем как математического аппарата оценки помехоустойчивости Сл ИС;

рассмотрена программно-методическое обеспечение, использованное при оценке помехоустойчивости Сл ИС;

рассмотрены основные характеристики методики работ МОГТ-2D на Богородском ЛУ и в частности параметры группирования источников и приемников упругих колебаний;

выполнена оценка помехоустойчивости Сл ИС, применявшихся на БЛУ, с использованием программ KND_SLIS_2D_tab_vyb и CaDiFactor и было установлена их идентичность по отношению к наблюдаемым там волнам-помехам;

была установлена высокая технологичность программы построения графиков в билогарифмическом масштабе GraphLogSoft, что даёт основание рекомендовать использование для оценки помехоустойчивости сложных полевых в МОГТ-2D комплекс CaDiFactor + GraphLogSoft;

оценка помехоустойчивости сложных полевых ИС, использованных при работах МОГТ-2D на Богородском ЛУ тождественна оценке, сделанной в работе.

Таким образом, можно констатировать, что все задачи, поставленные перед данной работой, выполнены в полном объёме и её цель - достигнута.