

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

**«Оценка помехоустойчивости  
сложных полевых интерференционных систем  
в 3D-системах наблюдения типа "крест"  
(на примере Перелюбско-Рубежанского лицензионного участка)»**

Автореферат бакалаврской работы.

Студента 5 курса 501 группы  
направление 05.03.01 геология  
геологического факультета  
**Папкина Николая Юрьевича**

**Научный руководитель**

к. г.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Э.С. Шестаков

**Зав. кафедрой**

к. г.- м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Е.Н. Волкова

## ВВЕДЕНИЕ

Сейсморазведочные работы методом отраженных волн в настоящее время выполняются с применением различных форм группирования сейсмоприемников. Предпосылками применения группового приёма являются:

- недостаточная чувствительность одиночных приборов;
- заметное различие в условиях установки сейсмоприемников в различных пунктах геофизических наблюдений (ПГН);
- влияние интенсивных поверхностных волн-помех.

Для возбуждения упругих колебаний часто используются групповые источники. Целесообразность их применения обусловлена следующими причинами:

- невозможность или нецелесообразность увеличения мощности единичного излучателя;
- заметное различие условий возбуждения в разных точках расположения источников;
- ослабление интенсивности поверхностных волн-помех за счёт пространственного рассредоточения источников.

По отношению к полю упругих колебаний группы источников и приёмников образуют интерференционные системы (ИС), а их совместное использование порождает сложные интерференционные системы (СлИС).

Если первые два фактора определяются технико-методическими условиями проведения работ, особенностями ландшафта и последствиями хозяйственной деятельности населения, то третий фактор обусловлен исключительно особенностями возбуждаемого поля упругих колебаний. Выбор параметров группирования – числа элементов в группах, геометрии групп и распределения чувствительности элементов (интенсивности излучения) определяется исключительно характеристиками возбуждаемого и регистрируемого полей

упругих колебаний, а именно – характеристиками низкоскоростных волн-помех поверхностного типа [1,2,3,4]. Однако в настоящее время их изучение практически не проводится, параметры группирования выбираются "...по опыту работ прежних лет", а их оптимальность в проектной документации на проведение сейсморазведочных работ никак не обосновывается. Не составляет исключения и проектно-отчетная документация партии АО «Волгограднефтегеофизика», где я проходил производственную практику. Партия выполняла сейсморазведочные работы МОГТ-3D в пределах Перелюбско-Рубежинского лицензионного участка (П-РЛУ) на востоке Саратовской области. Поэтому представляет интерес оценить эффективность группирования источников и приёмников упругих колебаний, применявшихся при проведении сейсморазведочных работ на данной площади.

К сожалению, по имеющимся материалам невозможно получить динамические характеристики волнового поля. Поэтому в данной работе речь может идти лишь о потенциальной помехоустойчивости применявшейся СЛИС. Таким образом, целью данной выпускной квалификационной работы является ***оценка помехоустойчивости сложных полевых интерференционных систем (ИС), использованных при проведении сейсморазведочных работ на Перелюбско-Рубежинском лицензионном участке.*** Для оценки будет использован аналитический аппарат энергетической теории ИС.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть условия проведения сейсморазведочных работ на Перелюбско-Рубежинском лицензионном участке, применяемую методику, получить характеристики волн-помех поверхностного типа;
- рассмотреть аналитический аппарат энергетической теории ИС;
- рассмотреть используемое программно-алгоритмическое обеспечение;
- выполнить расчеты и оценить помехоустойчивость использованной сложной ИС.

## Основное содержание работы

Бакалаврская работа посвящена оценке помехоустойчивости сложных полевых интерференционных систем в 3D-системах наблюдения типа крест на примере Перелюбско-Рубежанского лицензионного участка

*В первом разделе*, описывается характеристика сейсмического волнового поля на Перелюбско-Рубежинском лицензионном участке и методика работ МОГТ-3D, краткая история геолого-геофизических исследований района и сведения о методике сейсморазведочных работ МОГТ-3D на Перелюбско-Рубежинском лицензионном участке.

Перелюбско-Рубежинский лицензионный участок, расположен в восточной части Озинского района Саратовской области на границе с Казахстаном. В тектоническом отношении П-РЛУ принадлежит внешней бортовой зоне Прикаспийской мегасинеклизы. Геологическое изучение Саратовского Заволжья проводится, начиная с первой половины XX столетия. Были стратифицированы геологические разрезы обнажений, созданы первые схемы тектонического районирования, также сделаны общие выводы о закономерностях геологического строения Саратовского Поволжья. В результате двухмиллигальной гравиметрической съёмки в 1946-1950г. была выявлена и трассирована южнее П-РЛУ линейная гравитационная ступень, интерпретируемая как бортовой уступ Прикаспийской впадины, а также аномалии силы тяжести, отражающих солянокупольную тектонику. На фоне регионального падения значений поля силы тяжести в сторону Прикаспийской впадины был зафиксирован положительный максимум, отвечающий Карповскому валу.

Первые сейсмические исследования МОВ на П-РЛУ проведены в конце 50-х начале 60-х годов прошлого столетия. Они позволили выполнить структурные построения по поверхности сульфатно-карбонатного палеозоя (отражающий горизонт Ip). В первой половине 70-х годов на рассматриваемой

территории начинают проводиться сейсморазведочные работы МОГТ, позволившие выявить и подготовлены под поисковое бурение по горизонтам карбона и девона Карповскую, Малаховскую и Меловую структуры. В результате испытаний различных горизонтов девона и карбона промышленный приток газа из карбонатов черемшанского горизонта среднего карбона был получен только в скв. 1 Малаховской.

В пределах участка пробурено шесть поисково-разведочных скважин (1-Малаховская, 1-Меловая, 1, 2, 7-Карповские, 9-Синегорская). Наиболее глубокая скв. 7-Карповская при глубине забоя 4720 м, предположительно, вскрыла отложения бийского горизонта среднего девона. Скважины 1-Малаховская (забой 4665 м) и 1-Меловая (забой 4630 м) вскрыли кристаллический фундамент. В них выполнено вертикальное сейсмопрофилирование (ВСП) с целью изучения скоростных параметров разреза.

В результате выполненных исследований в пределах Карповского вала было подтверждено существование Меловой, Малаховской, Урожайной структур и объектов №1 и 2, а также выявлена Восточно-Урожайная структура и серия антиклинальных поднятий. Выдан паспорт на Пешковскую структуру с прогнозом нефтегазоносности от нижнедевонских до среднекаменноугольных отложений.

В пределах южной части лицензионного участка по результатам комплексных сейсморазведочных работ выделена перспективная Овчинниковская структурная зона, генетически связанная с нижнепермским бортовым уступом. В ее пределах картируются Овчинниковская и Восточно-Овчинниковская структуры, а на юго-западном продолжении намечено локальное осложнение размерами 0,8 x 0,8 км. Вдоль южной границы участка на концах сетки отчетных профилей 2013 г, также картируется серия локальных поднятий, аналогичных выявленным в пределах Овчинниковской структурной зоны.

Как известно [1,2,3,4], для выбора параметров ИС и оценки их эффективности необходимо знать кинематические и динамические характеристики полезных волн и волн-помех:

- кажущуюся скорость;
- спектральные характеристики или форму импульса сигналов;
- соотношение интенсивностей полезных волн и волн-помех в зонах их интерференции.

В 50-60 годы прошлого столетия при проведении сейсморазведочных исследований, как правило, выполнялись опытные работы по изучению волновой картины (ВК) и определению выше упомянутых характеристик. Однако с внедрением цифровой обработки сейсморазведочных материалов изучение ВК нигде не выполняется (соответственно, не выполняются расчет оптимальных параметров группирования и анализ эффективности применяемых ИС). Для оценки помехоустойчивости СлИС, применявшихся при проведении сейсморазведочных работ МОГТ-3D на Перелюбско-Рубежинском лицензионном участке, использовалась энергетическая теория ИС, основы которой рассмотрены в следующем разделе.

*Во втором разделе*, описываются основы энергетической теории интерференционных систем. Как известно, существуют два подхода к оценке направленных свойств интерференционных систем – спектральный и энергетический. Первый положен в основу частотной теории ИС, которая оперирует в пространственно-частотной области. Второй подход лежит в основе энергетической теории, оперирующей в пространственно-временной области. Исходные данные для оценки помехоустойчивости конкретных СлИС были получены в пространственно-временной области, что и послужило причиной выбора энергетической теории ИС. Основные понятия и аналитический аппарат этой теории в сжатой форме рассмотрены ниже.

Известно, что для разделения полей полезных волн и волн-помех (т.е. выделение полезных и подавление помех) используются *интерференционные системы*, основанные на суммировании сейсмических колебаний,

зарегистрированных в разных точках пространства. Пространственное положение точек регистрации определяется с учетом кинематических характеристик выделяемых и подавляемых волн. При этом стремятся обеспечить синфазное сложение выделяемых колебаний и несинфазное – подавляемых.

Теория интерференционных систем описывает интерференции сейсмических волн при распространении их в среде или интерференцию сигналов, порожденных ими. Ввиду того, что реальные среды и определяемые ими волновые поля очень сложны, рассматриваются поля *идеально-регулярных волн* – плоские волны, распространяющиеся в бесконечном полупространстве без затухания. Сигналы, вызываемые ими в разных точках пространства, отличается лишь параметром времени. На форму же сейсмических сигналов существенных ограничений не накладывается.

Под *интерференционной системой* (ИС) будем понимать систему, суммирующую некоторую совокупность сигналов, поступающую на её входы. Чаще всего используются дискретные ИС, обладающие конечным количеством входов с чувствительностью (интенсивностью излучения)  $\mu_i$ , где  $i$  - номер входа.

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*.

В основу энергетической теории интерференционных систем положено рассмотрение свойств одномерных (линейных) систем. В практике работ они

используются наиболее часто. Получить представление о свойствах двумерных (площадных) систем можно, сводя их к одномерным системам.

*Коэффициентом направленного действия* (КНД) интерференционной системы будем называть отношение энергии сигнала некоторой волны на выходе интерференционной системы к максимально возможной энергии выходного сигнала той же волны в той же системе (формула 2.4):

$$КНД = \frac{E_{вых}}{E_{вых}^{max}} \quad (2.4)$$

КНД характеризует степень ослабления волны за счет действия интерференционной системы с входами, размещенными в разных точках плоскости наблюдения и обладающими чувствительностью  $\mu_i$ . Максимально возможную энергию сигнала той же волны можно получить, собрав все входы этой системы в одну точку.

Рассмотрим более детально выражение для КНД (формула 2.5):

$$КНД = \frac{E_{вых}}{E_{вых}^{max}} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \left[ \sum_{i=1}^n \mu_i f(t + \Delta t_i) \right]^2 dt}{\left[ \sum_{i=1}^n \mu_i \right]^2 \int_{-\infty}^{\infty} f^2(t) dt} \quad (2.5)$$

Таким образом, по заданным параметрам импульса ( $\kappa$ ,  $T$ ,  $\psi$ ) 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 ( $\gamma = \kappa^2 T^2 = 3$ ), трехпериодные ( $\gamma = 0.8$ ) и реже – пятипериодные импульсы ( $\gamma=0.2$ ).

**В третьем разделе**, описываются результаты расчетов КНД и оценка потенциальной помехоустойчивости сложной интерференционной системы, применявшейся на Перелюбско-Рубежинском лицензионном участке.



Как было сказано выше, для оценки помехоустойчивости сложных интерференционных систем, формирующихся в 3D-системах наблюдения при использовании группового источника и групповых приёмников упругих колебаний для конкретной волны-помехи с помощью программы `KND_SLIS_3D_file3` рассчитывается распределение значений КНД в пунктах геофизических наблюдений (ПГН).

Программа предполагает линейное группирование источников и приёмников, ориентированных вдоль линий наблюдения (ЛН) и линий возбуждения (ЛВ), соответственно. Положение ПГН на плоскости наблюдения соответствует местоположению центра группы. Система координат определена следующим образом:

- начало координат совмещается первым ПГН на первой ЛН;
- ось X ориентирована вдоль ЛН, ось Y – вдоль ЛВ.

В программе `KND_SLIS_3D_file3` рассчитываются не собственно значения КНД, а  $\sqrt{\text{КНД}}$ , как более удобные для анализа помехоустойчивости СЛИС. Расчётные значения записываются в текстовый файл в дисковой памяти компьютера. Для преобразования файла в числовой формат использовался пакет Excel, файлы .xls использовались для построения карт распределения параметра  $\sqrt{\text{КНД}}$  в картосоставительском пакете Surfer.

Для построения карт характеристики волн помех был упорядочены по видимым длинам волн ( $\lambda^*$ ). Если у нескольких волн  $\lambda^*$  отличались не более чем на 10%, предполагалось, что различие связано с погрешностями в определении  $V^*$  и  $T^*$  и их выполнялось объединение:

- осреднялись кажущиеся скорости и видимый период;
- по осреднённым значениям вычислялись  $f^*$  и  $\lambda^*$ .

Как было сказано в подразделе 1.2, на Перелюбско-Рубежинском лицензионном участке использовался центрально-симметричный темплейт,

включавший 20 линий наблюдения с шагом  $\Delta Y_{\text{ЛН}} = 300$  м, на каждой из которых располагалось 156 ПП с шагом 50 м. Линия возбуждения, ортогональная ЛН, проходила между 78-мым и 79-ым ПП и имела х-координату  $X_{\text{ЛВ}} = 3875$  м. В темплейте располагалось 6 пунктов возбуждения, имевших у-координаты 1725, 2775, 2825, 2875, 2925, 2975 м. Однако исследованиями, выполненными в 2016-17 г.г. на кафедре геофизики СГУ, результаты которых представлены в бакалаврской работе Наумова В.М., показано, что нет необходимости выполнять расчеты для всех ПВ. Вполне представительную картину дает помещение источника в центре темплейта.

Теми же исследованиями было установлено, карта распределения параметра  $\sqrt{\text{КНД}}$  с использованием картосоставительского пакета Surfer должна строиться по всему полю темплейта, т.е. с использованием данных по всем ПП всех ЛН. Ограничения по количеству используемых ЛН и (или) по количеству ПП в общем случае искажает получаемые распределения параметра. Тем не менее, в работе [10] на основе центральной симметрии 3D-систем наблюдения типа «крест» была обоснована целесообразность ограничения изображения одним квадрантом. Необходимость ограничения вытекала из методики передачи результатов счета по программе KND\_SLIS\_3D\_karta в пакет Surfer, предложенный в работе. Суть её заключалась в обработке скриншота с результатами счета программами Fine Reader и Excel, но для этого нужно было, чтобы результаты счета могли разместиться в поле вывода программы KND\_SLIS\_3D\_karta. Это ограничение отпало после реализации записи результатов счета в дисковый файл.

Таким образом, для построения карт распределения параметра  $\sqrt{\text{КНД}}$  использовались следующие исходные данные:

- параметры группового источника:
  - ~ количество источников в группе – 3, база группы – 25 м;
  - ~ координаты центра группы источников:  $X_{\text{ГВ}} = 3875$ ,  $Y_{\text{ГВ}} = 2850$ ;
- параметры группы приёмников:

- ~ количество приёмников в группе – 12, база группы – 25 м;
- параметры системы наблюдения:
  - ~ число ЛН – 20, шаг ЛН – 300 м;
  - ~ число ПП на ЛН – 156, шаг ПП – 50 м.
- параметры волн-помех задавались в соответствии с таблицей 3.1.

Вид рабочего окна программы KND\_SLIS\_3D\_file3 по завершении расчетов для каждой из волн сохранялся в качестве паспорта расчета, что позволяло выявлять и оперативно устранять ошибки в задании исходных данных. Пример паспорта расчета для волны W 1 приведён на рисунке 3.1.

Результаты счета по программе KND\_SLIS\_3D\_file3 фиксируются на диск в виде текстового файла и для передачи их в картосоставительский пакет Surfer преобразовывались в числовой формат в программе Excel.

Для построения карт распределения параметра  $\sqrt{\text{КНД}}$  использовалась демонстрационная версия пакета Surfer-10, которая не позволяла выводить на печать и фиксировать в файл результаты работ. Размеры результативных карт позволяли с достаточной детальностью разместить их в поле изображения пакета Surfer и результативная карта фиксировалась при помощи скриншота с последующей обработкой его в любом графическом редакторе (в данном случае использовался стандартный редактор Paint).

Сложности в реализации увеличения баз группирования источников и приёмников упругих колебаний сводятся к следующему:

- увеличение базы группирования источников связано со значительным изменением расстояний между ними и необходимостью реализации технико-методических мероприятий по обеспечению точности позиционирования (кардинально эта проблема решается применением бытовых или строительных лазерных дальномеров);
- увеличение базы группирования приёмников требует наличия порядка 3 200 групп сейсмоприёмников смонтированных с расстояниями 4.55 м между ними.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как было сказано во Введении, целью данной работой являлась оценка помехоустойчивости сложных полевых интерференционных систем (ИС), использованных при проведении сейморазведочных работ на Перелюбско-Рубежинском лицензионном участке. Для её достижения было сделано следующее:

- рассмотрены условия проведения сейморазведочных работ МОГТ-3D на Перелюбско-Рубежинском лицензионном участке, применяемая методика, на основе анализа полевой сейсмограммы получены характеристики десяти волн-помех поверхностного типа;
- рассмотрены основы энергетической теории интерференционных систем, используемый ею аналитический аппарат для вычисления целевой функции КНД в двух- и трехмерных системах наблюдения;
- рассмотрено разработанное на кафедре геофизики Саратовского университета программно-алгоритмическое обеспечение расчета КНД в 3-D системах наблюдения типа «крест»;
- с помощью последней версии программы KND\_SLIS\_3D\_файл3 выполнены расчёты распределений параметра  $\sqrt{КНД}$  по полю темплейта, с помощью картосоставительского пакета Surfer построены 12 карт распределения параметра, в результате анализа которых была установлена низкая потенциальная помехоустойчивость использованных ИС;
- была оценена возможность повышения помехоустойчивости за счет увеличения баз групповых источников и приёмников упругих колебаний, оценены проблемы, возникающие при реализации этих предложений.

Таким образом, все поставленные перед бакалаврской работой задачи решены в полном объёме и поставленная перед нею цель достигнута.