



**Введение.** На кафедре геофизики Саратовского государственного университета в течение ряда лет ведутся инициативные научно-исследовательские работы по развитию энергетической и частотной теорий ИС с точки зрения разработки подходов, алгоритмов и программ оценки свойств сложных интерференционных систем. В частности, были созданы программы CaDiFactor и 3D SYSTEMS, в обкатке которых на полевом материале я принимала участие. Исходные материалы – материалы сейсморазведочных работ МОГТ-3D на Соболином лицензионном участке (ЛУ) – были собраны мной при прохождении производственной практики.

Другим побудительным моментом к выбору данного направления было то, что в Проекте на проведение работ никак не обосновывался выбор характеристик полевых ИС. Целью бакалаврской работы являлся **комплексный анализ характеристик полевых интерференционных систем МОГТ-3D**, которая предполагает решение следующих задач.

- собрать, обобщить и проанализировать имеющиеся на территории Соболиного лицензионного участка геолого-геофизические материалы, на этой основе дать геолого-геофизическую характеристику Соболиному ЛУ;
- изучить и описать теоретические основы энергетической и спектральной теории, используемых при анализе свойств полевых ИС;
- проанализировать изменение свойств полевой ИС при непостоянстве характеристик волн-помех;
- изучить свойства ИС не только для волн-помех, но и для целевых отраженных волн;
- выполнить в пределах Соболиного лицензионного участка комплексный анализ свойств полевой ИС МОГТ-3D с одновременным использованием энергетической и спектральной теории.

Для решения этих задач было написано 5 глав:

- Геолого-геофизическая характеристика района работ
- Методика полевых сейсморазведочных работ МОГТ-3D

- Основы энергетической и частотной теорий интерференционных систем
- Оценка помехоустойчивости полевых ИС, использованных на Соболином ЛУ с позиций энергетической теории
- Оценка частотных параметров полевых ИС, использованных на Соболином ЛУ

Новизна исследования определяется разработкой иной методики оценки полевых интерференционных систем МОГТ-3D используемой на Соболином ЛУ, применимостью предлагаемых подходов по совершенствованию анализа полевых материалов.

Так же в процессе написания магистерской работы были получены следующие положения, выносимые на защиту:

- В ходе работы выявлены факторы, которые влияют на изменения параметра  $\sqrt{\text{КНД}}$ , основным из которых является глубина залегания;
- Выявлена взаимосвязь между параметрами глубины, частоты и длительности импульса;
- Определена целесообразность внедрения оценка помехоустойчивости сложных полевых интерференционных систем.

**Основное содержание работы. Раздел 1 «Геолого-геофизическая характеристика района работ».** Соболиный ЛУ находится на территории Каргасокского района Томской области Российской Федерации. Административный центр – поселок Каргасок – расположен в 75 км к северо-востоку от границ участка. В сжатой форме рассмотрены история исследований, геолого-геофизическая характеристика разреза осадочного чехла, особенности тектонического строения района работ. Необходимость проведения детализационных работ МОГТ-3D обусловлена высокой перспективностью ЛУ в нефтегазоносном отношении: залежи нефти, газа и конденсата в данном НГР выявлены в отложениях триаса, верхней юры и неокома и в пределах Соболиного ЛУ открыты Соболиное, Гуларинское и

Ясное месторождения с залежами в пластах: Б8, Б9, Б10, Б111+л, Б112, Б121, Б122, Б13, Б141, Ю11, Ю1му, Ю13-4.

Анализ сейсмогеологических особенностей территории исследований показал, что поверхностные неоднородности зависят от форм ландшафта: рек, озер, болот, увалов. Разрез мезозойских и кайнозойских отложений сложен циклическим чередованием песчано-глинистых пород, слои которых отличаются значениями акустической жёсткости, что позволяет получать интенсивное поле отражённых волн от границ этих слоёв, и, соответственно, проследивать распространение геологических тел в пространстве.

Нижний структурно-тектонический этаж представляет собой доюрское основание, которое соответствует геосинклинальному и парагеосинклинальному этапам развития Западно-Сибирской плиты. Он представлен эффузивными, интрузивными и осадочными сильно дислоцированными и метаморфизированными породами. Многочисленные разломы, установленные в доюрских отложениях, обусловили блоковый характер строения его поверхности, многие из которых прослеживаются вплоть до верхнего структурно-тектонического этажа.

Верхний структурно-тектонический этаж сложен мощной толщей мезозойских и кайнозойских образований, накопившихся в условиях длительного и стабильного прогибания доюрского основания. Этот этаж, или собственно осадочный чехол плиты, изучен наиболее полно. Он характеризуется слабой дислоцированностью, полным отсутствием метаморфизма пород и контролирует основные известные в пределах плиты скопления углеводородов. Наблюдается относительно плавное нарастание значений пластовых скоростей с глубиной от 1790 м/с в неоген-палеогеновых отложениях до 3400 м/с в породах юрского возраста.

В интервале времени от 0 до 2700 мс видна группа осей синфазности, отражённых волн, ниже отражения практически не выделяются, наблюдаются интенсивные низкоскоростные волны-помехи, а помехи с более высокими скоростями выделяются относительно слабо. Для определения характеристик

волн-помех далее используется центральная сейсмограмма представленного выше фрагмента.

**Раздел 2 «Методика полевых сейсморазведочных работ».** Целью рассматриваемых работ МОГТ-3D было уточнение деталей геологического строения установленных нефтяных и газовых залежей в границах Соболиного ЛУ с для оптимальной организации добычи в процессе разработки, а также прогноз и выявление новых ловушек УВ.

Использовалась ортогональная система наблюдения типа «крест», представляющая собой 14 параллельных линий наблюдения (ЛН) и одну ортогональную им линию возбуждения (ЛВ). Пункты возбуждения (ПВ) располагались равномерно в интервале между двумя центральными ЛН с шагом 50 м. На каждой ЛН располагалось 108 пунктов приёма, в которых устанавливалась линейная группа из 12-ти сейсмоприёмников на базе 25 м, ориентированная вдоль линии наблюдения. В качестве источников упругих колебаний использовались взрывы из одиночных скважин с погружением зарядов на  $\frac{1}{4} \lambda$  прямой волны под подошву ЗМС для уменьшения влияния волн-спутников и повышения временной разрешенности сейсмической записи.

**Раздел 3 «Основы энергетической и частотной теорий интерференционных систем».** В сейсморазведке существует 2 типа волн, полезные и помехи, полезная информация представляет собой запись регулярных волн, образовавшихся на исследуемых границах, помехи в свою очередь могут быть как регулярными, так и нерегулярными (случайными).

Разделение полей полезных волн и волн-помех по  $V^*$  осуществляется так называемыми интерференционными системами (ИС), основанными, главным образом, на суммировании сейсмических колебаний, зарегистрированных в разных точках пространства, с учетом кинематических характеристик выделяемых и подавляемых волн. При этом обеспечивается синфазное сложение выделяемых колебаний и несинфазное – подавляемых.

Интерференционные системы, как правило, 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 ИС можно подразделить на линейные, где входы располагаются вдоль некоторой линии (профиля), и площадные. Рассмотрение одномерных, то есть линейных свойств является фундаментом энергетической теории ИС.

В энергетической теории интерференционных систем целевой функцией, описывающей действие ИС на сигнал регулярной волны, является **коэффициент направленного действия** (КНД). Под КНД понимается отношение энергии сигнала некоторой ( $i$ -той) волны на выходе конкретной ( $j$ -той) ИС к максимально возможной энергии той же волны на выходе той же системы, КНД можно высчитать по формуле 1:

$$\text{КНД}_{ij} = \frac{E_{ij \text{ вых}}}{E_{ij \text{ вых max}}}, \quad (1)$$

т.е.  $\text{КНД}_{ij}$  показывает насколько  $j$ -тая ИС ослабляет  $i$ -тую регулярную волну.

Частотная теория интерференционных систем основана на вычислении и изучении их частотных характеристик, а также частотных характеристик сейсмических сигналов. Переход от аргумента времени к частоте и обратно делается с помощью прямого и обратного преобразований Фурье соответственно. Рассмотрим далее конкретный пример реализации положений частотной теории.

Завершая данный раздел, следует указать на ее основное преимущество, заключающееся в универсальности вычисляемых частотных характеристик. Они не зависят от того, какой сигнал анализируется. В отличие от нее, результаты, получаемые с использованием энергетической теории, относятся к конкретному сигналу, который использовался для вычислений. Кроме того,

зачастую спектральная теория дает возможность формулировать и решать геофизические задачи более просто по сравнению с энергетической теорией. Сказанное в первую очередь относится к весьма актуальной задаче повышения разрешающей способности сейсмических исследований.

#### **Раздел 4 «Оценка помехоустойчивости полевых ИС, использованных на Соболином ЛУ с позиций энергетической теории».**

Для расчета КНД в 3D-системах наблюдения типа «крест» на кафедре геофизики Саратовского университета была разработана программа «KND SLIS 3D карта». Она написана на языке Visual Basic и имеет в своём составе 3х служебных блока (блок загрузки программы, блок декларации переменных, блок инициализации) и четыре подпрограммы (подпрограммы расчета АГА, визуализации АГА на экране дисплея, расчёта таблицы КНД, визуализации таблицы КНД). Служебные блоки необходимы для организации работы программы, подпрограммы реализуют общий алгоритм, рассмотренный выше.

В 2017 г Веселовым Н.А. при подготовке бакалаврской работы на базе выше упомянутой программы на языке C# была разработана программа CaDiFactor, реализующая расчет КНД сложных ИС в 2D и 3D системах наблюдений. Особенностью её было то, что она ориентирована на групповые источники колебаний и задать единичный источник во вкладке «Группа источников» невозможно.

В данной выпускной квалификационной работе показана возможность имитации одиночного источника в режиме «KND 3D» комплекса CaDiFactor при задании группового источника из 2-х элементов с базой группы равной 0.5 м, что позволило использовать его в данной работе. Расчет карт распределения параметра  $\sqrt{\text{КНД}}$  выполнялся общедоступном картосоставительском пакете Surfer.

На полевых сейсмограммах были выделены пять доминирующих помех с параметрами:

Волна 1 –  $V^* = 195$  м/ с;

Волна 2 –  $V^* = 333$  м/ с

Волна 3 –  $V^* = 722$  м/с;

Волна 4 –  $V^* = 1154$  м/с;

Волна 5 –  $V^* = 1467$  м/с.

Для каждой из этих волн был проведён анализ с частотами 8, 10, 12 и 16 Гц и длительностью импульса 2, 3 и 5 Т. В комплексе программ CaDiFactor для всех волн были рассчитаны распределения параметра  $\sqrt{\text{КНД}}$  по полю темплейта, а в комплексе Surfer построены карты. Анализ карт показал, что при повышении скорости изменение параметров становится всё менее и менее заметно.

Так же были выделены 3 отражающих горизонта:

Волна V – глубина залегания – 260 м;

Волна ПБ<sub>2</sub> – глубина залегания – 1730 м;

Волна Ф<sub>2</sub> – глубина залегания – 2130 м.

Так как, в отличие от волн помех, у отражённых волн годограф не линейный, для расчета и графического представления КНД было сделано следующее:

- формирование для каждой из границ набора фиксированных удалений ПВ – ПП (в нашем случае это 0, 500, 1000, 1500, 2000 и 2500 метров);
- вычисление для выбранного набора удалений значений кажущейся скорости для каждой из сейсмических границ;
- вычисление КНД для заданных азимутов и удалений ПВ - ПП;
- представление результатов в графическом виде в прямоугольной системе координат. При этом, по оси абсцисс откладываются значения азимутов, а по оси ординат – соответствующие им значения КНД.

Обобщая результаты выполненных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Пределы изменения значений  $\sqrt{\text{КНД}}$  для проанализированных отражающих границ существенно отличаются, что можно объяснить различиями в кажущейся скорости вследствие разных глубин их залегания.

Пределы изменений  $\sqrt{\text{КНД}}$  для разных границ показаны в таблице 1.



Таблица 1 – Пределы изменения  $\sqrt{\text{КНД}}$  для разных отражающих

границ

№ пп	Стратиграфическая привязка границы	Максимальное значение $\sqrt{\text{КНД}}$	Минимальное значение $\sqrt{\text{КНД}}$
1	V	1	0.856
2	ПБ <sub>2</sub>	1	0.9871
3	Ф <sub>2</sub>	1	0.9941

Судя по данным, приведенным в таблице 2 для границы V наблюдается изменение  $\sqrt{\text{КНД}}$ , достигающее 13.4%, для границы ПБ<sub>2</sub> 10.29 % и для границы Ф<sub>2</sub> 0.59%. Такие изменения следует признать существенными при решении задач прогнозирования геологического разреза и сейсмостратиграфии. Действительно, к примеру, связанные с залежами углеводородов аномалии амплитуд обычно колеблются от 5 до 15%.

2. Для разных азимутов  $\sqrt{\text{КНД}}$  меняется существенно и в разной мере;

3. В наибольшей мере параметр  $\sqrt{\text{КНД}}$  меняется для азимутов 90 и 270 градусов. То есть линия максимального изменения расположена вдоль центральных линий наблюдения, в меньшей мере значение  $\sqrt{\text{КНД}}$  меняется для азимутов 0 и 180. Таким образом, линия минимального изменения значения  $\sqrt{\text{КНД}}$  соответствует линии возбуждения;

4. С увеличением глубины залегания отражающих границ зависимость значения  $\sqrt{\text{КНД}}$  от изменения удаления источник-приёмник ослабевает;

5. Изменение параметра  $\sqrt{\text{КНД}}$  в зависимости от азимута происходит не равномерно. На незначительных глубинах при увеличении азимута от 0 до 90 градусов изменение параметра  $\sqrt{\text{КНД}}$  происходит сначала резко, а затем более плавно, на значительных глубинах наблюдается обратная картина;

6. Все проанализированные отраженные волны попадают в область пропускания полевой системы;

7. Амплитуды волн для границ, залегающих на значительных глубинах менее изменчивы по площади, в сравнении с границами, залегающими на незначительной глубинах.

**Раздел 5 «Оценка частотных параметров полевых ИС, использованных на Соболином ЛУ».** Для определения частотных характеристики ИС использовалась программа 3D SYSTEMS, разработанная на кафедре геофизики СГУ при реализации первого инновационного проекта университета.

При анализе частотных свойств полевой ИС акцентированное внимание было уделено граничной частоты спектра выходного сигнала. Эта характеристика широко применяется в практике сейсморазведочных работ как объективный показатель разрешающей способности метода. Задача повышения разрешенности сейсмических данных в частотной области часто формулируется как задача расширения спектра, то есть повышения граничной частоты.

Вначале отметим, что определение граничной частоты сигнала на выходе интерференционной системы частоты сложнее чем определение характеристик направленности в энергетической области, что и потребовало использования оригинального специализированного программного обеспечения. В данной работе расчёт граничной частоты был произведён с применением ранее названной программы 3D SYSTEMS. В ходе исследований спектры сигнала на выходе ИС рассчитывались для всех границ и азимутов. Граничное значение частоты определялось как это обычно и делается по значению амплитуды 0.7.

При расчётах, как и ранее взята база группирования приёмников 25 метров, число элементов группы – 6, тип сигнала – ЛЧМ СВВП, параметры сигнала: длительность сигнала – 10 с., начальная чистота – 10 Гц, конечная частота – 100 Гц, длина конуса – 0 мс., кажущаяся скорость, вынос и удаление определялась и задавалась для каждой точки индивидуально. После получения данного результата время переводилось в частоту. Аналогично этому были

рассчитаны амплитудно-частотные спектры и граничные частоты для всех трёх глубин залегания отражающих границ 260, 1730 и 2130 м.

Так как в результате анализа  $\Pi\text{Б}_2$  и  $\Phi_2$ , из-за высокой кажущейся скорости и имеющихся ограничений программного обеспечения определить граничную частоту не удалось в работе анализировались только данные для волны V.

В результате получилась карта граничной частоты для волны V с сильно дифференцированными значениями по площади.

**Заключение.** В результате проделанных исследований были полностью решены все поставленные задачи:

- собраны, обобщены и проанализированы имеющиеся на территории Соболиного лицензионного участка геолого-геофизические материалы, на этой основе дана геолого-геофизическая характеристика Соболиного ЛУ, были расписаны условия работы, история изучения района работ, тектоническая и нефтяная ситуации, а также литология;

- изучены и описаны теоретические основы энергетической и спектральной теории, используемых при анализе свойств полевых ИС;

- проанализировано изменение свойств полевой ИС при непостоянстве характеристик волн-помех. Были выделены 5 волн помех и взяты частоты 8, 10, 12 и 16 Гц и длительности импульса 2, 3 и 5Т. Из получившихся результатов можно сделать выводы, что с увеличением глубины длительность импульса сказывается всё менее и менее заметно, в свою очередь изменении частоты начинает проявляться сильнее. На основании этого вывода можно делать предположения по методике работ в дальнейших проектах.

- изучены свойства ИС не только для волн-помех, но и для целевых отраженных волн. Были выделены 3 полезные волны, соответствующие верхней границе, средней и глубочайшей. Анализ данных отражающих горизонтов показал насколько сильно дифференцируются данные в зависимости от глубины, азимута и удаления;

- в пределах Соболиного лицензионного участка выполнен комплексный анализ свойств полевой ИС МОГТ-3D с одновременным использованием энергетической и спектральной теорий.