

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 в сейсморазведке МОГТ-3D на Известинском
лицензионном участке»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 403 группы
направление 05.03.01 геология
геологического ф-та
Ефимовой Марии Михайловны

Научный руководитель

К. г.-м.н., доцент

подпись, дата

Э.С. Шестаков

Зав. кафедрой

К. г.- м.н., доцент

подпись, дата

Е.Н. Волкова

Саратов 2019

Введение. По своей сущности поле упругих колебаний, регистрация которых осуществляется при проведении сейсморазведочных работ, является суперпозицией регулярных и случайных волн различного типа. Метод отраженных волн (МОВ) в качестве инструмента решения геологических задач различной сложности использует однократно отраженные волны от границ раздела в исследуемой геологической среде. В регистрируемом волновом поле они составляют незначительный объём, остальные его компоненты можно рассматривать как помехи.

Одним из основных видов помех в МОВ являются низкоскоростные волны-помехи поверхностного типа. Для их подавления повсеместно используются полевые интерференционные системы (ИС) – группирование приемников и источников упругих колебаний. При совместном использовании групп приёмников и групп источников формируются сложные интерференционные системы, действие которых в классических теориях ИС не рассматривалось.

На кафедре геофизики Саратовского государственного университета в течение ряда лет ведутся инициативные научно-исследовательские работы по развитию энергетической теории ИС с точки зрения разработки подходов, алгоритмов и программ оценки свойств сложных интерференционных систем. В частности, была создана программа CaDiFactor, обкатке которой на полевом материале я принимала участие. Исходные материалы – материалы сейсморазведочных работ МОГТ-3D на Известинском 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 являлась **оценка помехоустойчивости сложных полевых ИС на Известинском ЛУ посредством использования программного комплекса CaDiFactor**, которая предполагает решение следующих задач:

- рассмотрение геолого-геофизических особенностей Известинского ЛУ и применяемой методики сейсморазведочных работ МОГТ-3D;
- рассмотрение основ энергетической теории ИС;
- рассмотрение применяемого в данной работе программно-алгоритмического обеспечения;
- получение характеристики волн-помех поверхностного типа;
- выполнение расчётов КНД в программном комплексе CaDiFactor и построение карт распределения параметра с помощью картосоставительского пакета Surfer;
- оценка помехоустойчивости сложных ИС, формирующихся при совместном применении группирования источников и приёмников упругих колебаний в 3D-системе наблюдения.

Основное содержание работы. Раздел 1 «Геолого-геофизическая характеристика района работ». Изучаемая площадь – Известинский ЛУ – расположена в Пуровском районе Ямало-Ненецкого округа Тюменской области и приурочена к Губкинскому нефтегазоносному району (НГР) Надым-Пурской нефтегазоносной области. 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 широком стратиграфическом диапазоне от средней юры до верхнего мела включительно и в пределах Известинского ЛУ открыты Вьюжное месторождение с залежами газоконденсата в пластах Ач₁ и Ач₂; Известинское месторождение с залежами нефти в пластах Ю₀, Ю₁, Ю₂; Восточно-Известинское месторождение с залежью нефти в пласте Ю₁; Метельное месторождение с залежью нефти в пласте Ю₂ и Осеннее месторождение с залежами нефти в пластах Ю₁ и БП₁₂.

Анализ сейсмогеологических особенностей территории исследований показал, что она характеризуется довольно сложными поверхностными геологическими условиями. Почти повсеместная заболоченность, наличие разветвленной орогидрографической сети, сухих песков на "гривах", мощных торфяных подушек на болотах создают пеструю картину строения ЗМС.

Глубинные сейсмогеологические условия в районе исследований, в целом, благоприятны для постановки сейсморазведочных работ МОВ ОГТ. Цикличное строение осадочного чехла (чередование песчано-алевролитовых и глинистых толщ), характерное для Западно-Сибирской плиты, связано с ритмичностью осадконакопления, обусловленного сменой режимов трансгрессий и регрессий. Резкое возрастание пластовых скоростей происходит на границе отложений платформенного мезозойско-кайнозойского чехла и доюрских образований.

Наблюдается относительно плавное нарастание значений пластовых скоростей с глубиной от 1790 м/с в неоген-палеогеновых отложениях до 3150 м/с в породах юрского возраста. Пластовая скорость в доюрских образованиях меняется с глубиной и в верхней части доюрского комплекса ее величина составляет 3520 м/с, увеличиваясь с глубиной до 5300 м/с.

На сейсмограммах в интервале времени до 3.0 с четко прослеживаются криволинейные оси синфазности отраженных волн. Волны-помехи представлены интенсивной низкоскоростной поверхностной («звуковой») волной, среднескоростные помехи имеют малую интенсивность и проявляются слабо. Для ослабления влияния низкоскоростных помех при проведении сейсморазведочных работ на Известинском ЛУ использовалось группирование сеймоприёмников.

Раздел 2 «Методика полевых сейсморазведочных работ». Целью рассматриваемых работ МОГТ-3D было уточнение деталей геологического строения установленных нефтяных и газовых залежей в границах Известинского 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 8 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 96 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 теории интерференционных систем». В сейсморазведке методом отраженных волн полезной компонентой регистрируемого поля упругих колебаний (волнового поля) являются волны, отраженные от границ раздела толщ, различающихся по акустической жесткости. Остальные компоненты волнового поля рассматриваются как помехи, наиболее сильными из них являются волны-помехи поверхностного типа.

Одним из инструментов разделения полезных волн и волн-помех являются интерференционные системы (ИС), действие которых основано на суммировании сигналов, регистрируемых в разных точках пространства.

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:

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

т.е. КНД_{ij} показывает насколько j -тая ИС ослабляет i -тую регулярную волну.

Поскольку в работах на Известинском ЛУ использовалось линейное группирование сейсмоприёмников, конкретизируем КНД применительно к линейным ИС, где каждый приёмник характеризуется l_i - координатой и чувствительностью μ_i , здесь i – номер приёмника в группе ($1 \leq i \leq n$, здесь n – число приёмников в группе). Если сигнал рассматриваемой регулярной волны в ближайшем к источнику приёмнике описывается функцией $f(t)$, то на входе i -того приёмника его можно записать как $f(t + \Delta t_i)$, где Δt_i – запаздывание волны в точке i -того приёмника.

Тогда сигнал на выходе ИС (группы) можно записать как

$$f_{\text{вых}}(t) = \sum_{i=1}^n \mu_i f(t + \Delta t_i), \quad \text{а его энергию } E_{\text{вых}} = \int_{-\infty}^{\infty} (\sum_{i=1}^n \mu_i f(t + \Delta t_i))^2 dt$$

Если $f(t)$ – знакопеременный импульс, то максимальная амплитуда и, соответственно, максимальная энергия будут при синфазном суммировании сигналов, т.е. при $\Delta t_i \equiv 0$: $E_{\text{вых max}} = (\sum_{i=1}^n \mu_i)^2 \int_{-\infty}^{\infty} f^2(t) dt$, откуда:

$$\text{КНД} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (\sum_{i=1}^n \mu_i f(t + \Delta t_i))^2 dt}{(\sum_{i=1}^n \mu_i)^2 \int_{-\infty}^{\infty} f^2(t) dt} \quad (2)$$

Поскольку математическое выражение функции $f(t)$, как правило, неизвестно, для практических расчётов она заменяется аппроксимирующим сигналом. В энергетической теории ИС с этой целью используется нуль-фазовый гармонический сигнал с экспоненциальной огибающей (импульс Пузырёва): $f(t) = e^{k^2 t^2} \sin \omega(t + \psi) = e^{k^2 t^2 (t/T)^2} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{\psi}{T} \right)$, (3)

здесь t – параметр времени, k – коэффициент затухания экспоненциальной огибающей, ω – круговая частота, ψ – фазовый сдвиг, T – период гармонической заполняющей.

Правомерность и эффективность такой замены доказана эмпирически и теоретически.

Подстановка выражения (3) в выражение (2) и выполнение некоторых математических преобразований позволяют получить выражение КНД, явным образом зависящее от характеристик ИС и параметров волны. В частности, выражение КНД однородной ИС, являющееся основой используемого настоящей работе программного обеспечения, выглядит следующим:

$$\text{КНД} \approx \frac{1}{n^2} \left[n + 2 \sum_{\substack{l=1, \\ r=l+1, \\ l \neq r}}^{(n-1), n} e^{-\frac{k^2 T^2}{2} (\Delta t / T)^2 (l-r)^2} \times \cos 2\pi \frac{\Delta t}{T} (l-r) \right], \quad (4)$$

здесь l, r – индексы элементов ИС, а отношение $\Delta t / T$ или тождественное ему отношение D / λ^* является безразмерным аргументом функции КНД, где Δt – максимальное запаздывание волны в ИС ($0 \leq \Delta t_i \leq \Delta t$), T – преобладающий период импульса, D – база ИС, а λ^* – кажущаяся длина волны.

Для расчета КНД согласно выражению (4) по рекомендации исходные данные представляются в виде амплитудно-временного аналога (АВА) – таблицы, где каждый элемент ИС описывается номером, значением относительной чувствительности (или интенсивности излучения) и относительным запаздыванием волны. АВА определяется как характеристиками ИС, т.е. в конкретной Системе каждой волне соответствует свой АВА.

На кафедре геофизики Саратовского государственного университета в развитие идеи АВА было предложено использовать амплитудно-геометрический аналог ИС (АГА), где каждый элемент ИС описывается номером, значением относительной чувствительности и относительным удалением

элемента. АГА зависит только от характеристик системы, соответственно инвариантен к характеристикам волнового поля и легко пересчитывается в АГА путём деления относительного удаления на кажущуюся скорость конкретной волны.

При продольном профилировании характеристики линейных ИС полностью описываются графиком зависимости $KND(\Delta t/T)$, который не зависит от местоположения системы по отношению к источнику колебаний. При непродольном профилировании, которое является основой 3D системы наблюдения типа «крест», использованной на Известинском ЛУ, относительные запаздывания волны на элементах ИС зависят от местоположения системы по отношению к источнику колебаний. КНД становится функцией четырёх параметров и для изображения целевой функции на двумерной плоскости необходимо понижать размерность её, фиксируя значения некоторых аргументов.

В рассматриваемой задаче фиксировались значения параметры волны и строились карты распределения \sqrt{KND} , по площади шаблона (темплейта) системы наблюдения.

Раздел 4 «Оценка потенциальной помехоустойчивости полевых интерференционных систем». 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 наб-

людений. 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 две доминирующие помехи с параметрами:

Волна 1 – $V^* = 522$ м/с, $T^* = 0.1$ с, длительность импульса $2T^*$;

Волна 2 – $V^* = 1074$ м/с, $T^* = 0.1$ с, длительность импульса $2T^*$.

В комплексе программ CaDiFactor для обеих волн были рассчитаны распределения параметра $\sqrt{\text{КНД}}$ по полю темплейта, а комплексе Surfer построены карты. Анализ карт показал, что волна 2 практически не ослабляется, поскольку на всем поле темплейта она находится в области пропускания (область, где $\sqrt{\text{КНД}} \geq 0.707$). На картах распределения $\sqrt{\text{КНД}}$ для волны 1 область пропускания тяготеет к ЛВ, а полоса гашения ориентирована вдоль линий наблюдения, наименьшее значение параметра $\sqrt{\text{КНД}}$ наблюдаются у ЛН-4 и ЛН-5(0,612), что соответствует ослаблению волны-помехи в 1.63 раза.

Полученные оценки степени подавления выделенных волн-помех свидетельствуют о низких характеристиках, применённых полевых ИС. Поэтому представляло интерес оценить возможность их улучшения за счёт добавления группового источника упругих колебаний. Рассматривалась линейная группа из 3-х источников на базе 25 м, ориентированная вдоль ЛВ.

На полученных картах отмечается общее уменьшение значений параметра $\sqrt{\text{КНД}}$, вплоть до того, что на карте для волны 1 отсутствует

область пропускания. Во-вторых, поменялись местами области максимумов и минимумов – область минимума ориентирована вдоль линии возбуждения, а область максимума – вдоль линий приёма.

Волна 2 по-прежнему находится в области пропускания по всему полю темплейта. Что касается численных значений параметра для волны 1, то в области минимума $\sqrt{\text{КНД}} = 0.47$, что соответствует ослаблению волны в 2.13 раза. В области максимума $\sqrt{\text{КНД}} = 0.615$, что соответствует ослаблению в 1.61 раза и практически равно значению ослабления параметра в области гашения в реально использованной ИС.

Данный эксперимент показал, что в 3D системах наблюдения даже небольшие изменения характеристик одной из ИС существенно влияют на распределение направленных свойств на площади темплейта. Из этого следует, что при проектировании работ МОГТ-3D нужно оптимизировать и полевые ИС.

Заключение. Подводя итоги проделанной работе следует отметить, что:

- Рассмотрены теоретические аспекты энергетической теории ИС;
- Рассмотрены программно-алгоритмические комплексы, применяемые в данной работе;
- Рассмотрены условия и применяемой методики проведения сейсморазведочных работ на Известинском ЛУ;
- Получены характеристики волн-помех поверхностного типа;
- Выполнены расчёты $\sqrt{\text{КНД}}$ в программном комплексе CaDiFactor «KND SLIS 3D карта» и построение карт распределения параметра с помощью картосоставительского пакета Surfer;
- Произведена оценка помехоустойчивости полевых ИС, использованных при проведении работ МОГТ-3D на Известинском ЛУ.
- Выполнен эксперимент по изменению параметров источника упругих колебаний, который показал, что в 3D системах наблюдения даже небольшие изменения характеристик одной из ИС существенно влияют

на распределение направленных свойств на площади темплейта и при проектировании таких работ нужно оптимизировать и полевые ИС.

Таким образом, можно констатировать, что все поставленные во Введении задачи выполнены, а цель работы достигнута.