

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 Северо-западной площади»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 403 группы очной формы обучения

геологического факультета

направление 05.03.01 «Геология»,

профиль «Нефтегазовая геофизика»

Пантюхина Никиты Сергеевича

Научный руководитель

заведующий кафедрой,

кандидат геол.-мин.наук, доцент

\_\_\_\_\_ В.Ю. Шигаев

Зав. кафедрой

кандидат геол.-мин.наук, доцент

\_\_\_\_\_ Е.Н. Волкова

Саратов 2020

**Введение.** Широко известно, что при проведении сейсморазведочных работ методом отраженных волн (МОВ) на сейсмограммах помимо полезных волн – однократно отраженных от целевых границ – регистрируется большое число волн-помех различной природы. Высокое качество и геологическая эффективность результатов сейсморазведки достигается умелым использованием различных методик по улучшению соотношения сигнал/помеха. Волны-помехи поверхностного типа имеют особое значение в сейсморазведке МОВ. Как раз интерференционные системы (ИС), и используются для подавления таких помех, а также выделения полезных волн. ИС основаны прежде всего на суммировании сейсмических колебаний, зарегистрированных в разных точках пространства. Для описания свойств интерференционных систем используются частотная и энергетическая теории ИС. Первая оперирует в пространственно-частотной области, вторая – в пространственно-временной. Однако в обеих теориях слабо разработана проблема оценки свойств сложных ИС (СЛИС). В рамках энергетической теории ИС чаще всего решение её ищется в простом перемножении значений целевой функции – коэффициента направленного действия (КНД), определённых отдельно для групп источников и сейсмоприемников по всем заданным волнам-помехам, что является существенным упрощением их реального взаимодействия.

Исходя из написанного выше, целью выпускной квалификационной работы является рассмотрение проблем оценки помехоустойчивости СЛИС и работа с промышленной версией программного обеспечения.

В задачи при написании данной работы входило:

- 1) Рассмотрение основ энергетической теории ИС;
- 2) Изучение подходы к оценке помехоустойчивости сложных интерференционных систем в 2D-системах наблюдения;
- 3) Рассмотрение структуры программ CaDiFactor;

4)Выполнение обкатки программы CaDiFactor на материале, полученном при проведении сейсморазведочных работ МОГТ-2D на Северо-западной площади. Выпускная квалификационная работа содержит в себе введение, заключение, список использованных источников, а также 4 главы основного содержания работы:

- 1 Геолого-геофизические особенности территории исследований
- 2 Методика проведения работ
- 3 Основы энергетической теории интерференционных систем
- 4 Программное обеспечение 2D-анализа

**Основное содержание работы. Раздел 1 «Геолого-геофизические особенности территории исследований».** Первые геолого-съёмочные работы выполнялись с начала 40-х годов прошлого века. С тех пор проведены различные виды геолого-геофизических исследований: структурно-геологическая съёмка, гравиметрические работы, аэромагнитная съёмка, электроразведочные работы, крелиусное структурное бурение, структурное бурение, сейсморазведочные работы. В пределах площади открыты месторождения нефти: Новоспасское, Голодяевское, Варваровское, Барановское, Славкинское.

Данная территория была покрыта сетью сейсмических профилей МОГТ плотностью 0.7-1.5 км на кв. км. В строении осадочного чехла описываемого района принимают участие отложения девонского, каменноугольного, юрского, мелового, палеогенового и четвертичного возрастов, залегающие на выветрелой поверхности фундамента с угловым и стратиграфическим несогласием.

Отмеченные на данной территории поверхностные сейсмогеологические условия определяются образованиями четвертичного возраста, они представлены аллювиальными, элювиальными и делювиальными отложениями. В долинах рек - это преимущественно пески с галькой и щебнем. На водоразделах и склонах они представлены супесями, суглинками и щебеночно-песчаным или глинистым материалом.

Основным параметром проведения работ являются глубинные сейсмологические условия работ. Пример волнового поля и временного разреза по профилю приведён на рисунках 1.3 и 1.4.

Основные волны помехи, характерные для представленной волновой картины:

1. Низкоскоростные поверхностные волны-помехи

$$V_{\text{КАЖ}} = 175-200 \text{ м/сек}, \quad F=8-15 \text{ Гц}; \quad \text{длина волны} = 70-150\text{м};$$

2. Среднескоростные волны-помехи

$$V_{\text{КАЖ}} = 860-1650 \text{ м/сек}, \quad F = 10-24 \text{ Гц}, \quad \text{длина волны} = 150-180\text{м};$$

3. Преломлённые волны

$$V_{\text{КАЖ}} = 3500-5000 \text{ м/сек}, \quad F = 8-20\text{Гц}, \quad \text{длина волны} = 250\text{м}.$$

Отражённые волны имеют скорости в диапазоне 1400-5000 м/сек, длины волн порядка 150-300м, частоты 20-40 Гц.

Наблюдённое волновое поле осложнено фоном низкоскоростных, среднескоростных волн-помех. Дальние удаления годографов отраженных волн (ОВ) интерферируют с преломленными, кратно-преломленными волнами – помехами, имеющими скорости, близкие к скоростям ОВ. Качество суммарных временных разрезов, получаемых в данном регионе в целом можно оценить как хорошее.

**Раздел 2 «Методика проведения работ».** Целью рассматриваемых работ МОГТ-2D было детальное изучение геологического строения Северо-западной площади на основе проведения полевых сейсморазведочных исследований МОГТ-2D с использованием телеметрической сейсмической станции SN-408UL.

В качестве источника возбуждения сейсмических колебаний использовалась группа из 4-х вибрационных установок СВ-30/120М (+1 - на профилактике). В местах, где применение вибрационных установок невозможно по условиям местности, возбуждение упругих колебаний

осуществлялось группой скважин глубиной 3-4 м. Рекомендуемое количество единичных источников в группе 3-5 шт. Зарядка скважин производилась взрывчатым веществом БЖВ-32 (смесь - 21% тротила и 79% аммиачной водостойчивой селитры). Параметры источников упругих колебаний определялись по результатам анализа опытных работ.

**Раздел 3 «Основы энергетической теории интерференционных систем».** В сейморазведке 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.

Поскольку в работах на Северо-западном ЛУ использовалось линейное группирование сейсмоприёмников, конкретизируем КНД применительно к линейным ИС, где каждый приёмник характеризуется  $l_i$ - координатой и чувствительностью  $\mu_i$ , 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  $\Delta t_i$  – 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  $\Delta t_i \equiv 0$ :  $E_{\text{вых max}} = (\sum_{i=1}^n \mu_i)^2 \int_{-\infty}^{\infty} f^2(t) dt$ , из чего выходит формула 2:

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

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), формула 3:

$$f(t) = e^{k^2 t^2} \sin \omega(t + \psi) = e^{k^2 t^2 (t/T)^2} \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} + \frac{\psi}{T} \right), \quad (3)$$

здесь  $t$  – параметр времени,  $k$  – коэффициент затухания экспоненциальной огибающей,  $\omega$  – круговая частота,  $\psi$  – 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, показана в формуле 4:

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

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

Для расчета КНД согласно выражению (4), 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 КНД( $\Delta t/T$ ), который не зависит от местоположения системы по отношению к источнику колебаний.

**Раздел 4 «Программное обеспечение 2D-анализа».** Программа KND\_SLIS\_2D\_graf была создана на кафедре геофизики Саратовского университета, для оценки помехоустойчивости сложных интерференционных систем, включающих группу источников и группу приёмников упругих колебаний. В качестве языка программирования был выбран VisualBasic, так как он позволял работать как в режиме интерпретации (исполнение программы от кода к коду), так и в режиме трансляции (создание исполняемого exe-файла). При подготовке данной работы для оценки помехоустойчивости сложных ИС в системах наблюдения МОГТ-2D использовался исполняемый exe-файл данной программы.

Программа состоит из 3-х служебных блоков, которые необходимы для организации работы программы и четырёх подпрограмм (подпрограммы расчета АГА, визуализации АГА на экране дисплея, расчёта таблицы КНД, визуализации таблицы КНД), реализующих общий алгоритм.

На основе программы KND\_SLIS\_2D\_graf для расчета КНД сложных ИС, формирующихся при проведении сейсморазведочных работ МОГТ-3D, была разработана программа КНД\_СЛИС\_3D\_карта. Программы имели общую основу, аналогичный интерфейс, сходные алгоритмы расчета и общий недостаток – отсутствие фиксации результатов счёта в файл для последующей обработки. Применительно к программе KND\_SLIS\_2D\_graf он объяснялся тем, что в общедоступном программном обеспечении отсутствовала возможность построения графиков в билогарифмическом масштабе, используемом при визуализации графиков КНД.

На кафедре геофизики Саратовского университета в процессе подготовки дипломной работы Веселовым Н.А. была разработана программа CaDiFactor (программный комплекс расчета коэффициента направленного действия), которая объединила в себе ранее написанные KND\_SLIS\_2D\_graf и КНД\_СЛИС\_3D\_карта в единый программный комплекс. В дополнение к CaDiFactor была разработана программа GraphLogSoft, которая позволяет строить графики полученных результатов на билогарифмическом бланке с дальнейшей их распечаткой на принтере.

Из рассмотрения характеристик волн-помех и параметров системы возбуждения следует, что оценку помехоустойчивости сложных полевых интерференционных систем, использовавшихся при проведении рассматриваемых работ МОГТ-2D, следует выполнять для групп из 4-х источников. На основе полученных данных была выполнена интерпретация сейсмограмм волнового зондирования. Её результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики волн-помех на Северо-западном участке

Группа волн-помех	Диапазоны значений параметра			
	$V^*$ (м/с)	$f^*$ (Гц)	$\tau_{\text{имп}}$ (в долях $T^*$ )	$\lambda^*$ (м)
Низкоскоростные (1)	175-200	8 - 15	2	11.66-25
Среднескоростные (2)	860-1650	10 – 24	2	35.83-165
Высокоскоростные (3)	3500-5000	8 - 20	2	175-625

Полученные данные были использованы при обкатке программы KND\_SLIS\_2D\_graf на полевом материале. Протоколы расчетов графиков КНД сложных интерференционных систем с группой источников из 3-х элементов.

Первым шагом в анализе эффективности подавления всех групп волн-помех на участке было определение областей их существования, для чего величина базы D эквивалентной ИС (переменная bes в программе KND\_SLIS\_2D\_graf, равная 44,66 м).

Затем определялись значения  $\sqrt{\text{КНД}}$  в граничных точках каждой из областей существования и пересчитывались в степени ослабления волн-помех  $B = 1/\sqrt{\text{КНД}}$ . Границы областей существования групп волн-помех, соответствующие им значения  $\sqrt{\text{КНД}}$  и величины B вынесены в таблицу 2.

Таблица 2 - Степень подавления волн-помех на Северо-западном участке исследований

Группа волн-помех	Северо-западный участок			
	$\lambda^*$ (м)	$D/\lambda^*$	$\sqrt{\text{КНД}}$	B
Низкоскоростные	11.66-25	3 – 6.43	0.05 - 0.034	20 – 29.41
Средне скоростные	35.83-165	0.45 – 2.09	0.787 – 0.09	1.27 – 11.1
Высокоскоростные	175-625	0.12 – 0.42	0.98- 0.8	1.02 - 1.25

Первое, что следует отметить, это то, что высокоскоростные помехи полностью попадают в полосу пропускания Сл ИС ( $D/\lambda^* \leq 0.13$ ) и ею не ослабляются. Продолжая анализировать полученные данные, можно заметить, что в наибольшей степени ослабляются группа низкоскоростных волн – помех

$B: B_{\min} \div B_{\max} = 20 - 29.41$  раза.

Ситуация с ослаблением среднескоростных помех складывается так же, как и с высокоскоростными помехами, поскольку вся область их существования находится в полосе пропускания. Максимальная степень ослабления на участке составляет 1.27.

Таким образом, достаточно высокие степени ослабления волн-помех отмечаются по отношению к низкоскоростным помехам и отчасти к среднескоростным. Оценить же эффективность рассматриваемой СЛИС невозможно, поскольку отсутствуют данные о соотношении интенсивностей однократно отраженных волн и поверхностных волн-помех.

**Заключение.** Завершением данной работы будет являться констатация того, что с помощью программы CaDiFactor были выполнены все поставленные задачи в начале выпускной квалификационной работы, а именно:

- 1) Рассмотрение основ энергетической теории ИС;
- 2) Изучение подходы к оценке помехоустойчивости сложных интерференционных систем в 2D-системах наблюдения;
- 3) Рассмотрение структуры программ CaDiFactor;
- 4) Выполнение обкатки программы CaDiFactor на материале, полученном при проведении сейсморазведочных работ МОГТ-2D на Северо-западной площади.

Также, благодаря тому, что на кафедре в течение ряда лет ведутся научно-исследовательские работы по инициативной тематике, связанной с развитием энергетической теории интерференционных систем в приложении ее к сложным ИС, и одним из направлений изучения, как раз являлось «оценка помехоустойчивости сложных полевых интерференционных систем», что, впоследствии, привело к созданию формированию подходов изучения, необходимых для данной работы. Программное обеспечение, которое также было создано в ходе работы кафедры над обозначенной темой, внесло большой

вклад для подготовки представления изученного материала, и является основополагающей частью этой работы.