

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 Южно-Балаковской площади»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 403 группы очной формы обучения
геологического факультета
направление 05.03.01 «Геология»,
профиль «Нефтегазовая геофизика»
Дмитриева Вячеслава Алексеевича

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. На кафедре в течение ряда лет проводятся научно-исследовательские работы (НИР) по инициативной тематике, связанной с развитием энергетической теории интерференционных систем (ИС) в приложении ее к сложным ИС (СЛИС). Одно из направлений исследований это формирование подходов к оценке помехоустойчивости сложных полевых интерференционных систем и разработка на их основе соответствующего программно-методического обеспечения. В частности, для систем наблюдения, используемых при сейсморазведочных работах МОГТ-2D.

В 2016-17г. в рамках упомянутого направления исследований студентом Веселовым Н.А. была разработана промышленная версия этой программы – CaDiFactor (далее – CDF), рассмотренная в работе.

В качестве цели бакалаврской работы, мне было предложено произвести оценку помехоустойчивости сложных полевых интерференционных систем, использованных при сейсморазведочных работах МОГТ-2D на Южно-Балаковской площади с помощью программы CaDiFactor на полевом материале, использованном при подготовке работы. Для её достижения необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть основы энергетической теории ИС;
- изучить подходы к оценке помехоустойчивости сложных интерференционных систем в 2D-системах наблюдения;
- рассмотреть структуру программы CaDiFactor;
- сделать расчёты в программе CaDiFactor на материале, полученном при проведении сейсморазведочных работ МОГТ-2D на Южно-Балаковской площади.

Выпускная квалификационная работа содержит в себе введение, заключение, список использованных источников, а также 4 главы основного содержания работы:

- 1 Геолого-геофизическая характеристика района работ
- 2 Методика сейсморазведочных работ МОГТ-2D

3 Основы энергетической теории интерференционных систем

4 Программное обеспечение 2D-анализа

Основное содержание работы. Раздел 1 «Геолого-геофизическая характеристика района работ». Южно-Балаковский ЛУ находится на территории Марксого и Балаковского района Саратовской области Российской Федерации. Административный центры – город Маркс и город Балаково. В сжатой форме рассмотрены история исследований, геолого-геофизическая характеристика разреза осадочного чехла, особенности тектонического строения района работ. Необходимость проведения детализационных работ МОГТ-2D обусловлена высокой перспективностью прилегающих рядом территорий в нефтегазоносном отношении: залежи нефти, газа и конденсата в данном НГР выявлены в средневерхнедевонских (карбонатно-терригенный), верхнедевонско-нижнекаменноугольных (преимущественно карбонатный), нижне-верхневизейских (терригенный), серпуховско-нижнебашкирских (карбонатный), верейско-мелекесских (преимущественно терригенный), верхнемосковско-нижнепермских (карбонатный) отложениях. На сопредельной площади, в непосредственной близости от северной границы участка находится Балаковское нефтяное месторождение.

Анализ сейсмогеологических особенностей территории исследований показал, что поверхностные неоднородности зависят от форм ландшафта: рек, озер, болот, увалов. Разрез палеозойских отложений сложен циклическим чередованием песчано-глинистых пород, так же известняками и аргиллитами 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.

История формирования современной геоструктуры рассматриваемого участка начинается в рифей-вендскую эпоху, когда был заложен Пачелмский авлакоген. Развитие авлакогена сопровождалось образованием серии протяженных горстов и грабенов, отделенных друг от друга дизъюнктивными

нарушениями. Предполагается, что в позднем протерозое произошла инверсия тектонических движений, сопровождающаяся интенсивным размывом накопившихся отложений.

В палеозойскую эпоху, над авлакогеном начинает формироваться Рязано-Саратовский прогиб. Девонский период унаследовал погребенную структуру протерозойских блоков и поэтому, из-за различий в темпах прогибания, Пугачёвский свод начинает развиваться как положительная структура, а Прикаспийская впадина – как отрицательная. характер строения его поверхности, многие из которых прослеживаются вплоть до верхнего структурно-тектонического этажа.

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

Для приёма упругих колебаний использовались сейсмоприёмники типа GS-20DX с резонансной частотой 10 Гц. На каждой линии наблюдения располагалась линейная группа из 12-ти сейсмоприёмников на базе 25 м, ориентированная вдоль линии наблюдения. В качестве источника возбуждения упругих колебаний использовалась группа из 3-х вибраторов KZ-620. База и вид группирования – статическое; база - 25м (12,5 м между опорными плитами виброустановок).

Раздел 3 «Основы энергетической теории 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 максимальной энергии той же волны на выходе той же системы, КНД можно вычислить по формуле 1:

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

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

Поскольку в работах на Южно-Балаковском 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 $\Delta t_i \equiv 0$: $E_{\text{вых max}} = (\sum_{i=1}^n \mu_i)^2 \int_{-\infty}^{\infty} f^2(t) dt$, 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, 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, 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/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), 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». Для оценки помехоустойчивости сложных интерференционных систем, включающих группу источников и группу приёмников упругих колебаний, на кафедре геофизики Саратовского университета была создана программа KND_SLIS_2D_graf. Она написана на алгоритмическом языке VisualBasic, позволяющем 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, необходимых 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.

Обкатка программы KND_SLIS_2D_graf, рассмотренная в работе, была выполнена на материалах опытных работы по детальному изучению волнового состава регистрируемых сейсмических колебаний на Южно-Балаковском ЛУ

Таблица 1 – Характеристики волн-помех на участке А

Группа волн-помех	Диапазоны значений параметра			
	V^* (м/с)	f^* (Гц)	$\tau_{\text{имп}}$ (в долях T^*)	λ^* (м)
Низкоскоростные (1)	133	10	2	13.3
Среднескоростные (2)	1344	10	2	134.4
Высокоскоростные (3)	3333	10	2	333.3

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 3 источников в предположении, что сигнал аппроксимируется двухфазным импульсом Пузырёва.

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 территории исследований

Группа волн-помех	λ^* (м)	D/λ^*	$\sqrt{\text{КНД}}$	B
Низко скоростные	13.3	3.35	0.44	2.27

Продолжение таблицы 2

Средне скоростные	134.4	0.33	0.86	1.16
Высокоскоростные	333.3	0.13	0.98	1.02

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.

В наибольшей степени ослабляются низкоскоростные волны- помехи на участке $A:V_{\min} \div V_{\max} = 2,85 \div 49,01$ 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 0.33.

Таким образом, достаточно высокие степени ослабления волн-помех отмечаются на участке лишь с низкоскоростными волнами помехам. Оценить эффективность рассматриваемой СЛИС невозможно, поскольку отсутствуют данные о соотношении интенсивностей однократно отраженных волн и поверхностных волн-помех.

Заключение. В заключение данной работы можно сказать, что все задачи, поставленные во введении, выполнены полностью. В процессе работы программ GraphLogSoft и CaDiFactor на материалах сейсморазведочных работ МОГТ-2D на Южно-Балаковской площади было установлено следующее:

- рассмотрены основы энергетической теории ИС
- установлена высокая технологичность комплекса программ CaDiFactor и GraphLogSoft при анализе помехоустойчивости сложных полевых ИС, с возможностью записи в файл результативной зависимости $\sqrt{КНД} = f(D/\lambda^*)$ в программе CaDiFactor и её визуализации в билогарифмическом масштабе в программе GraphLogSoft;

- изучены подходы к оценке помехоустойчивости сложных интерференционных систем в 2D-системах наблюдения;
- выполнены расчёты в программе CaDiFactor на материале, полученном при проведении сейсморазведочных работ МОГТ-2D на Южно-Балаковской площади.