

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

**«Оценка помехоустойчивости полевых интерференционных систем,
использованных при сейсморазведочных работах
на Киреево-Ольховском лицензионном участке»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 5 курса 501 группы

направление 05.03.01 геология

геологического ф-та

Темиргалиева Тимура Шингалиевича

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. Одним из направлений научно-исследовательских работ кафедры геофизики Саратовского университета по инициативной тематике, связанной с развитием энергетической теории интерференционных систем (ИС) было формирование подходов к оценке помехоустойчивости сложных полевых интерференционных систем (СЛИС) и разработка на их основе соответствующего программно-методического обеспечения. Для систем наблюдения, применяемых при сейсморазведочных работах МОГТ-2D, был разработан ряд программ оценки помехоустойчивости ИС, в частности, экспериментальная программа KND_SLIS_2D_graf. В 2016-17 г. в рамках упомянутого направления исследований студентом Веселовым Н.А. была разработана промышленная версия этой программы – CaDiFactor.

Мне было предложено выполнить обкатку программы CaDiFactor на полевом материале для выявления скрытых дефектов и определения путей их устранения, что и определило тему и цель моей дипломной 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 программ KND_SLIS_2D_graf и CaDiFactor;
- выполнить обкатку программы CaDiFactor на материале, полученном при проведении сейсморазведочных работ МОГТ-2D на Киреево-Ольховском лицензионном участке (К-ОЛУ), и проанализированном ранее с помощью программы KND_SLIS_2D_graf;
- сопоставить результаты применения обеих программ, дать оценку их технологичности.

Основное содержание работы. Раздел 1. Основы энергетической теории интерференционных систем Известно, что в сейсморазведке методом отраженных волн для подавления низкоскоростных волны поверхностного типа, препятствующих однократно отраженным волн, при

проведении полевых наблюдений широко используются полевые *интерференционные системы* (ИС), а именно – группирование источников и приемников упругих колебаний. Пространственное положение точек возбуждения и регистрации определяется на основе теории ИС с учетом кинематических характеристик выделяемых и подавляемых волн. При этом стремятся обеспечить синфазное сложение выделяемых колебаний и несинфазное – подавляемых.

В подавляющем большинстве случаев используются *дискретные ИС*, обладающие конечным количеством элементов (входов) с чувствительностью μ_i , где i - номер входа. В практике сейсморазведки чаще всего используются *линейные ИС*, где элементы системы располагаются

вдоль некоторой линии на базе:

$$D = \sum_{i=1}^{n-1} d(i, i+1) \quad (1.1)$$

где $d(i, i+1)$ – расстояние между i – тым и $i+1$ входами системы.

В данной работе используется энергетическая теория ИС, где целевой функцией, описывающей их свойства является *коэффициент направленного действия (КНД)* интерференционной системы – отношение энергии сигнала некоторой волны на выходе интерференционной системы к максимально возможной энергии выходного сигнала той же волны в той же системе:

$$КНД = \frac{E_{вых}}{E_{вых}^{max}} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \left[\sum_{i=1}^n \mu_i f(t + \Delta t_i) \right]^2 dt}{\left[\sum_{i=1}^n \mu_i \right]^2 \int_{-\infty}^{\infty} f^2(t) dt} \quad (1.2)$$

здесь $f(t)$ – сигнал некоторой волны на плоскости наблюдения, описываемой уравнением $z=0$, в точке с координатами $(x=0, y=0)$,

$f_{x,y}(t) = f(t + \Delta t)$ – сигнал той же волны в произвольной точке (x, y) ,

$\Delta t = \sqrt{x^2 + y^2} / V^*$, V^* – кажущаяся скорость этой волны;

$\sum_{i=1}^n \mu_i f(t + \Delta t_i) = f_{вых}(t)$ – сигнал на выходе ИС, состоящей из n элементов с чувствительностями μ_i .

КНД характеризует степень ослабления волны за счет действия интерференционной системы, имеющей n элементов (входов) с чувствительностью μ_i (здесь i – номер элемента), размещенных в разных точках плоскости наблюдения.

В качестве аргумента функции КНД обычно используется безразмерное выражение $\Delta t_i / T^*$, где Δt_i – величина максимального запаздывания в пределах рассматриваемой интерференционной системы (т.е. $0 \leq \Delta t_i \leq \Delta t$), а T^* – величина преобладающего (видимого) периода импульса. Иногда в качестве аргумента используется тождественное выражение D/λ^* , где D – база интерференционной системы, λ^* – кажущаяся длина волны.

Поскольку, как правило, неизвестно аналитическое выражение формы сигнала, то для ориентировочной оценки свойств интерференционных систем целесообразно заменить функцию $f(t)$ каким-либо другим выражением, удовлетворительно аппроксимирующим реальные сейсмические сигналы. В работе [6] для этой цели использован импульс Пузырева:

$$f(t) = e^{k^2 t^2} \sin \omega(t + \psi) = e^{k^2 T^2 (t/T)^2} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{\psi}{T} \right), \quad (1.3)$$

где k – коэффициент затухания огибающей экспоненты; ω , ψ – круговая частота гармонической заполняющей и фазовый сдвиг. Изменяя величину $\gamma = k^2 T^2$ можно управлять формой сигнала и варьировать ею в широких пределах.

Правомерность аппроксимации сигналов регулярных волн импульсом Пузырёва обоснована эмпирическими, теоретическими и лабораторными исследованиями.

Для частного, наиболее важного для нас случая однородной системы:

$$KHD \approx \frac{1}{n^2} \left[n + 2 \sum_{\substack{\ell=1, r=\ell+1 \\ \ell \neq r}}^{(n-1), n} e^{-\frac{k^2 T^2}{2} \left(\frac{\Delta t}{T} \right)^2 \times (\ell-r)^2} \times \cos 2\pi \frac{\Delta t}{T} (\ell-r) \right] \quad (1.4)$$

Расчет значений КНД в достаточно широком диапазоне значений аргумента $\Delta t/T$ может быть выполнен только с помощью ЭВМ. В этом случае для описания параметров интерференционных систем используется понятие *амплитудно-временного аналога* (АВА). АВА включает в себя распределение чувствительности и запаздываний некоторой идеально-регулярной волны на входах системы. На основании АВА может быть рассчитана одна и только одна точка на графике КНД исследуемой интерференционной системы. Для расчета всего графика требуется составление серии аналогов. Как правило, эта работа не является трудоемкой, поскольку на волновое поле в конкретных расчетах накладываются определенные ограничения (например – распространение плоских волн) и вычисление временных запаздываний происходит в процессе расчета КНД на ЭВМ.

В рамках энергетической теории ИС практически не разработана проблема оценки свойств сложных интерференционных систем, образуемых совместным применением групп источников и приемников.

На кафедре геофизики Саратовского государственного университета был разработан новый подход к описанию взаимодействия компонент сложных интерференционных систем. Он опирается на идею Б.И. Беспятова об амплитудно-временном аналоге интерференционной системы, которая рассмотрена выше.

В развитие продуктивной идеи амплитудно-временного аналога для описания интерференционных систем было предложено использовать *амплитудно-геометрический аналог* (АГА). В АГА каждый элемент интерференционной системы описывается значением его удаления от начальной точки системы (dx_i) и чувствительностью (интенсивностью излучения) μ_i . В отличие от АВА, где значение запаздывания сигнала зависит от характеристик волнового поля (конкретно – от кажущейся скорости регулярной волны), АГА инвариантен по отношению к характеристикам волнового поля и легко пересчитывается в АВА.

Рассматривая ИС как системы линейные, опираясь на присущий им

принцип суперпозиции и вытекающий из него принцип взаимности, с помощью АГА можно построить корректный алгоритм оценки свойств сложных интерференционных систем. Суть его состоит в замене двух ИС одной, эквивалентной им по своим свойствам, например сложной ИС, включающей группу из 5-ти сейсмоприёмников и группу из 3- источников, будет эквивалентна система их 3 групп по 5 сейсмоприёмников, сдвинутых относительно друг друга на расстояния между источниками.

Раздел 2. Краткая геолого-геофизическая характеристика территории исследований. Описание геолого-геофизической характеристики территории работ заимствовано из Проекта работ сейсмической партии ОАО «Запприкаспийгеофизика». Территория рассматриваемых работ относится к Доно-Медведицкой гряде Приволжской возвышенности.

В соответствии с принятым тектоническим районированием Волгоградского Правобережья, исследуемая территория по нижнему структурному этажу располагается в пределах Кудиновско-Романовской приподнятой зоны.

Общей чертой геологического строения отложений нижнего структурного этажа является сильная дислоцированность пород, разбитых дизъюнктивными нарушениями разной амплитуды и протяженности на блоки, что характерно для тектонически активных зон, являющихся, как правило, зонами сочленения крупных тектонических элементов.

В строении геологического разреза Нижнего Поволжья принимают участие породы кристаллического фундамента, сформировавшиеся на первом (геосинклинальном) этапе исторического развития территории, и отложения осадочного чехла, сформировавшиеся на втором (платформенном) этапе ее развития.

Осадочный чехол в свою очередь подразделяется на несколько структурных этажей: досреднедевонский, эйфельско-триасовый, юрско-палеогеновый, верхнеплиоценово-четвертичный. Главные перспективы нефтегазоносности региона связываются с отложениями первых двух структурных этажей, поэтому при дальнейшем изложении материала основное

внимание будет уделено их характеристике.

В палеозойском разрезе по критерию преимущественно карбонатного или преимущественно терригенного состава условно можно выделить шесть комплексов отложений, так как именно на их границах происходят резкие изменения значений физических параметров:

Территория работ в нефтегазоносном отношении относится к Нижне-волжской нефтегазоносной области (Волго-Уральская нефтегазоносная провинция). Бурением поисковых скважин доказана региональная нефтегазоносность отложений девонского и каменноугольного возрастов. При благоприятных структурных условиях и при наличии коллекторов продуктивным может оказаться любой из названных стратиграфических комплексов.

Изучения состава сейсмического волнового поля в процессе проведения описываемых работ на данной территории не проводилось и количественная оценка отношения сигнал/помеха в зонах интерференции полезных волн и волн-помех отсутствует. Поэтому в данной работе оценить эффективность ИС невозможно, возможна лишь оценка потенциальной помехоустойчивости СЛИС. Представление о характере поля и качестве первичного сейсмического материала можно оценить составлено по результатам анализа типичных полевых сейсмограмм.

На основании рассмотрения и анализа типичной полевой сейсмограммы за исходные были приняты характеристики низкоскоростных поверхностных волн, представленные в таблице 1:

Таблица 1 – **Оценки характеристик низкоскоростных волн-помех**

Границы диапазона V^*	Значение V^* (м/с)	Диапазон значений видимых частот (Гц)	Диапазон значений видимых периодов (с)	Диапазон значений видимых длин волн (м)
Нижняя	300	7 – 15	0.143 – 0.067	42.9 - 20
Верхняя	1400	10 – 20	0.1 – 0.05	140 – 70

Значительные трудности представляла оценка длительности импульса сигналов поверхностных волн-помех из-за того, что имелись только полевые

сейсмограммы, полученные с применением группирования источников и приёмников. Как уже отмечалось выше, этот класс волн на таких сейсмограммах практически не прослеживается. Поэтому в основу оценки были положены среднескоростные волны-помехи, для которых длительности импульса колеблется в пределах $2.5 - 3.5T^*$.

Раздел 3. Оценка помехоустойчивости сложных полевых интерференционных систем. 3.1 Методика полевых работ. На К-ОЛУ проводились сейсморазведочные работы МОГТ-2D. Основой для выбора параметров системы наблюдений и регистрации, применявшиеся при проведении сейсморазведочных работ на в 2011 году послужили методические результаты, полученные в предшествующие годы. Изменения коснулись сокращения шага между пунктами приёма до 30м и использования полевых систем с увеличенным количеством активных каналов до 261 и базой наблюдений до 7770м. Это было обусловлено необходимостью улучшения прослеживаемости целевых горизонтов в зонах сочленения крупных тектонических элементов.

Одновременно с этим при производстве полевых работ база группирования взрывов была увеличена с 50 до 120 м, какого-либо обоснования такого увеличения в Проекте работ не приводится.

Основные параметры системы наблюдений представлены в таблице 2.
Таблица 2 – **Основные параметры системы наблюдений и регистрации**

Характеристика	Значение
Кратность профилирования	65
Количество активных каналов приемной расстановки	261
Центр группового источника (ПВ) возбуждения на канале	131
Шаг между центрами групп сейсмоприемников (м)	30
Количество сейсмоприемников в группе	16
База группирования сейсмоприемников (м)	60
Расстояние между центрами групп источников (м)	60
Количество взрывных скважин в группе источников	21
База группового источника (м)	120

3.2 Программное обеспечение. Для оценки помехоустойчивости по-

левых интерференционных систем, применявшихся на К-ОЛУ рассчитывались их характеристики направленности – зависимости $\sqrt{\text{КНД}}$ от отношения D/λ^* . С этой целью использовалась программа, разработанная на кафедре геофизики Саратовского университета KND2N.BAS – расчёт КНД и $\sqrt{\text{КНД}}$ СЛИС, включающей группу источников и группу приёмников (линейные продольные равномерные) в системе продольного профилирования.

Программа KND2N.BAS была написана на алгоритмическом языке QBasic и работала на персональных компьютерах (PC) под управлением операционной (ОС) системы MS DOS. Для последних версий ОС Windows потребовалось перейти на современный алгоритмический язык Visual Basic 6. На нём была написана программа KND_SLIS_2D_tab_vyb, являющаяся улучшенной версией KND2N.BAS.

При разработке вышеуказанных программ во главу угла ставилась задача проверки алгоритма и разработки методики выполнения оценки помехоустойчивости СЛИС в 2D- и 3D-системах наблюдения и не рассматривалась задача оптимизации пользовательского интерфейса. Без решения последней все разрабатываемые программы являлись экспериментальными и не могли претендовать на промышленное использование.

Задача создания промышленной версии программ была поставлена при подготовке выпускной квалификационной работы студента кафедры геофизики Саратовского университета Веселова Н.А. Им на основе вышеописанных алгоритмов с использованием отработанных блок-схем программ KND_SLIS_2D_tab_vyb и KND_SLIS_3D_карта был разработан комплекс CaDiFactor для расчёта КНД в 2D- и 3D-системах наблюдения. Комплекс реализован как единая программа, имеющая две вкладки KND 2D и KND 3D. Обкатка этого комплекса на сейморазведочных материалах МОГТ-2D, полученных на К-ОЛУ составляет основную задачу данной работы, поэтому далее будет рассматриваться только режим KND 2D.

В дополнение к CaDiFactor была разработана программа GraphLogSoft, которая позволяет строить графики полученных результатов на билогарифмическом бланке с дальнейшей их распечаткой на принтере.

3.3 Результаты расчетов и оценка помехоустойчивости полевых интерференционных систем. Основной целью данной работы являлось опробование (обкатка) на полевом материале программы CaDiFactor для выявления скрытых дефектов и определения путей их устранения корректность работы программы оценивается сопоставлением результативных материалов исследуемой программы и программы-эталона. В качестве эталонных материалов рассматриваются результаты применения программы KND2N.BAS.

В соответствии с приведенными выше сведениями о системе наблюдения, применённой на К-ОЛУ были выполнены расчеты коэффициента направленного действия (точнее $\sqrt{\text{КНД}}$) для:

- сложной интерференционной системы, включавшей группу из 16 приёмников, равномерно распределённых на базе 60 м, и группу источников из 21-ого элемента, равномерно распределённых на базе 50 м., которую далее будем именовать «сложная интерференционная система – 1» (СЛИС-1);
- сложной интерференционной системы, включавшей вышеупомянутую группы приёмников и группу источников из 21-го элемента, равномерно распределённых на базе 120 м (СЛИС-2).

имеющимися сведениями о сейсмическом волновом поле на К-ОЛУ

Сопоставлялись амплитудно-геометрические аналоги и таблицы зависимости $\sqrt{\text{КНД}} = f(D/\lambda^*)$.

Сопоставление таблиц АГА, рассчитанных по программам KND2N.BAS и CaDiFactor показало их полную тождественность, за исключением того, что программа CaDiFactor не визуализирует 15-ю колонку АГА.

Для удобства сопоставления значений КНД, рассчитанных с помощью программ KND2N.BAS и CaDiFactor они были сведены в единые таблицы. Их рассмотрение показало, что значения параметра $\sqrt{\text{КНД}}$, рассчитанные по

программам KND2N.BAS и CaDiFactor для одноимённых СЛИС и одинаковых сигналов совпадают с точностью до четвёртого знака после запятой.

Поскольку информативность материалов, полученных с помощью программ KND_SLIS_2D_graf и CaDiFactor, оказалась равноценной, то и оценка потенциальной помехоустойчивости сложных ИС, использованных при проведении сейсморазведочных работ МОГТ-2D на К-ОЛУ, не претерпела изменений.

Для оценки потенциальной помехоустойчивости использованных СЛИС вычислялся параметр $B = 1 / \sqrt{КНД}$. Значения B , определённые по графикам $\sqrt{КНД} = f(D/\lambda^*)$ для выделенных диапазонов волн-помех представлены таблице 3.

Таблица 3 – Граничные значения степени ослабления волн-помех

Длины волн (м)	Степень ослабления сигнала			
	Длительность сигнала 2Т*		Длительность сигнала 3Т*	
	СЛИС-1	СЛИС-2	СЛИС-1	СЛИС-2
20	33	54	180	290
42.9	11.5	24	35	65
70	5	12.5	10	30
120	1.7	3	1.8	7

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что программы CaDiFactor и KND_SLIS_2D_graf практически тождественны в информационном отношении.

Технологичность комплекса программ CaDiFactor и GraphLogSoft при анализе помехоустойчивости СЛИС в 2D системах наблюдения несопоставима с ранее использовавшимися программами. Это обеспечивается возможностью записи результатов расчёта КНД в текстовый файл и построением графика в билогарифмической системе координат с помощью программы GraphLogSoft. Такое построение комплекса позволяет воспользоваться последней программой любому пользователю.

Заключение. В заключение можно констатировать, что все задачи, поставленные во Введении, выполнены полностью. В процессе обкатки

программ CaDiFactor и GraphLogSoft на материалах работ МОГТ-2D на Киреево-Ольховском лицензионном участке было установлено следующее:

- установлена высокая технологичность комплекса программ CaDiFactor и GraphLogSoft при анализе помехоустойчивости сложных полевых ИС, обусловленная возможностью записи в файл результативной зависимости $\sqrt{\text{КНД}} = f(D/\lambda^*)$ в программе CaDiFactor и визуализации её в билогарифмическом масштабе в программе GraphLogSoft;
- установлена информационная равноценность программ CaDiFactor и KND_SLIS_2D_graf;
- различие этих программ состоит в величине радиуса объединения элементов (rob) при формировании АГА эквивалентной ИС, но различие зависимостей $\sqrt{\text{КНД}} = f(D/\lambda^*)$ проявляется вне области значений аргумента, соответствующей реально наблюдаемым волновым полям;
- реализовать адаптивное определение rob, рекомендованное в работе [11] в программе CaDiFactor невозможно, поскольку на кафедре геофизики Саратовского университета текстовый модуль отсутствует;
- установлен дефект работы программы CaDiFactor, связанный с визуализацией АГА, затрудняющий его последующий анализ (на достоверность оценок параметра $\sqrt{\text{КНД}}$ он не влияет);
- при продолжении работ по совершенствованию программного обеспечения анализа помехоустойчивости сложных полевых ИС в системах наблюдений МОГТ-2D целесообразно доработать программу KND_SLIS_2D_graf, дополнив её адаптивным выбором величины rob и записью в текстовый файл результативной зависимости $\sqrt{\text{КНД}} = f(D/\lambda^*)$ с последующей визуализацией в программе GraphLogSoft.