

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
в северо-западной части Бузулукской впадины»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 403 группы
направление 05.03.01 геология
геологического ф-та
Розыева Наримана

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. На кафедре геофизики Саратовского университета в течение ряда лет ведутся научно-исследовательские работы (НИР) по инициативной тематике, связанной с развитием энергетической теории интерференционных систем (ИС) в приложении ее к сложным ИС (СЛИС), в которых я принимал участие. Одним из направлений исследований было формирование подходов к оценке помехоустойчивости сложных полевых интерференционных систем 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, рассмотренная в работе. В 2016-17гг. в рамках упомянутого направления исследований студентом Веселовым Н.А. была разработана промышленная версия этой программы – CaDiFactor (далее – CDF), рассмотренная в работе.

Мне было предложено выполнить обкатку программы CaDiFactor на полевом материале, использованном при подготовке работы для выявления скрытых дефектов и определения путей их устранения, что и определило тему и цель моей бакалаврской 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 в северо-западной части Бузулукской впадины, и проанализированном ранее с помощью программы KND_SLIS_2D_graf;
- сопоставить результаты применения обеих программ, дать оценку их технологичности.

- 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 используется 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 (формула 1.1):

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

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 (формула 1.2):

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

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;

$\sum_{i=1}^n \mu_i f(t + \Delta t_i) = f_{\text{вых}}(t)$ – 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 $\Delta t / T^*$, где Δt – 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 для этой цели использован импульс Пузырева (формула 1.3):

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

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 (формула 1.4):

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

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 преемников.

На кафедре геофизики Саратовского государственного университета был разработан новый подход к описанию взаимодействия компонент сложных интерференционных систем, описанный в работе. 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 в работе 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-х источников, будет эквивалентна система из 3-х групп по 5 сейсмоприёмников, сдвинутых относительно друг друга на расстояния между источниками.

Раздел 2. 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.

Раздел 3. Опробование программы CaDiFactor на полевом материале.

Обкатка программы KND_SLIS_2D_graf, рассмотренная в работе [10], была выполнена на материалах опытных работы по детальному изучению волнового состава регистрируемых сейсмических колебаний в северо-западной части Бузулукской впадины сейсмической партии ОАО «Самаранефтегеофизика». Параметры волн-помех представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Характеристики волн-помех

Участок	Группа волн-помех	Диапазоны значений параметра Участок А			
		V^* (м/с)	f^* (Гц)	$\tau_{\text{имп}}$	λ^* (м)
А	Низкоскоростные	125 - 295	5 - 15	$2T^*$	8.3 - 59
	Среднескоростные	1400 - 2600	8 - 30	$2 T^*$	46.7 - 325
	Высокоскоростные	4200 - 4700	18 - 35	$2 T^*$	120 - 261.1
В	Низкоскоростные	400 - 550	3 - 13	$2T^*$	30.8 - 183.3
	Среднескоростные	1300 - 2450	10 - 25	$2 T^*$	52 - 245
	Высокоскоростные	3500 - 4250	15 - 28	$2 T^*$	125 - 83.3

При обкатке программы CaDiFactor целесообразно было использовать тот же полевой материал.

При проведении сейморазведочных работ МОГТ-2D на Бузулукском участке использовалось группирование 11-ти сейсмоприёмников на базе 25 м и два типа взрывных источников из мелких скважин: 11 скважин на базе 40 м и 9 скважин на базе 40 м. Эти данные были использованы при обкатке программы KND_SLIS_2D_graf на полевом материале и при обкатке программы CaDiFactor.

Сопоставление графиков $\sqrt{КНД(D/\lambda^*)}$ показало, что обе системы обладают одинаковыми направленными свойствами вплоть до значений аргумента $D/\lambda^* = 6.0$ и лишь на границе диапазона возможных значений этого параметра на рассматриваемой территории ($D/\lambda^* \leq 8.0$) отмечается незначительное расхождение графиков, не превышающее 11.5%. Из этого следует, что если бы такой анализ был выполнен в процессе проведения опытных работ по подбору оптимальных параметров источника упругих колебаний, то было вполне возможно уменьшить затраты и повысить производительность полевых работ.

Сопоставление АГА обеих СЛИС показало, что для системы с $qrv = 11$ при формировании эквивалентной ИС в программе KND_SLIS_2D_graf не происходит объединения элементов, в отличие системы с $qrv = 9$. Целесообразность объединения обнаруживается при анализе относительных расстояний между элементами эквивалентной системы. Например, разница относительных расстояний между элементами 20 и 21, 25 и 26, 29 и 30 и рядом других не превышает 0.1 м, что при минимальной длине волны-помехи не менее 8.3 м пренебрежительно мало.

Анализ алгоритма объединения элементов АГА показал, в нём заложен излишне жесткий критерий объединения – радиус объединения (переменная rob в программе KND_SLIS_2D_graf $rob = (dpv, dsp)_{min} / 50 = dsp / 50 = 2.27 \text{ м} / 50 \approx 0.0454 \text{ м}$, что бессмысленно с физической точки зрения. Объединение элементов АГА при $qrv = 9$ происходило потому, что размер базы

сейсмоприемников (25 м) оказывался кратным шагом элементов в группе источников ($d_{pr} = 5$ м) и при формировании АГА эквивалентной группы имело место точное совпадение элементов эквивалентной ИС.

В программе CaDiFactor заложено объединение элементов АГА эквивалентной группы, но величина rob неизвестна. Судя по количеству элементов в аналоге, он должен занимать промежуточное место между 0.25 и 0.5 м. Графики зависимости $\sqrt{КНД}$ представлены на рисунке 3.1.

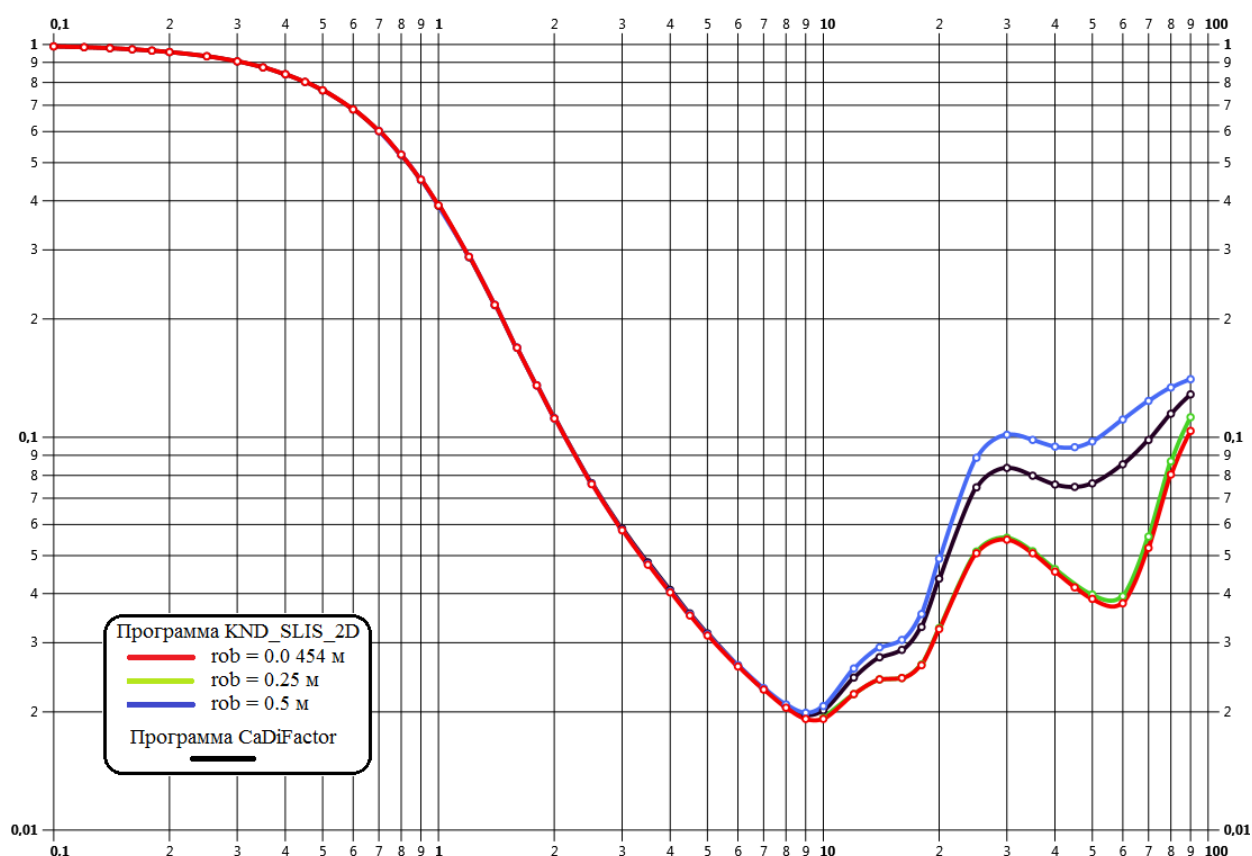


Рисунок 3.1 – Сопоставление графиков $\sqrt{КНД}$, рассчитанных по программам KND_SLIS_2D_graf и CaDiFactor для СЛИС числом источников $q_{rv}=11$

Сопоставление графиков КНД показывает, что в области значений аргумента $D/\lambda^* \leq 6.0$ они совпадают при всех значениях rob . В области $D/\lambda^* \geq 6.0$ графики для $rob = 0.0455$ м и $rob = 0.25$ м различаются незначительно. График для $rob = 0.5$ м обнаруживает заметные отклонения от первых двух при значениях аргумента $D/\lambda^* \geq 10.0$. Анализ этих отклонений показывает, что для рассматриваемой СЛ ИС база эквивалентной ИС составляет 65 м, соответственно длина волны-помехи $\lambda^* \leq 6.5$ м. В диапазоне видимых частот

$f^* = 5 \div 15$ Гц значения кажущихся скоростей V^* будут менее 100 м/с. Следовательно, при параметрах волнового поля, характерных для исследуемой территории расчет КНД при радиусе объединения элементов АГА эквивалентной ИС, равном 0.5м, не приведет к каким-либо существенным ошибкам.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что программы CaDiFactor и KND_SLIS_2D_graf практически тождественны в информационном отношении за исключением одного момента – в подпрограмме визуализации АГА программы CaDiFactor не выводится на экран 15-тый столбец. Исправить этот недостаток не представляется возможным, поскольку на кафедре геофизики имеется только ехе-файл этой программы. Однако этот недостаток будет иметь значение лишь тогда, когда потребуется анализ распределения чувствительности в эквивалентной группе.

Технологичность комплекса программ CaDiFactor и GraphLogSoft при анализе помехоустойчивости СЛИС в 2Dсистемах 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.

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-2Дв северо-западной части Бузулукской впадины, не претерпела изменений.

Заключение. В заключение можно констатировать, что все задачи, поставленные во Введении, выполнены полностью. В процессе обкатки программ CaDiFactor и GraphLogSoft на материалах работ МОГТ-2Д в северо-западной части Бузулукской впадины 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.