

Министерство образования и науки Российской Федерации  
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  
дипломной работы

Студента 6 курса 631 группы  
020302 специальности геофизика  
геологического факультета  
Вовка Андрея Владимировича

**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 2016

## **ВВЕДЕНИЕ**

На кафедре геофизики Саратовского государственного университета в течение ряда лет ведутся научно-исследовательские работы по инициативной тематике, связанной с развитием энергетической теории интерференционных систем (ИС) в приложении ее к сложным ИС, в которых я принимал участие. В частности было разработано программно-методическое обеспечение оценки помехоустойчивости сложных полевых интерференционных систем (Сл ИС), применяемых при сейсморазведочных работах МОГТ-2D, для чего на современном алгоритмическом языке Visual Basic была написана программа KND\_SLIS\_2D\_graf KND2N, , в обкатке которой на полевом материале я принимал участие, что и определило тему и цель моей дипломной работы. Для её достижения необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть основы энергетической теории интерференционных систем как аппарата анализа их свойств;
- изучить подходы к оценке помехоустойчивости сложных интерференционных систем в 2D-системах наблюдения;
- рассмотреть структуру программы KND\_SLIS\_2D\_graf;
- выполнить обкатку программы KND\_SLIS\_2D\_graf на материале, собранном в ходе производственной практики для выявления скрытых дефектов и определения путей их устранения.

Дипломная работа состоит из Введения, основной части, Заключение, списка использованных источников и содержит 57 страниц текста. Основная часть включает в себя следующие три раздела:

- 1 Основы энергетической теории интерференционных систем.
- 2 Программное обеспечение 2D-анализа.
- 3 Опробование программы KND\_SLIS\_2D\_graf на полевом материале.

### **Краткое содержание работы**

1. **Основы энергетической теории интерференционных систем.** В разделе рассматриваются основные понятия интерференционных систем, анали-

тический аппарат энергетической теории ИС и оценка направленных свойств Сл ИС.

**1.1 Основные понятия.** В подразделе даётся определение интерференционным системам, описываются теория интерференционных система, виды и их характеристики.

Теория ИС оперирует понятием идеально-регулярной волны – плоская волна, распространяющаяся в бесконечном пространстве без затухания. Сигнал такой волны, определенный в некоторой (начальной) точке как  $f(t)$ , в  $i$ -той точке есть  $f(t + \Delta t_i)$ , где  $\Delta t_i$  – запаздывание волны в  $i$ -той точке по отношению к начальной.

Под *интерференционной системой* (ИС) понимается система, суммирующая некоторую совокупность сигналов, поступающую на её входы. Группы источников и приемников по отношению к волновому полю являются интерференционными системами. Пространственное положение точек регистрации определяется 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 входов с чувствительностью  $\mu_i$ , где  $i$  - номер входа. Чаще всего используются *линейные ИС*, где входы располагаются вдоль некоторой линии.

В зависимости от характера распределения чувствительности можно рассматривать *однородные* системы, где чувствительность не зависит от координат входа, и *неоднородные*. По характеру расположения входов в дискретных линейных интерференционных системах кроме того выделяют *равномерные*, где расстояние между соседними входам является величиной постоянной, и *неравномерные*.

Необходимая степень подавления волны-помехи, интерферирующей с полезными волнами, может быть выражена как:

$$B = a \frac{A_{ном}}{A_{пол}} \quad (1)$$

где  $B$  – необходимая степень ослабления волны-помехи;

$A_{\text{пом}}$  – среднее значение амплитуды волны-помехи;

$A_{\text{пол}}$  – среднее значение амплитуды полезной волны в зоне интерференции с рассматриваемой помехой;

$\alpha$  – коэффициент, определяемый требуемой степенью ослабления волны-помехи (при  $\alpha=2\div3$  – ослабление удовлетворительное, при  $\alpha = 8\div10$  –хорошее).

Сигнал на выходе дискретной ИС можно представить как:

$$f_{\text{вых}}(t) = \sum_{i=1}^n \mu_i f(t + \Delta t_i) \quad (2)$$

**1.2 Аналитический аппарат энергетической теории интерференционных систем.** В подразделе рассмотрены:

- коэффициент направленного действия (КНД), как целевая функция,
- нуль-фазовый импульса Пузырёва, как функция аппроксимирующая сейсмический сигнал;
- выражение КНД в явной форме;
- амплитудно-временной аналог (АВА), как способ описания интерференции;

*Коэффициентом направленного действия* (КНД) интерференционной системы называется отношение энергии сигнала некоторой волны на выходе интерференционной системы к максимально возможной энергии выходного

сигнала той же волны в той же ИС [4, 5]: 
$$КНД = \frac{E_{\text{вых}}}{E_{\text{вых}}^{\max}} \quad (3)$$

Энергия сигнала на выходе ИС будет определяться равенством:

$$E_{\text{вых}} = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \sum_{i=1}^n \mu_i f(t + \Delta t_i) \right]^2 dt \quad (4)$$

Максимальная энергия на выходе интерференционной системы реализуется при  $\Delta t_i = \text{const}(i)$ , т. е. при синфазном сложении колебаний. Тогда:

$$E_{\text{вых}}^{\max} = \left[ \sum_{i=1}^n \mu_i \right]^2 \int_{-\infty}^{\infty} f^2(t) dt \quad (5)$$

Подставляя (4) и (5) в равенство (4) получим:

$$KНД = \frac{E_{\text{вых}}}{E_{\text{вх}}^{\text{max}}} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \left[ \sum_{i=1}^n \mu_i f(t + \Delta t_i) \right]^2 dt}{\left[ \sum_{i=1}^n \mu_i \right]^2 \int_{-\infty}^{\infty} f^2(t) dt} \quad (6)$$

В качестве аргумента функции КНД обычно используется безразмерное выражение  $\Delta t / T^*$ , где  $\Delta t$  - 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.

График КНД абстрактной интерференционной системы можно представить в виде кривой, представленной на рисунке 1, имеющей максимум при  $\Delta t/T=0$ , ряд локальных минимумов и максимумов, причем любое минимальное значение КНД  $>0$ . Количество локальных минимумов и максимумов зависят от числа периодов в импульсе сигнала, глубина их - от распределения чувствительности.

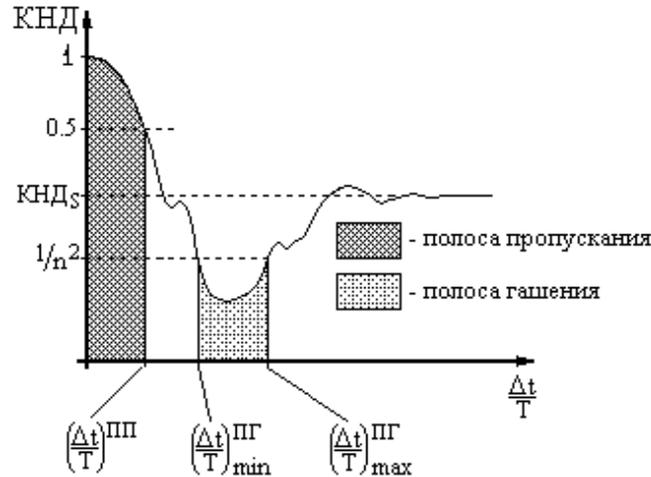


Рисунок 1 - График КНД произвольной интерференционной системы.

Области пропускания и гашения на графике КНД

Основными характеристиками интерференционных систем являются *полоса пропускания* (ПП) и *полоса гашения* (ПГ).

Использованию формулы (6) в расчетах препятствует то, что нам, как правило, неизвестно аналитическое выражение формы сигнала. В этом случае для

ориентировочной оценки свойств интерференционных систем целесообразно заменить функцию  $f(t)$  каким-либо другим выражением, удовлетворительно аппроксимирующим реальные сейсмические сигналы. В работах [4, 5] для этой цели использован импульс Пузырева [6] (синусоидальный сигнал с затухающей экспоненциальной огибающей):

$$f(t) = e^{k^2 t^2} \sin \omega(t + \psi) = e^{k^2 T^2 (t/T)^2} \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} + \frac{\psi}{T} \right) \quad (7)$$

здесь  $k$  – коэффициент затухания экспоненты,  $\psi$  – фазовый сдвиг, изменяя величину  $\gamma = k^2 T^2$  и сдвиг  $\psi$  можно управлять формой сигнала и варьировать ею в широких пределах.

Подставив  $f(t)$  из выражения (7) в выражение (8) и выполнив некоторые математические преобразования можно получить выражение для КНД в явном виде, т.е. зависящее только от параметров ИС и параметров волны. Для частного случая однородной системы ИС будем иметь:

$$KHD \approx \frac{1}{n^2} \left[ n + 2 \sum_{\substack{(n-1), n \\ \ell = 1, r = \ell + 1 \\ \ell \neq r}} e^{-\frac{k^2 T^2}{2} \left( \frac{\Delta t}{T} \right)^2 \times (\ell - r)^2} \times \cos 2\pi \frac{\Delta t}{T} (\ell - r) \right] \quad (8)$$

Исходные данные, необходимые для расчета КНД принято представлять в виде *амплитудно-временного аналога (АВА)*. АВА включает в себя распределение чувствительности и запаздываний рассматриваемой идеально-регулярной волны на входах системы. АВА не зависит от физической сущности интерференционной системы, а зависит только от параметров системы и волнового поля, т.е. отражает главную структуру интерференции.

Форма записи АВА:

$$\begin{array}{cccccc} \mu_i: & \mu_1 & \mu_2 & \mu_3 & \mu_4 & \mu_5 \\ & * & * & * & * & * \\ \Delta t_i: & \Delta t_1 & \Delta t_2 & \Delta t_3 & \Delta t_4 & \Delta t_5 \end{array}$$

Таким образом, по заданным параметрам импульса ( $k$ ,  $T$ ,  $\psi$ ) и серии амплитудно-временных аналогов можно рассчитать график КНД, описывающий свойства конкретной интерференционной системы. Разным параметрам импульса будут соответствовать и разные графики КНД.

**1.3 Оценка направленных свойств сложных интерференционных систем.** В классической теории интерференционных систем рассматриваются только одиночные ИС, в то время как в практике сейсморазведочных работ МОВ как правило совместно используется группирование источников и приёмников упругих колебаний, которые образуют сложные интерференционные системы (Сл ИС).

На кафедре геофизики Саратовского университета в течение ряда лет ведутся работы по развитию энергетической теории ИС в плане создания методики и программно-алгоритмического обеспечения анализа свойств Сл ИС.

Рассматривая ИС как системы линейные, опираясь на присущий им принцип суперпозиции и вытекающий из него принцип взаимности, можно построить корректный алгоритм оценки свойств сложных интерференционных систем. Суть его состоит в том, что две одновременно функционирующие ИС заменяются одной, эквивалентной им по своим свойствам.

Алгоритм формирования эквивалентной ИС легко уяснить на простом примере совместного использования линейных однородных групп сейсмоприёмников (СП) и источников (Ист), ориентированных вдоль продольного профиля. Группы сейсмоприёмников (источников) описываются:

- ~ количеством приёмников (источников) в группе —  $q_{СП}$  ( $q_{Ист}$ );
- ~ величиной базы группы приёмников (источников) —  $D_{СП}$  ( $D_{Ист}$ );



Рисунок 2 - Сложная интерференционная система. Формирование эквивалентной интерференционной системы

На рисунке 2 показаны группа приемников с  $q_{СП} = 5$  и группа источников с  $q_{Ист} = 4$ . Замена группового источника одиночным, расположенным в точке  $s_1$ , может быть скомпенсирована добавлением в пункте приёма ещё трех групп приемников, с теми же характеристиками, что и  $r_1 \div r_5$ , но сдвинутыми относительно неё на расстояния  $(s_1 \div s_2)$ ,  $(s_1 \div s_3)$  и  $(s_1 \div s_4)$ .

При объединении элементов эквивалентной ИС было учтено то, что синфазное (квазисинфазное) сложение колебаний наблюдается при фазовом сдвиге суммируемых сигналов не превышающем  $1/8$  их видимого периода, а не только при равных относительных удалениях элементов. Допустимое расхождение объединяемых элементов (радиус объединения) было принято равным  $1/50$  от минимального расстояния из  $dx_{Ист}$  и  $dx_{СП}$ .

В развитие продуктивной идеи амплитудно-временного аналога для описания интерференционных систем в работе [9] предложено использовать *амплитудно-геометрический аналог* (АГА). В АГА каждый элемент интерференционной системы описывается значением его удаления от начальной точки системы ( $dx$ ) и чувствительностью (интенсивностью излучения)  $\mu$ . 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.

В разделе 2 **“Программное обеспечение 2D-анализа”** была описана программа расчета КНД сложных интерференционных систем, включающих группу источников и группу приёмников упругих колебаний `KND_SLIS_2D_graf`: блок-схема и рабочее окно, методика её использования, её особенности, выявленные при отладке.

В разделе 3 **“Опробование программы `KND_SLIS_2D_graf` на поле-вом материале”** рассмотрены:

- характеристика полевого материала, используемого материала для обкатки программы `KND_SLIS_2D_graf`;

- методика оценки потенциальной помехоустойчивости Сл ИС, применявшейся на участке работ ;
- анализ выявленных недостатков программного обеспечения;
- собственно оценка помехоустойчивости рассматриваемой Сл ИС.

**3.1 Профильные наблюдения МОГТ-2D.** В подразделе приведено описание сейсмогеологических условий и методики сейсморазведочных работ МОГТ-2D в пределах северо-западной части Бузулукской впадины. Характеристика поля волн-помех поверхностного типа приведена по результатам опытных работ, выполненных на двух участках, условно обозначаемых А и В.

Из рассмотренных 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 группы 12-ти сейсмоприёмников, распределённых на базе 25 м, и двух видов групп взрывных источников из 9 и 11 скважин на базе 40 м. Сигналы волн-помех аппроксимировались двухфазным импульсом Пузырёва.

**3.2 Обкатка программы KND\_SLIS\_2D\_graf на полевом материале, оценка помехоустойчивости сложных интерференционных систем.** В подразделе приведены результаты расчета по программе KND\_SLIS\_2D\_graf АГА и КНД для обеих Сл ИС, использованных на рассматриваемом участке.

Сопоставление АГА обеих Сл ИС показало, что для системы с  $qrv = 11$ , в отличие системы с  $qrv = 9$ , при формировании эквивалентной ИС в программе KND\_SLIS\_2D\_graf не происходит объединения элементов, несмотря на то, что расстояния между некоторыми пренебрежительно малы. Это не отражается на точности расчетов, но форма представления АГА не соответствует физической сущности интерференции. Анализ показал, что причиной этого является способ определения радиуса объединения элементов (переменная  $rob$  в программе KND\_SLIS\_2D\_graf):  $rob = (d_{pv}, d_{sp})_{min} / 50$ . В данных Сл ИС  $rob = dsp / 50 = 2.27 \text{ м} / 50 \approx 0.0455 \text{ м}$ , что бессмысленно с физической точки зрения. Объеди-

нение элементов АГА при  $qr_v = 9$  происходило потому, что размер базы сейсмоприемников (25 м) оказывался кратным шагу элементов в группе источников ( $dr_v = 5$  м) и при формировании АГА эквивалентной группы имело место точное совпадение элементов эквивалентной ИС.

Корректной оценкой радиуса объединения, с точки зрения теории интерференции, будет  $rob = \lambda^*_{min} / 8$ , но реализация этого принципа в программе потребовала бы полного изменения рабочего окна, что было невыполнимо. В рамках данной работы был выполнен эмпирический подбор оптимального радиуса объединения: исследовались величины  $rob = 0.5$  и  $0.25$  м. для Сл ИС с  $qr_v = 11$ . Допустимость того или иного значения определялась путем сопоставления графиков КНД.

Было установлено, что на большей части значений аргумента  $D/\lambda^*$  графики совпадают. Это означало, что 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 сколь либо существенным ошибкам.

Для Сл ИС с  $qr_v = 9$  амплитудно-геометрические аналоги при любом радиусе объединения оказались тождественными.

Первым шагом в анализе эффективности подавления всех групп волн-помех на обоих участках было определение областей их существования, для чего величина базы  $D$  эквивалентной ИС (в программе `KND_SLIS_2D_graf` переменная `bes = 65` м) делилась на  $\lambda^*_{min}, \lambda^*_{max}$  соответствующей группы.

По графикам 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 1.

**Таблица 1 - Степень подавления волн-помех на территории исследований**

Группа волн-помех	Диапазон изменения значений параметров							
	Участок А				Участок В			
	$\lambda^*$ (м)	$D/\lambda^*$	$\sqrt{КНД}$	В	$\lambda^*$ (м)	$D/\lambda^*$	$\sqrt{КНД}$	В
Низкоскоростные (1)	8.3 - 59	1.1 - 7.83	0.35 - 0.0204	2.85 - 49.01	30.8 - 83.3	0.35 - 2.11	0.87 - 0.107	1.14 - 9.34
Среднескоростные (2)	46.7 - 325	0.2 - 1.39	0.94 - 0.22	1.06 - 4.54	52 - 245	0.26 - 1.25	0.93 - 0.275	1.075 - 3.63
Высокоскоростные (3)	120 - 61.1	0.24 - 0.54	0.925 - 0.63	1.081 - 1.58	125 - 83.3	0.23 - 0.52	0.94 - 0.74	1.063 - 1.35

Из таблицы 1 видно, что волны-помехи 3-ей группы и частично 2-ой находятся в полосе пропускания Сл ИС, а сколь-либо существенно подавляются только самые низкоскоростные волны 1-ой группы.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В заключение дипломной работы можно констатировать, что все задачи, поставленные во Введении, выполнены полностью. В процессе обкатки программы `KND_SLIS_2D_graf` на материалах сейсморазведочных работ МОГТ-2D в северо-западной части Бузулукской впадины было установлено следующее:

- нужна новая версия транслятора Visual Basic, поскольку не в полном объеме поддерживает необходимые функции;
- выявлен дефект алгоритма программы `KND_SLIS_2D_graf` связанный с определением радиуса объединения элементов АГА эквивалентной ИС, который не влияет на точность работы программы, но не позволяет оформлять результативные материалы в физически обоснованной форме (в процессе выполнения работ этот недостаток был преодолен путем эмпирического подбора радиуса объединения);
- кардинальное исправление недостатка возможно только при переработке алгоритма программы `KND_SLIS_2D_graf` в плане адаптивного определения радиуса объединения.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Боганик, Г.Н. Сейсморазведка: Учебник для вузов / Г.Н. Боганик, И.И. Гурвич М: Тверь, издательство АИС, 2006. 744 с.
- 2 Бондарев, В.И. Сейсморазведка: Учебник для вузов / В.И. Бондарев, М: Екатеринбург, УГГУ, 2007. 690 с.
- 3 Воскресенский, Ю.Н. Полевая геофизика: Учебник для вузов / Ю.Н. Воскресенский М: ООО "Издательский дом Недра", 2010. 479 с.
- 4 Беспятов, Б.И. Некоторые вопросы группирования в сейсморазведке. Прикладная геофизика, выпуск 25 / Б.И. Беспятов М: Гостоптехиздат, 1960.
- 5 Беспятов, Б.И. Методические основы повышения эффективности сейсморазведки методом отраженных волн (на примере Нижнего Поволжья). Труды НВ НИИГГ, выпуск 16 / Б.И. Беспятов М: Саратов, изд-во Саратовского ун-та, 1972. 266 с.
- 6 Пузырев, Н.Н. О фазовых искажениях и малоамплитудных характеристиках группирования сейсмоприемников на больших базах. Прикладная геофизика, выпуск 17 / Н.Н. Пузырев М: Гостоптехиздат, 1957.
- 7 Кириллов, Ф.А. Сейсмический эффект взрыва / Ф.А. Кириллов М: Тр. Сейсмологического ин-та АН СССР, № 121, 1947.
- 8 Дикгоф, Ю.А. Методика выбора оптимальных баз при совместном группировании сейсмоприемников и зарядов. – В сб. «Аппаратура, методика и интерпретация геофизических наблюдений» / Ю.А. Дикгоф М: Казань, изд-во Казанского ун-та, 1965, с. 71 – 88.
- 9 Власов, С.С. Оценка свойств сложных интерференционных систем в рамках энергетической теории, выпуск 56 / С.С. Власов, И.А. Муравьев, Э.С. Шестаков М: Недра Поволжья и Прикаспия, 2008. 65-74с.
- 10 Проект «Сейсморазведочные работы МОГТ-2Д» – Самара, фонды ОАО «Самаранефтегеофизика», 2015г.
- 11 Отчёт по методико-технологическому контролю (супервайзерству) полевого этапа сейсморазведочных работ МОГТ 2Д. – Самара, фонды ОАО «Самаранефтегеофизика», 2015г.
- 12 Результаты сейсморазведочных работ МОГТ-2Д. Отчёт сейсморазведочных партий. – Самара, фонды ОАО «Самаранефтегеофизика», 2015г.