

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 эффективности сложных полевых интерференционных систем,  
использованных в сейморазведочных работах МОГТ-2D на площади  
Кекаэль»**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студента 4 курса 403 группы  
направление 05.03.01 геология  
геологического ф-та  
Косырихина Кирилла Сергеевича

**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

В настоящее время основой поисков нефтегазовых месторождений являются материалы сейморазведочных работ методом отраженных волн (МОВ). При их проведении повсеместно используется групповой прием и очень часто групповое возбуждение упругих колебаний.

Каждая из групп образует интерференционную систему (ИС), а при их совместном применении формируется сложная интерференционная система (Сл ИС). Теория одиночных ИС разработана достаточно полно [1, 2], в то время как теория Сл ИС практически не рассматривается. На кафедре геофизики Саратовского университета ведутся научно-исследовательские работы по развитию теории ИС, разработке методики и программно-алгоритмического аппарата анализа свойств сложных ИС и оценке их эффективности, в последнем направлении я принимал участие.

Основной проблемой оценки эффективности ИС в конкретных сейсмогеологических условиях является отсутствие данных о параметрах регистрируемого волнового поля. До появления способа ОСТ и, особенно, цифровой обработки сейморазведочной информации проводились специальные работы. В настоящее время они практически не проводятся.

Целью исследований, в которых я принимал участие и по результатам, которых подготовлена данная выпускная квалификационная работа, являлась разработка методики приближенной оценки характеристик волн-помех поверхностного типа и отношения интенсивностей полезных волн и волн-помех в зонах их интерференции ( $S/N$ ) по полевым сейсмограммам.

Для её достижения этой необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть методику оценки эффективности ИС;
- рассмотреть методику оценки параметров волнового поля, применявшуюся ранее;
- разработать методику оценки параметров волн-помех поверхностного типа и отраженных волн по полевым сейсмограммам;
- опробовать методику на тестовом материале.

В качестве тестового материала были использованы сейсмограммы профиля 03 тест-системы Ухта, которая используется на кафедре геофизики Саратовского университета, отработанные ОАО ТНГрупп в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции.

Структура данной выпускной квалификационной работы:

1. Основы энергетической теории интерференционных систем
2. Методика изучения параметров волнового поля
3. Методика определения параметров волнового поля по полевым материалам.

## **1 Основы энергетической теории интерференционных систем**

### 1.1 Основные понятия.

Известно [3, 4, 5], что в сейсморазведке методом отраженных волн (МОВ) для подавления низкоскоростных волн-помех и выделения однократно отраженных волн, образовавшихся на исследуемых границах, при проведении полевых наблюдений широко используется группирование источников и приемников упругих колебаний.

Группы источников и приемников по отношению к волновому полю являются *интерференционными системами (ИС)*, основанными на суммировании сейсмических колебаний, зарегистрированных в разных точках пространства. Пространственное положение точек регистрации определяется с учетом кинематических характеристик выделяемых и подавляемых волн. При этом стремятся обеспечить синфазное сложение выделяемых колебаний и несинфазное – подавляемых.

Теория ИС описывает интерференцию сейсмических волн при распространении их в среде или интерференцию сигналов, порожденных ими. В основе ее лежит понятие идеально-регулярных волн – плоские волны, распространяющиеся в бесконечном полупространстве без затухания. Сигналы, вызываемые ими в разных точках пространства, отличаются лишь параметром времени.

## 1.2 Основные положения энергетической теории одиночных ИС.

В основе энергетической теории лежит рассмотрение свойств одномерных (линейных) интерференционных систем. На практике они используются наиболее часто. Сигнал на выходе дискретной интерференционной системы, имеющей  $n$  элементов с чувствительностью  $\mu_i$ , зависящей от номера входа, может быть записан формулой (1.1):

$$f_{\text{вых}}(t) = \sum_{i=1}^n \mu_i f(t + \Delta t_i) \quad (1.1)$$

где  $f(t)$  – сигнал в точке с координатами  $x=0$ ,  $y=0$ , а  $\Delta t_i$  – запаздывание сигнала на  $i$ -том элементе ИС;

Энергия сигнала  $f_{\text{вых}}(t)$  выражается равенством (1.2):

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

Целевой функцией энергетической теории ИС является **коэффициент направленного действия** (КНД). Под КНД интерференционной системы понимается отношение энергии сигнала некоторой волны на выходе интерференционной системы к максимально возможной энергии выходного сигнала той же волны в той же системе. Максимально возможную энергию сигнала той же волны можно получить, собрав все входы этой системы в одну точку формулой (1.3):

$$E_{\text{вых}}^{\max} = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \sum_{i=1}^n \mu_i f(t) \right]^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \sum_{i=1}^n \mu_i \right]^2 f^2(t) dt = \left[ \sum_{i=1}^n \mu_i \right]^2 \int_{-\infty}^{\infty} f^2(t) dt \quad (1.3)$$

$$\text{Тогда } \text{КНД} = \frac{E_{\text{вых}}}{E_{\text{вых}}^{\max}} = \text{КНД} = \frac{E_{\text{вых}}}{E_{\text{вых}}^{\max}} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \left[ \sum_{i=1}^n \mu_i f(t + \Delta t_i) \right]^2 dt}{\left[ \sum_{i=1}^n \mu_i \right]^2 \int_{-\infty}^{\infty} f^2(t) dt} \quad (1.4)$$

КНД характеризует степень ослабления волны за счет действия интерференционной системы с входами, размещенными в разных точках плоскости наблюдения и обладающими чувствительностью  $\mu_i$ .

Проблема вычисления КНД на основе выражения (1.4) состоит в неопределённости функции  $f(t)$ . Теоретическими и экспериментальными исследованиями [1, 6] было показано, что сигналы сейсмических волн удовлетворительно аппроксимируются импульсом, вида:

$$f(t) = e^{k^2 t^2} \sin \omega(t + \psi) \quad (1.5)$$

где  $k$  – коэффициент затухания огибающей экспоненты,  $\omega$  – круговая частота гармонической заполняющей,  $\psi$  – фазовый сдвиг.

Подстановка выражения (1.5) в (1.4) позволяет получить выражение (1.6):

$$KHD \approx \frac{1}{\left[ \sum_{i=1}^n \mu_i \right]^2} \left[ \sum_{i=1}^n \mu_i^2 + 2 \sum_{\substack{\ell=1, r=\ell+1 \\ \ell \neq r}}^{(n-1), n} e^{-\frac{k^2 T^2}{2} \left( \frac{\Delta t}{T} \right)^2 (\ell-r)^2} \times \cos 2\pi \left( \frac{\Delta t_\ell - \Delta t_r}{T} \right) \right] \quad (1.6)$$

Для частного случая однородной системы:

$$KHD \approx \frac{1}{n^2} \left[ n+2 \sum_{\substack{\ell=1, r=\ell+1 \\ \ell \neq r}}^{(n-1), n} e^{-\frac{k^2 T^2}{2} \left( \frac{\Delta t}{T} \right)^2 (\ell-r)^2} \times \cos 2\pi \frac{\Delta t}{T} (\ell-r) \right] \quad (1.7)$$

Из выражений (1.3) и (1.7) видно, что для расчета КНД интерференционной системы, имеющей  $n$  элементов необходимо знать параметры сигнала ( $k, T$ ), чувствительности элементов ИС и относительные запаздывания сигнала рассматриваемой волны на элементах ИС ( $\mu_i, \Delta t_i$ ). Две последние характеристики отображают главную структуру интерференции и называются амплитудно-временным аналогом (АВА) интерференционной системы.

### 1.3 Методика анализа сложных интерференционных систем.

В процессе исследований свойств Сл ИС, проводимых на кафедре геофизики в развитие продуктивной идеи АВА для описания интерференционных систем было предложено использовать амплитудно-геометрический аналог (АГА), где каждый элемент интерференционной системы описывается значением его относительного удаления ( $dx$ ) 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 поля и легко пересчитывается в АВА.

Рассматривая интерференционные системы как системы линейные и опираясь на присущий им принцип суперпозиции и вытекающий из него принцип взаимности, с помощью АГА можно построить корректный алгоритм оценки свойств сложных интерференционных систем.

На рисунке 1 показаны равномерные однородные группы приемников (5 элементов) и источников (4 элемента) упругих колебаний.



Рисунок 1 – Сложная интерференционная система.

Формирование эквивалентной интерференционной системы.

Интенсивности составляющих суммарного сигнала, регистрируемые в  $i$ -той точке от  $j$ -того источника можно представить, как  $\Gamma_i \cdot s_j$  и рассматривать их как чувствительность элементов эквивалентной системы. При совпадении местоположения элементов эквивалентной системы они рассматриваются как один элемент, чувствительность которого равна сумме чувствительностей объединяемых элементов. Из рисунка 1 легко видеть, что объединение двух равномерных и однородных систем формирует в общем случае неравномерную и неоднородную эквивалентную систему.

## 2 Методика изучения параметров волнового поля.

До 60-х годов прошлого столетия для оптимизации волнового состава регистрируемых упругих колебаний – выделения полезной компоненты и подавления помех – в арсенале сейсморазведки имелись только частотная селекция сигналов и группирование сейсмоприемников и источников. Поэтому к выбору параметров ИС и оценке их эффективности подходили очень тщательно.

Не рассматривая подробно методику опытных работ и интерпретации полученных материалов отметим ее ключевые моменты.

1. При проведении опытных работ использовалась уплотненная расстановка сейсмоприемников с шагом между пунктами приема 5 - 10 м.
2. Возбуждение колебаний производится как в ЗМС (для наилучшего выделения волн-помех), так и из-под ЗМС (для минимизации фона помех и наилучшего выделения отраженных волн).
3. Зарегистрированные магнитограммы воспроизводятся в нескольких частотных диапазонах, на полученных сейсмограммах выделяются волны-помехи и наиболее сильное, хорошо коррелируемое (опорное) отражение.
4. По доминирующим фазам сигналов выделенных волн строятся годографы, определяется видимый период колебаний ( $T^*$ ), длительность импульсов сигналов (в долях  $T^*$ ). Для волн-помех определяются значения кажущихся скоростей ( $V^*_i$ , здесь  $i$  – индекс помехи).
5. Для определения интенсивности выделенных волн помех с каждой магнитограммы получают несколько перезаписей без АРА на нескольких фиксированных коэффициентах усиления. На них по каждой выделенной волне-помехе определяются амплитуды доминирующей фазы и строятся графики зависимостей амплитуд от  $l$ -координат ( $A_{\text{пом } i}(l)$ ). Графики приводятся к единому масштабу с учетом коэффициентов усиления и программной регулировки усиления при записи магнитограммы.

6. Аналогично строится график изменения амплитуды доминирующей фазы опорного отражения ( $A_{оп}(l)$ ), который также приводится к масштабу графиков амплитуд волн-помех. Графики изменения амплитуд помех и опорного отражения объединяются и для каждой выделенной волны-помехи строятся графики  $A_{оп}(l)/A_{пом i}(l)$ .
7. Для оценки интенсивностей отраженных волн предварительно проводится поинтервальный отстрел взрывных скважин с целью выбора оптимальной глубины заложения зарядов. Критерий оптимальности – минимальный уровень фона помех и наилучшее выделение отраженных волн.
8. Магнитограмма, полученная при оптимальных условиях возбуждения, воспроизводится без АРА в нескольких частотных диапазонах на нескольких фиксированных уровнях усиления. На перезаписях выделяются доминирующие фазы отраженных волн, определяются амплитуды и строятся графики  $A_{отр j}(l)/A_{оп}(l)$ , здесь  $j$  – индекс отраженной волны.
9. На основании графиков  $A_{отр j}(l)/A_{оп}(l)$  и  $A_{оп}(l)/A_{пом i}$  определяются отношения  $A_{отр j}(l)/A_{пом i}$  (в зарубежной литературе это отношение обозначается как  $S/N$ ) в зонах интерференции  $j$ -того отражения с  $i$ -той волной-помехой.

Рассмотренный выше подход к изучению ВК для решения задач данной работы не может быть использована в полной мере по следующим причинам:

- система наблюдения задана и невозможно сделать ее уплотненной;
- невозможно менять условия возбуждения упругих колебаний;

### **3 Методика определения параметров волнового поля по полевым материалам.**

Использовались сейсмограммы ОПВ, на которых возможно было выделить все наблюдаемые помехи и, хотя бы одну (опорную) однократно отраженную волну.



Визуализация выполнялась без применения АРУ и для уверенного прослеживания волн разной интенсивности одна и та же сейсмограмма воспроизводилась несколько раз с разными коэффициентами усиления  $K_{yc}=250000$ ,  $K_{yc}=500000$ ,  $K_{yc}=1000000$ .

Определение характеристик волн происходило в следующем порядке:

### 1) Выделение волн на сейсмограммы ОПВ:

На визуализированных сейсмограммах выделялись опорное отражение и волны-помехи с линейными годографами. Для определения кинематических и динамических параметров каждой из выделенных волн выбиралась перезапись с тем коэффициентом усиления, при котором волна прослеживается наиболее уверенно, без перегрузки, с амплитудой, достаточной для её измерения.

На сейсмограмме с  $K_{yc} = 250000$  была выделена низкоскоростная помеха, отмеченная зеленым цветом (далее – "зеленая" волна). На сейсмограмме  $K_{yc} = 500000$  выделена волна-помеха с более высокой кажущейся скоростью ("синяя" волна). Опорное отражение с  $t_0 = 0,650$  с (отмечено красным цветом) удается выделить лишь на сейсмограмме с  $K_{yc} = 1000000$ .

Параметры опорного отражения:  $t_0=0,660$ ,  $\bar{A} = 2,626$

Для каждой из выделенных волн-помех определялись по сейсмограмме определялись:

- кажущаяся скорость  $V^*$  (м/с)
- видимый период колебаний  $T^*$  (с),
- длительность импульса  $\tau_{имп}$  (в долях  $T^*$ ),

Параметры волны 1:  $V^*_1 = 208$  м/с,  $T^*_1 = 0,1725$  с,  $\tau_{имп 1} = 3 T^*_1$

Параметры волны 2:  $V^*_2 = 392$  м/с,  $T^*_2 = 0,130$  с,  $\tau_{имп 2} = 2 T^*_2$

- среднеквадратическое значение амплитуды сигнала  $A$  (в мм),
- коэффициент затухания  $Kz$  (в мм/с).

Параметры волны 1:  $\bar{t}_1 = 1.565$  с,  $\bar{a}_1 = 19.454$   $\bar{Kz}_1 = 2,833$  (раз/с)

Параметры волны 2:  $\bar{t}_2 = 1.463$  с,  $\bar{a}_2 = 5.099$ ,  $\bar{Kz}_2 = 1,414$  (раз/с)

### 2) Определение амплитуд волн-помех и вычисление коэффициента затухания помехи:

Определение амплитуд (в мм) доминирующей фаз волн-помех выполнялось в двух временных окнах. Значения амплитуд осреднялись в каждом окне и относились к его центру окна. В связи с тем, что рассматривались сейсмограммы, воспроизведенные на 3-х коэффициентах усиления, то амплитуды сигналов пересчитывались на уровень максимального усиления, на котором выделялось опорное отражения ( $K_{yc}=1000000$ ).

Полагая, что выделенные волны-помехи имеют поверхностную природу, можно предположить, что их амплитуды изменяются обратно пропорционально времени пробега (по линейному закону). Если для  $i$ -той волны-помехи время в центре первого окна и осредненная амплитуда в первом окне есть  $(t_{i1}, a_{i1})$ , во втором –  $(t_{i2}, a_{i2})$ , то коэффициент затухания амплитуды  $i$ -той помех может быть записан формулой (3.1):

$$Kz_i = \frac{\Delta a}{\Delta t} = \frac{a_{i1} - a_{i2}}{t_{i2} - t_{i1}} \quad (3.1)$$

(здесь размерность  $Kz_i$  – мм/с).

Параметры волны 1:  $\bar{t}_1 = 1,255$  с,  $\bar{a}_1 = 22,968$ ,  $\overline{Kz}_1 = 2,833$  (раз/с)

Параметры волны 2:  $\bar{t}_{\text{син}} = 1.463$  с,  $\bar{a}_{\text{син}} = 5.099$ ,  $\overline{Kz}_{\text{син}} = 1,414$  (раз/с)

### 3) Определение амплитуды отраженной волны:

При оценке амплитудной характеристики опорного отражения первоначально предполагалось, что изменение амплитуды сигнала вдоль годографа можно будет аппроксимировать какой-либо монотонной функцией затухания, нелинейно меняющейся по  $l$ -координате, и использовать её для вычисления амплитуд отраженной волны в зонах ее интерференции с волнами-помехами.

Для этого определялись средние значения амплитуды в трех окнах по удалениям источник-приемник ( $A_j$ , где  $j$  – номер окна). Закономерность изменения амплитуд отсутствовала и для дальнейших расчетов было принято единое значение амплитуды отраженной волны отнесенное ко времени  $t_0$ , а именно:  $t_0 = 0,66$  с,  $A = 2.286$  мм.

#### 4) Определение отношения сигнал/помеха в зоне их интерференции.

Значение  $\bar{a}_i$  пересчитывалось на временной уровень зоны интерференции и определялось отношение  $(S/N)_i = A/\bar{a}_i$  в зоне интерференции опорного отражения с  $i$ -той волной-помехой. Рассчитанные значения этого отношения, а также степени превышения амплитуды помехи над амплитудой опорного отражения проведены в таблице 1:

Таблица 3.1 Характеристики поля волн-помех

Индекс волны-помехи	$V^*$ (м/с)	$T^*$ (с)	$f^*$ (Гц)	$\tau_{\text{имп}}$ (в долях $T^*$ )	$\bar{t}$ (с)	$\bar{a}$	$\bar{Kz}$ (раз/с)	S/N	N/S
1 ("зеленая")	208	0,173	5,8	3	1.565	19.454	2.833	0.038	26.39
2 ("синяя")	392	0,130	7,7	2	1.463	5.099	1,414	0.241	4.15

Для удовлетворительного ослабления волн-помех необходимо, чтобы отношение S/N на выходе Сл ИС было не менее 2÷3. То, что оно меньше единицы свидетельствуют о недостаточной помехоустойчивости этой системы. О том же свидетельствует и вид полевой сейсмограммы, где фон помех не позволяет выделить отраженные волны. Для оценки потенциальной помехоустойчивости Сл ИС были рассчитаны графики КНД.

##### 3.1 Расчет КНД.

При проведении полевых сейсморазведочных работ МОГТ-2D на площади Кекаэль применялось группирование 12-ти сейсмоприемников на базе 22 м и 3-х вибраторов на базе 25 м. Степень ослабления выделенных волн-помех данной СлИС можно оценить рассчитав зависимости  $\sqrt{КНД}(D/\lambda^*)$ . Они были рассчитаны для двухпериодного (2-я волна-помеха) и трехпериодного (1-я волна-помеха) импульсов. Значения аргументов и  $\sqrt{КНД}$ :

- для 1-ой помехи  $\lambda^* = 40$  м,  $D/\lambda^* = 1.18$ ,  $\sqrt{КНД} = 0,13$ ;
- для 2-ой помехи  $\lambda^* = 53,6$  м,  $D/\lambda^* = 0,88$ ,  $\sqrt{КНД} = 0,37$ .

Анализ степени ослабления волн-помехи  $B = \frac{1}{(\sqrt{КНД})_i}$  составила для

1-ой помехи  $B_1 = 7.69$ , для 2-ой помех  $B_2 = 2.7$  раза.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В конечном итоге можно констатировать, что все поставленные задачи были решены полном объеме. Подводя итоги, стоит сказать, что полученные значения амплитуд отраженной волны и волн-помех являются приближенными. Связано это с тем, что в данной работе не учитывалось неупругое поглощение энергии сейсмических волн в среде, угол падения волны на границу, а также «шероховатость» границы раздела. Также, не удалось найти функцию хотя бы приближенно описывающую изменение амплитуд сигнала вдоль годографа отраженной волны. Для дальнейшего развития теории ИС необходимо провести работы по установлению приблизительной аппроксимации годографа отраженной волны нелинейной функцией, отличающейся от гиперболы. Для этого необходимо разработать программу для анализа кривизны годографа отраженной волны.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Беспятов, Б.И. Методические основы повышения эффективности сейсморазведки методом отраженных волн/ Б.И. Беспятов. С.: Изд-во Саратовского университета, 1972. 268с.
2. Гольцман, Ф.М. Основы теории интерференционного приема регулярных волн/ Ф.М. Гольцман. М.: Наука, 1964. 283 с.
3. Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка. Учебник для вузов/ Г.Н. Боганик, И.И. Гурвич. Т.: Изд-во АИС, 2006. 744с.
4. Бондарев, В.И., Сейсморазведка. Учебник для вузов/ В.И. Бондарев. Е.: Изд-во УГГУ, 2007. 716с.
5. Воскресенский, Ю.Н., Полевая геофизика. Учебник для вузов/ Ю.Н. Воскресенский. М.: ООО «Издательский дом Недра», 2010. 479с.
6. Власов, С.С.; Муравьев, И.А.; Шестаков, Э.С.; Оценка свойств сложных интерференционных систем в рамках энергетической теории/ С.С. Власов, И.А. Муравьев, Э.С. Шестаков. С. 16с.