

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель программы
аспирантуры
профессор А.С. Егоров

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ
СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Область науки:	1. Естественные науки
Группа научных специальностей:	1.6. Науки о Земле и окружающей среде
Научная специальность:	1.6.9. Геофизика
Отрасли науки:	Геолого-минералогические, технические
Форма освоения программы аспирантуры:	Очная
Срок освоения программы аспирантуры:	3 года
Составитель:	к.т.н. Г.Д. Горелик

Санкт-Петербург

1. Расчет годографов всех типов волн для модели слоев на полупространстве

Цель работы: закрепить теоретические знания по геометрической сейсмике.

Задание

Рассчитать все типы волн, возникающие при падении продольной волны на границу раздела двух сред.

Порядок выполнения работы

Задача 1.

Необходимо описать все типы волн и условия их существования для модели «слой на полупространстве» от точечного источника, расположенного на дневной поверхности. Записать уравнения годографов, выполнить расчеты и построить графики годографов для следующей модели среды:

$$h = (200 + 10 * N) \text{ м},$$

$$v_{p1} = 1800 + 10 * N \text{ м/с},$$

$$v_{p2} = 2800 \text{ м/с},$$

$$v_{s1} = 1200 \text{ м/с},$$

$$v_{s2} = 2000 \text{ м/с}.$$

Здесь N – номер студента в списке.

Задача 2.

Определить (аналитически) кажущуюся скорость отраженной волны в начальной точке выхода преломленной волны.

2. Годографы отраженных волн для многослойной модели среды.

Цель работы: закрепить теоретические знания по кинематике отраженных волн.

Параметрическое описание годографа. Годограф отраженной волны для среды, включающей два и более слоя, можно описать только в параметрической форме. С поверхности выпускаем луч под углом α_1 и трассировкой луча рассчитываем два параметра: координату выхода луча на поверхность (удаление) и время:

$$t = 2 \sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i \cos \alpha_i} = 2 \sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i \sqrt{1 - \left(\frac{v_i}{v_0} \sin \alpha_0\right)^2}} = 2 \sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i \sqrt{1 - p^2 v_i^2}}$$
$$l = 2 \sum_{i=1}^N h_i \operatorname{tg} \alpha_i = 2 \sum_{i=1}^N \frac{h_i \sin \alpha_i}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_i}{v_0} \sin \alpha_0\right)^2}} = 2 \sum_{i=1}^N \frac{p h_i v_i}{\sqrt{1 - p^2 v_i^2}} \quad (1.6)$$

Определения скоростей отраженных волн.

В практике сейсморазведки используются следующие определения скоростей отраженных волн:

- Средняя скорость v_c ;
- Эффективная скорость v_e ;
- Скорость ОГТ $v_{огт}$;

- Скорость суммирования v_s ;
- Предельная эффективная скорость v_e ;
- Лучевая скорость v_p ;
- Среднеквадратичная скорость $v_{кв}$;

Рассмотрим многослойную модель среды с горизонтальными границами раздела. Введем параметры глубинной модели: (h_1, \dots, h_n) ; (v_1, \dots, v_n) ; (t_1, \dots, t_n) - мощности, пластовые скорости и удвоенные временные мощности пластов.

Средняя скорость до отражающей границы равна отношению глубины к половине вертикального времени отражения:

$$v_c = \frac{2h}{t} = 2 \sum_i h_i / \sum_i t_i = \sum_i v_i t_i / \sum_i t_i. \quad (1.6.1)$$

Средняя скорость используется при пересчете времен отражений в глубины.

Параметр «эффективная скорость» v_e сохранился с периода ручной интерпретации годографов отраженных волн. Эффективная скорость определяется при аппроксимации годографа ОВ от горизонтальной границы уравнением гиперболы.

Годограф ОГТ есть также аппроксимация годографа гиперболой, но здесь не требуется условие горизонтальности границы. Поэтому различие между эффективной скоростью и скоростью ОГТ определяется множителем $1/\cos\varphi$. После выполнения процедур обработки, устраняющей влияние угла наклона на скорости отраженных волн выражение $v_{о.м}$ применяется к скорости, полученной по выборке трасс ОГТ, но в этой скорости уже отсутствует зависимость от угла наклона границы. Получается, что $v_{о.м}$ можно использовать только для описания скоростей отраженных волн до выполнения миграционных процедур.

Параметр «скорость суммирования» v_s на любом этапе обработки выражает параметр гиперболы оптимального суммирования. Поэтому параметр можно считать необходимым и более общим термином.

Из уравнения годографа ОГТ следует, что для оценки скорости v_s достаточно задать две точки годографа ОГТ:

$$v_s = l / \sqrt{t_1^2 - t_0^2} = l / \tau_1.$$

Получена простая, но очень содержательная формула, в которой скорость в среде выражается как отношение расстояния между источником и приемником на время τ_1 , за которое луч преодолевает это расстояние.

Предельная эффективная (дифференциальная) скорость - v_e . Получим выражение для второй производной годографа в точке с удалением ПП-ПВ $l = 0$:

$$t'' = \frac{d^2 t_{l=0}}{dl^2} = \frac{d^2 \sqrt{t_0^2 + (l/v)^2}}{dt^2} = t''_{l=0} = \frac{1}{t_0 v^2} \Rightarrow \quad (1.6.2)$$

$$v_e = 1 / \sqrt{t_0 t''}.$$

Продифференцируем уравнение годографа отраженной волны:

$$\frac{dt}{dl} = \frac{d \sqrt{t_0^2 + (l/v)^2}}{dt} = \frac{l}{tv^2} \Rightarrow$$

$$v^2 = \frac{l}{t} \frac{dl}{dt} = \frac{l}{t} v_k, \text{ поскольку } v_k = l/p, \text{ см. (1.1.3)} \Rightarrow$$

$$v_p = \sqrt{\frac{l}{t}} v_k = \sqrt{\frac{l}{tp}}. \quad (1.6.3)$$

Индекс p определяет, что скорость v_p зависит от лучевого параметра. Определяя значения параметров l, t из уравнений годографа (1.6) с учетом (1.6.3) получим выражение «лучевой» скорости (1.6.3) в виде:

$$v_p = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{h_i v_i}{\sqrt{1-p^2 v_i^2}} / \sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i \sqrt{1-p^2 v_i^2}}} \quad (1.6.4)$$

Лучевая скорость зависит от параметров среды и значения лучевого параметра. При $p \rightarrow 0$, что соответствует приближению к вертикальному лучу, значение лучевой скорости описывается выражением:

$$v_{p=0}^2 = v_{\text{ср}}^2 = \sum_{i=1}^N (h_i v_i) / \sum_{i=1}^N (h_i / v_i) = \sum_{i=1}^N (t_i v_i^2) / \sum_{i=1}^N t_i. \quad (1.6.5)$$

Уравнение (1.6.5) определяет *среднеквадратичную* скорость.

Задачи работы:

1. Рассчитать параметрическим методом годограф волны, отраженной от нижней границы многослойной модели среды.
2. Определить зависимость лучевой скорости и скорости суммирования от удаления ПП-ПВ.

Модель среды:

Мощность слоя, м	Скорость, м/с
300+5*N	1700
400+5*N	2000
200+5*N	2500
400+5*N	3000
500+5*N	3400

Порядок выполнения работы

Задача 1. В диапазоне удалений $0 - 1.5$ h, где h – глубина границы рассчитать годограф ОГТ $t(l)$ для 7-ми лучей (расстояние и время выхода волны на поверхность), отраженной от нижней границы.

Задача 2. Для каждого значения годографа $l \neq 0$ определить лучевую скорость $v_p(l)$ и скорость суммирования $v_s(l)$. Построить график изменения этих параметров от удаления $v(l)$. Нанести на график значения средней и среднеквадратичной скоростей.

3. Группирование сейсмоприемников

Цель работы: освоить практические способы расчета и анализа эффективности группирования приемников для полевых систем наблюдения.

Группирование приборов – подключение к одному приемному каналу нескольких сейсмоприемников.

Различают: линейное, площадное группирование. В первом случае приборы выстраивают в линию, ориентированную вдоль профиля (линейное группирование). Во втором - приборы выставляют на площадке (площадное группирование). Иногда приборы устанавливают в «одной точке» - это пример точечного группирования.

База группы – расстояние между первым и последним прибором в группе. Для площадной группы база определяется двумя значениями.

Для линейной группы ее параметры определяются количеством приборов в группе и расстоянием между приборами. Центр группы должен устанавливаться в точке соответствующего приемного канала расстановки. Если размотка группы выполняется в одну сторону от канала, то координата точки приема должна быть отнесена к центру группы.

Действие группы определяется простым суммированием сигналов от одиночных приемников:

$$f(t) = \sum_{l=-L/2}^{L/2} f_l(t).$$

Здесь l - индекс приемника. Пусть также эта величина определяет расстояние прибора от центра группы. Такое суммирование иногда называют ненаправленным суммированием. Если сигналы всех каналов одинаковы, то происходит простое накопление входных сигналов. Это относится к точечному группированию. Его применение оправдано, если ставится цель увеличения уровня сигналов относительно аппаратурных помех.

Сейсмические сигналы в пределах базы группирования можно характеризовать постоянной кажущейся скоростью v_k - скоростью перемещения фронта волны (или фазы сигнала) вдоль линии профиля. Если принять, что форма сигналов постоянна, то действие группы описывается уравнением:

$$f(t) = \sum_{l=-L}^L f_l(t - d \cdot l / v_k). \quad (1)$$

Сигналы суммируются с временными сдвигами dl / v_k , где d - шаг между приборами в группе. Результат суммирования будем анализировать в спектральной области, поскольку эффект суммирования кроме параметров группы сильно зависит от частоты сигнала.

$$S(w) = \sum_t f(t) e^{-jw t} = \sum_t \sum_{l=-L}^L f(t - dl / v_k) e^{-jw t}.$$

Выполним замену переменных: $p = t - dl / v_k$. Тогда:

$$S(w) = \sum_p f(p) e^{-jw p} \sum_{l=-L}^L e^{-jw dl / v_k} = F(w) \sum_{l=-L}^L e^{-jw dl / v_k}. \quad (2)$$

Здесь $F(w)$ - спектр сейсмического сигнала, $\sum_{l=-L}^L e^{-jw dl / v_k}$ - оператор, описывающий действие группирования. Оператор группирования можно упростить, если воспользоваться формулой для суммы членов ряда геометрической прогрессии:

$$\sum_{l=-L}^L p^l = p^{-L} (1 + p + p^2 + \dots + p^{2L+1}) = p^{-L} \frac{p^{2L+1} - 1}{p - 1}, \text{ где } p = e^{-jw d / v_k}. \quad (3)$$

Используя равенство (3) оператор группирования приведем к виду:

$$R(\omega, v_k, d, L) = \sum_{l=-L}^L e^{-j\omega l / v_k} = \sin\left(\frac{\omega}{v_k} d(L + 1/2)\right) / \sin\left(\frac{\omega}{v_k} d/2\right). \quad (4)$$

В полученном выражении сейсмическая волна характеризуется отношением $\eta = \omega / v_k$, т.н. волновым числом. Диапазон изменения циклической частоты для сейсмических сигналов составляет 10-120 гц, для круговой частоты ω диапазон изменения составит $2\pi \cdot 10 - 2\pi \cdot 120$ рад/сек. Кажущаяся скорость снизу ограничена скоростью звука и для отраженных волн сверху ограничена бесконечностью. Следовательно, параметр η в целом изменяется в диапазоне $\sim (0, 3)$. Обратите внимание, что при $\eta = 0$ в выражении (4) нужно раскрыть неопределенность типа 0/0.

В соответствии с формулой (2) спектр выходного сигнала определяется произведением спектра входного на передаточную характеристику группы:

$$S(\omega) = F(\omega)R(\omega, v_k, d, L).$$

Задачи работы.

Задача 1.

База линейной группы составляет 25 м. Рассчитайте функцию $R(\eta)$ для группы из 11 и 6 приборов. Волна помеха ограничена частотой 12 гц при скорости $500+25N$ м/с. Определите сравнительную характеристику подавления этой помехи.

Задача 2.

База линейной группы составляет 60 м, количество приборов в группе = 11. Пропускает ли данная группа преломленную волну с основной частотой 50 гц и скоростью $1000+75N$.

Задача 3. Рассчитайте $R(f)$ для скорости 1700, кол-ве приборов 11 и базах группы: 10, 20, 30, 40, 50 м. Шкала абсцисс должна быть определена в герцах. Определите изменение частоты границы подавления сейсмической волны. Границу подавления будем определять 0.7 максимального значения.

Задача 4. Как изменится формула (4) для площадного группирования. Используйте линейные свойства операции суммирования.

Задача 5. Можно ли площадную группу заменить двумя перпендикулярными линейными системами (крестовой группой). Обосновать ответ.

4. Область применимости способа статических поправок

Цель работы: Оценить область применимости способа статических поправок в задаче компенсации неоднородности верхней части разреза.

Рассматриваются два новых понятия: а) зона малых скоростей (ЗМС); б) статические поправки. Статические поправки используются при обработке для пересчета наблюдений на новую (как правило, горизонтальную) линию приведения сейсмических наблюдений. Предполагается, что скорость в ЗМС мала, и лучи пересекают ЗМС по вертикали. При этом условии пересчет наблюдений на подошву ЗМС выполняется вычитанием статических поправок, определяемых в точках взрыва и приема из наблюдаемых времен. В этой работе мы

рассматриваем, насколько существенно условие малости скоростей в ЗМС для задачи структурных построений.

Задача 1.

1. Альтитуда дневной поверхности составляет 20 м. Модель двухслойной среды с переменной скоростью в ЗМС задана в 4-х точках профиля:

Модель 1:

Мощность слоя, м	Скорость, м/с
20	200
500+10N	1800

Модель 2:

Мощность слоя, м	Скорость, м/с
20	400
500+10N	1800

Модель 3:

Мощность слоя, м	Скорость, м/с
20	600
500+10N	1800

Модель 4:

Мощность слоя, м	Скорость, м/с
20	1500
500+10N	1800

2. Для каждой модели рассчитать скорость суммирования и глубину отражающей границы.

3. Пересчитать годографы статическими поправками на кровлю второго слоя. Повторить расчеты скорости и глубины от новой линии приведения.

Порядок выполнения работы

В рассматриваемом случае статические поправки определяются как временная мощность ЗМС, поскольку пересчет поля будем делать на уровень 0.

Задача 1. Выполнить параметрическим способом расчеты точек годографа для удалений: $l = 0$ и $l \approx 600$ м для каждой модели среды. Определить скорости суммирования v_s и глубины $h_s = t_0 v_s / 2$ отражающей границы. Сравнить с исходными данными. Построить графики скорости и глубины границы как функции скорости в ЗМС.

Задача 3. Определить временную мощность первого пласта (зоны малых скоростей). Ввести статические поправки во времена годографов и повторить расчеты скорости и глубины. Построить графики скорости и глубины границы как функции скорости в ЗМС.

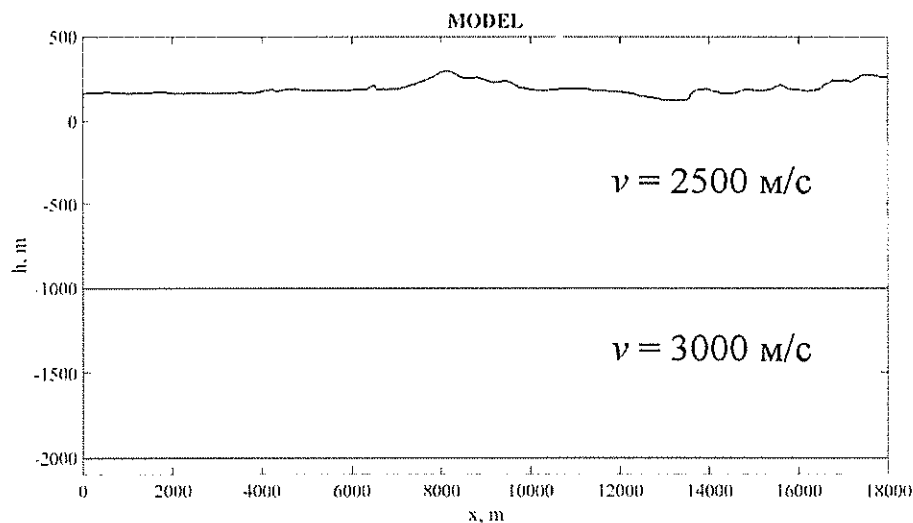
Сделать заключение:

1. Как влияет ЗМС на результаты кинематической интерпретации.
2. Оценить допустимость исключения влияния ЗМС «статическими поправками».

Все значения глубин на графиках представлять абсолютными значениями (от уровня моря).

Задача 2. Компенсация рельефа способом статических поправок

Рассмотрим модель среды, представленную на рисунке. Перепад рельефа дневной поверхности составляет $124 \div 297$ (173) м. Скорость первого слоя определим значением 2500 м/с, скорость второго слоя — 3000 м/с. Абсолютная глубина отражающих границ составляет соответственно 1000 и 2000 м. Длина профиля 18 км.



Для заданной модели среды рассчитано волновое поле (файл Рельеф_1.sgy). Необходимо:

- задать линию приведения, рассчитать и ввести статические поправки;
- выполнить скоростной анализ и рассчитать временной разрез.

При пересчете на горизонтальную линию приведения переходим к модели среды с горизонтальными границами и постоянными пластовыми скоростями. Соответственно, эффективные скорости отраженных волн должны иметь постоянные значения. Выполнить горизонтальный скоростной анализ по двум горизонтам и объяснить полученные результаты.

ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Гайнанов В. Г. Обработка и интерпретация данных сейсморазведки: учебное пособие / В. Г. Гайнанов. — Дубна: Государственный университет «Дубна», 2020. — 170 с. — ISBN 978-5-89847-612-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/154478> (дата обращения: 16.01.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Митрофанов, Г. М. Обработка и интерпретация геофизических данных: учебное пособие / Г. М. Митрофанов. - 2-е изд. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. - 168 с. - ISBN 978-5-7782-3805-3. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1867825> (дата обращения: 16.01.2023). – Режим доступа: по подписке.

Дополнительная литература

1. Набатов, В. В. Обработка и интерпретация результатов геофизических исследований и неразрушающего контроля: учебник / В. В. Набатов, А. С. Вознесенский. — Москва: МИСИС, 2019. — 278 с. — ISBN 978-5-907061-47-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/129041> (дата обращения: 16.01.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Перевертайло, Т. Г. Основы геологического 3D-моделирования в ПК Petrel «Schlumberger»: учебное пособие / Т. Г. Перевертайло. — Томск: ТПУ, 2017. — 112 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/106749> (дата обращения: 16.01.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.