МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ» (МГРИ)

Кафедра геофизики

Романов В.В.

ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ОСНОВАМ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Москва, 2019 г

УДК 550.834

Романов В. В.

Практикум по физико-геологическим основам сейсморазведки: Учебное пособие. — М: МГРИ, 2019. — 30 с., ил.

Практикум по дисциплине «Сейсморазведка» для студентов вузов, обучающихся по специальности 21.05.03 «Технология геологической разведки» и направлению подготовки 09.03.03 «Прикладная информатика» очной, очно-заочной и заочной форм обучения.

© Романов В.В., 2019

© МГРИ, 2019.

Оформление работ

Лабораторные работы выполняются на компьютере, в текстовом редакторе Word и представляются на проверку в распечатанном виде. Объём работы — 1–2 листа формата А4. Листы должны быть скреплены степлером. Номера страниц указываются арабскими цифрами снизу страницы, титульный лист не нумеруется.

Рисунки подписываются сокращённым наименованием, с прописной буквы, («Рис. 1»), снизу. Точка на конце подрисуночной подписи не ставится. В первый раз ссылка на рисунок должна появиться в тексте до самого рисунка. Ссылка на рисунок приводиться в круглых скобках (Рис.1). В тексте должна быть минимум одна ссылка на каждый рисунок.

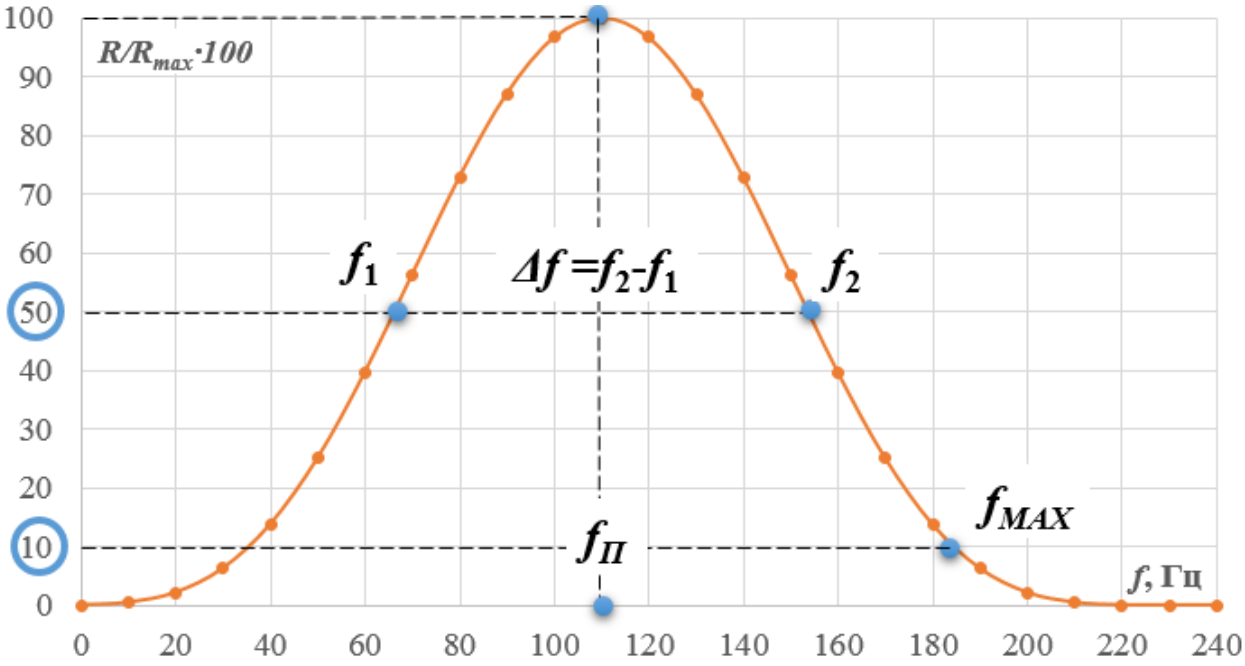


Рис 1. Пример подрисуночной подписи

Таблицы подписываются полным наименованием, с прописной буквы, (пример — «Таблица 1»), сверху. Точка на конце заголовка таблицы не ставится. В первый раз ссылка на таблицу должна появиться в тексте до самой таблицы. Ссылка на таблицу приводиться в круглых скобках (Таблица 1). В тексте должна быть минимум одна ссылка на каждую таблицу.

Таблица 1 Пример заголовка таблицы

Формулы создаются только в редакторе формул Word, формулы нумеруются — (1), ссылки на формулы — по номеру.

$$A = \pi r^2 \tag{1}$$

Поля страниц	
Левое поле	3 см
Правое поле	1,5 см
Верхнее поле	2 см
Нижнее поле	2 см
Шрифт	
Текст абзаца	Times New Roman, 14
Заголовок	**Times New Roman 14, полужирный**
Подрисуночная подпись	**Times New Roman, 12, полужирный**
Подпись таблицы	**Times New Roman, 12, полужирный**
Абзац	
Текст абзаца	Выравнивание: по ширине; Первая строка: выступ, 1 см; Межстрочный интервал: полуторный; Интервалы: перед: 0, после: 0; Отступы: слева: 0; справа:0;
Заголовки	Выравнивание: по центру; Первая строка: выступ, 0 см; Межстрочный интервал: одинарный; Интервалы: перед: 0, после: 6; Отступы: слева: 0; справа:0;

Подрисуночные подписи	Выравнивание: по центру; Первая строка: выступ, 0 см; Межстрочный интервал: одинарный; Интервалы: перед: 0, после: 0; Отступы: слева: 0; справа:0;
Подписи таблиц	Выравнивание: по правому краю; Первая строка: выступ, 0 см; Межстрочный интервал: одинарный; Интервалы: перед: 0, после: 0; Отступы: слева: 0; справа:0;
Формулы	Выравнивание: по центру; Первая строка: выступ, 0 см; Межстрочный интервал: одинарный; Интервалы: перед: 0, после: 0; Отступы: слева: 0; справа:0;

1. Теория упругости

Дано

Идеально упругое, изотропное твёрдое тело с модулем Юнга E и коэффициентом Пуассона σ. Внешняя механическая сила F создала в малом элементе тела объёмные деформации ε_{XX} и ε_{YY}, а сторона Δx повернулась на малый угол α, так что элемент не повернулся относительно оси Z.

Задание

1. Вычислить компоненты тензора деформации ε;
2. Вычислить компоненты тензора напряжения p;
3. Построить результат действия всех компонент тензора деформации на плоскости XY.

Варианты заданий

Вариант	E, ГПа	σ	ε_{XX}, 10^{-6}	ε_{YY}, 10^{-6}	α, 10^{-6}
1	46	0.22	39	13	48
2	30	0.21	44	13	28
3	56	0.39	35	15	23
4	18	0.31	39	12	46
5	27	0.38	33	13	32
6	44	0.32	40	11	24
7	17	0.31	47	13	44
8	58	0.36	38	16	21
9	32	0.20	30	13	29
10	58	0.30	26	10	26
11	46	0.27	37	9	46
12	46	0.32	39	12	41
13	19	0.33	28	13	46
14	47	0.35	26	9	22
15	55	0.27	32	9	49
16	42	0.34	48	11	26
17	45	0.24	20	16	24
18	36	0.29	22	7	38
19	21	0.28	39	7	37
20	19	0.21	21	13	42
21	14	0.33	35	7	46
22	53	0.32	41	12	33
23	55	0.29	25	14	33
24	32	0.26	46	8	44
25	32	0.31	36	15	22
26	31	0.25	34	12	37

27	39	0.27	36	11	34
28	54	0.26	46	12	33
29	58	0.28	21	15	46
30	43	0.38	31	7	24
31	21	0.22	26	10	25
32	26	0.35	25	9	42
33	56	0.23	24	8	25
34	24	0.31	32	8	45
35	26	0.24	24	11	39
36	40	0.36	44	8	39
37	54	0.34	29	15	33
38	37	0.21	39	10	23
39	29	0.30	48	13	36
40	39	0.38	47	16	25

Ход решения

1. Учитывая, что $\alpha = \frac{\partial U_y}{\partial x}$; $\beta = \frac{\partial U_x}{\partial y}$ $\omega_z = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial U_y}{\partial x} - \frac{\partial U_x}{\partial y}\right)$; $\omega_z = 0$; $\alpha = \beta$; $\varepsilon_{XY} = \alpha$; $\varepsilon_{XZ} = \varepsilon_{YZ} = 0$.
2. Определить все компоненты тензора деформации, принимая, что $\varepsilon_{ZZ} = \varepsilon_{YY}$.
3. Вычислить дилатацию Δ по тензору деформации ε.
4. Вычислить упругие константы λ, μ по модулю Юнга E и коэффициенту Пуассона σ.
5. Вычислить компоненты тензора напряжения при помощи закона Гука.
6. Вычислить давление P по тензору напряжения.
7. Найти модуль всестороннего сжатия K по дилатации Δ и давлению P;
8. Найти модуль всестороннего сжатия K через упругие константы Ламе, убедиться, что он не отличается от найденного в п.7.
9. При построении деформированного элемента считать, что множитель 10^{-6} равен 10^{-2}. Начертить плоскую проекцию элемента в виде квадрата со сторонами 5 на 5 см. Изменить длины сторон X и Y, построить элемент после учёта объёмных деформаций. Сместить грани X и Y, построить результат действия чисто сдвиговой деформации. Обратить внимание на то, что все деформации вычисляются относительно параметров неизменённого элемента.

Образец оформления

Лабораторная работа №1 «Теория упругости» по дисциплине «Сейсморазведка»

Вариант №1
Выполнил: студент группы РФ-19-1, Иванов И.И.
Проверил: доцент кафедры геофизики МГРИ-РГГРУ, Романов В.В.
Дано: E = 50 ГПа; σ = 0,2; $\varepsilon_{XX} = 40\cdot10^{-6}$; $\varepsilon_{YY} = 13\cdot10^{-6}$; $\alpha = 30\cdot10^{-6}$.

Задание 1: Тензор деформации ε, 10^{-6}

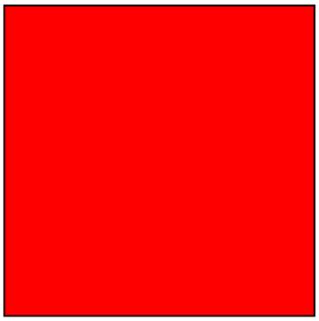
40	30	0
30	13	0
0	0	13

Задание 2: Тензор напряжения p, МПа

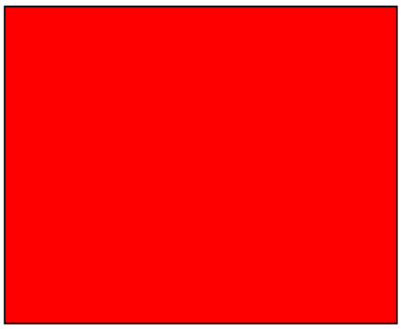
$\Delta = 66{,}0\cdot10^{-6}$; λ = 13,9 ГПа; μ = 20,8 ГПа; P = 1,833 МПа; K=27,8 ГПа

2,58	1,248	0
1,248	1,46	0
0	0	1,46

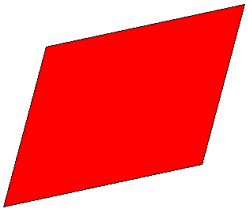
Задание 3: Деформация элемента



До деформации



Объёмные деформации



Объёмные и сдвиговые деформации

2. Импульс сейсмической волны

Дано

Сейсмическая волна с амплитудой *A*, частотой *f* и скоростью *V*.

Задания

1. Вычислить и построить импульс сейсмической волны, наблюдаемой на расстоянии l = 500 м от источника.
2. Построить амплитудный и фазовый спектры импульса. Выполнить обратное преобразование Фурье.

Варианты заданий

Вариант	*A*, мкм/с	*f*, Гц	*V*, м/с
1	21	26	3300
2	-16	28	2900
3	19	26	2500
4	30	34	3000
5	-18	31	2400
6	-31	34	2600
7	-1	35	3300
8	3	29	3000
9	8	28	3200
10	-11	28	3000
11	36	31	2800
12	30	29	3100
13	35	30	3000
14	-15	28	3000
15	29	28	2500
16	-2	35	3100
17	2	27	2800
18	16	26	2500
19	-4	27	2500
20	33	30	2600
21	-19	32	3100
22	19	31	2600
23	-2	30	2800
24	28	33	3300
25	-27	34	3100
26	-38	30	3000
27	-32	35	3300
28	22	29	3400
29	33	27	2900
30	-5	32	3000
31	15	34	2500

32	-24	28	2400
33	-25	35	2800
34	5	26	3000
35	35	34	2500
36	-11	35	3300
37	-6	28	3000
38	37	33	3000
39	-17	32	2800
40	4	25	2500

Ход решения

1. Вычислить **период** T[мс] и **длительность** импульса L[мс].

$$L = 2{,}5T \tag{2.1}$$

2. Выбрать оптимальный **шаг дискретизации** Δt [мс]. Шаг оценивается по выражению (2.2) и округляется до *ближайшего меньшего* стандартного значения (1, 2 или 4 мс).

$$\Delta t \leq \frac{T}{8} \tag{2.2}$$

3. Определить **число отсчётов** импульса волны N. Число отсчётов вычисляется при помощи выражения (2.3) и округляется *в большую сторону до ближайшего чётного* значения.

$$N = \frac{L}{\Delta t} + 1 \tag{2.3}$$

4. Определить **круговую частоту** импульса ω [рад/с] и **время вступления** волны $t_{\text{В}}$ [мс] (2.4), (2.5).

$$\omega = 2\pi f \tag{2.4}$$

$$t_{\text{В}} = \frac{l}{V} \tag{2.5}$$

5. Вычислить **коэффициент затухания** импульса Берлаге β [с$^{-1}$] (2.6).

$$\beta = 2{,}5f \tag{2.6}$$

6. Вычислить **импульс Берлаге** по выражению (2.7), где $v(t_i)$ — **скорость колебательного движения**. Для расчёта импульса взять времена $t_i = 0$, Δt , $2\Delta t$, $i\Delta t$, $(N–1)\Delta t$, i — **индекс значения**. При необходимости N изменяется до ближайшего большего или меньшего *чётного* значения,

чтобы $v(t_{N-1})$ было бы близким к нулю. Длительность импульса при измерении N также должна быть пересчитана.

$$v(t_i) = t_i \cdot e^{-\beta t_i} \cdot \sin \omega t_i \tag{2.7}$$

7. Масштабировать импульс к амплитуде A, умножив все его отсчёты на постоянный коэффициент (2.8). Построить импульс Берлаге $v'(t_i)$ на оси времени, сдвинутой вперёд на $t_{\text{В}}$.

$$v'(t_i) = v(t_i) \cdot \frac{A}{|v(t_i)_{max}|} \tag{2.8}$$

8. Вычислить частоты **гармоник** прямого преобразования Фурье (k — **индекс гармоники**, Δf — **опорная частота**) (2.9).

$$f_k = k \cdot \Delta f; k = 0, 1, 2 \ldots \frac{N}{2} \tag{2.9}$$

$$\Delta f = \frac{1}{N \Delta t}$$

9. Вычислить действительные a_k и мнимые b_k компоненты **комплексных значений** гармоник Z_k для значений k от 0 до $N/2$.

$$a_k = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} v'(t_i) \cos\left(\frac{2\pi}{N} ik\right) \tag{2.10}$$

$$b_k = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} v'(t_i) \sin\left(\frac{2\pi}{N} ik\right)$$

10. Вычислить **амплитуды** R_k и **начальные фазы** φ_k гармоник (2.11). При вычислениях фазы использовать функцию ATAN2(Y, X).

$$R_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}\,; \tag{2.11}$$

$$\varphi_k = arctg\,\frac{-b_k}{a_k}$$

11. Построить амплитудный и фазовый спектры импульса Берлаге. Перед построением начальные фазы гармоник *перевести в градусы*. По амплитудному спектру определить **преобладающую частоту** $f_{\text{П}}$, **ширину спектра** Δf и **максимальную частоту** f_{MAX} (Рис. 2.1).

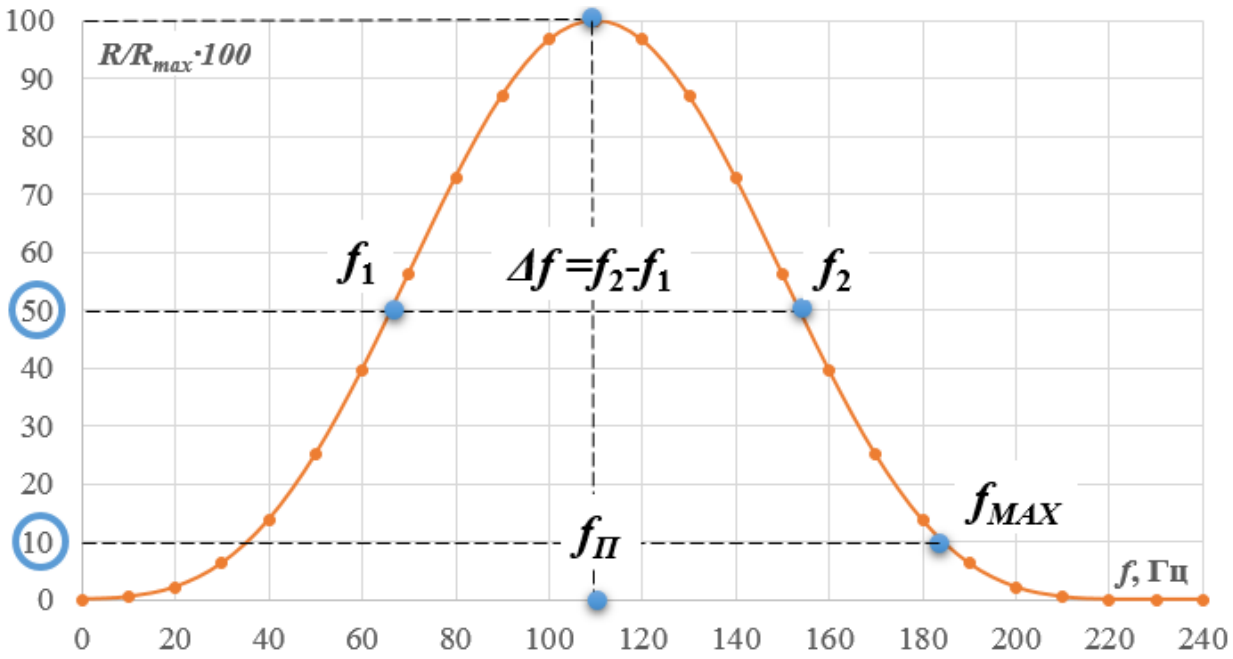


Рис 2.1 Определение параметров спектра

12. Выполнить обратное преобразование Фурье (2.12).

$$v''(t_i) = a_0 + 2\sum_{k=1}^{\frac{N}{2}-1} R_k \cos\left(\frac{2\pi}{N} ik + \varphi_k\right) + a_{\frac{N}{2}} \cos(\pi i) \tag{2.12}$$

13. Построить импульс v'' (t_i) на том же графике, что и исходный импульс Берлаге v' (t_i)

Образец оформления

Лабораторная работа №2 «Импульс сейсмической волны» по дисциплине «Сейсморазведка»

Вариант №1
Выполнил: студент группы РФ-19-1, Иванов И.И.
Проверил: доцент кафедры геофизики МГРИ-РГГРУ, Романов В.В.
Дано: *A* = 10 мкм/с, *f* = 31 Гц; *V* = 2400 м/с.

Таблица 1 Параметры импульса Берлаге

Величина	Значение	Единица
T	32	мс
Δt	2	мс
L	80	мс
N	41	
ω	195	рад/с
$t_В$	208	мс
β	77,5	$с^{-1}$

Таблица 2 Параметры амплитудного спектра

Величина	Значение	Единица
$f_П$	36	Гц
Δf	24	Гц
f_{MAX}	70	Гц

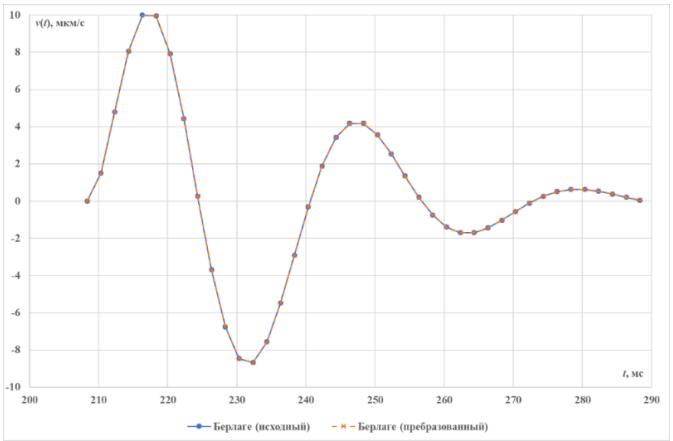


Рис 1. Импульс Берлаге

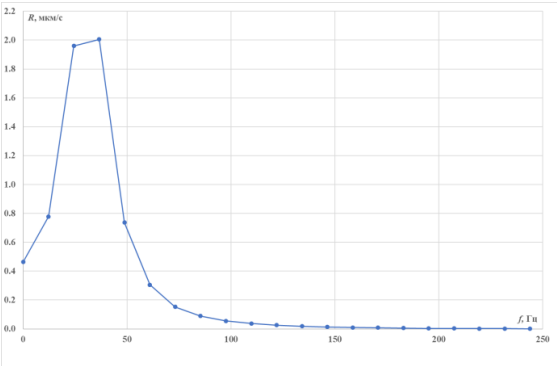


Рис 2. Амплитудный спектр Фурье

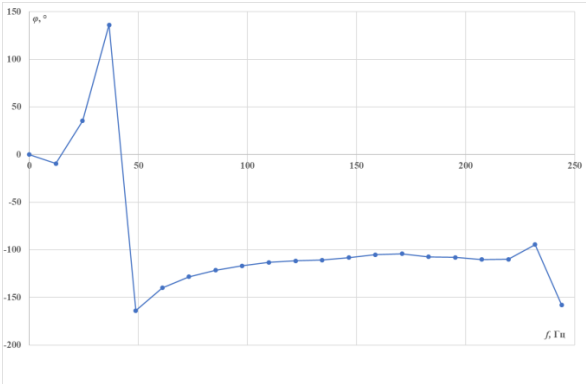


Рис 3. Фазовый спектр Фурье

3. Поле времён и годограф волны

Дано

Однородная среда с модулем Юнга E [ГПа], коэффициентом Пуассона σ и плотностью ρ[г/см^3].

Задание

1. Вычислить скорости продольных V_P и поперечных волн V_S, их отношение γ.
2. Вычислить и построить поля времён. Получить продольные и непродольные годографы, найти кажущуюся скорость V^*.

Варианты заданий

Вариант	E, ГПа	σ	ρ, г/см^3
1	63.9	0.25	3.35
2	58.4	0.29	3.25
3	31.6	0.32	2.65
4	33.1	0.37	2.69
5	20.4	0.28	2.29
6	22.3	0.28	2.36
7	29.2	0.34	2.58
8	49.7	0.29	3.08
9	55.2	0.29	3.19
10	70.4	0.34	3.46
11	29.2	0.33	2.58
12	36.1	0.31	2.77
13	8.40	0.28	1.70
14	58.9	0.30	3.26
15	60.5	0.27	3.29
16	13.0	0.35	1.97
17	56.2	0.28	3.21
18	16.7	0.27	2.14
19	41.0	0.34	2.89
20	32.4	0.29	2.67
21	41.0	0.33	2.89
22	40.2	0.28	2.87
23	48.2	0.28	3.05
24	8.80	0.33	1.73
25	61.6	0.30	3.31
26	61.1	0.26	3.30
27	15.1	0.26	2.07
28	10.4	0.29	1.83
29	49.2	0.36	3.07

30	57.3	0.27	3.23
31	9.00	0.34	1.74
32	17.1	0.26	2.16
33	34.2	0.33	2.72
34	14.6	0.32	2.05
35	11.8	0.29	1.91
36	11.8	0.25	1.91
37	35.0	0.28	2.74
38	12.4	0.36	1.94
39	57.8	0.34	3.24
40	69.8	0.31	3.45

Ход решения

1. По формулам (3.1) найти V_P, V_S и их отношение γ. Сделать вывод о правильности полученных значений.

$$v_P = \sqrt{\frac{E}{\rho}\frac{(1-\sigma)}{(1+\sigma)(1-2\sigma)}} \quad v_S = \sqrt{\frac{E}{\rho}\frac{1}{2(1+\sigma)}} \tag{3.1}$$

$$\gamma = \frac{v_P}{v_S} = \sqrt{\frac{2(1-\sigma)}{1-2\sigma}} \geq \sqrt{2}$$

2. Создать сеть широтных(Ш) и меридиональных (М) профилей. Широтные профили ориентировать с запада на восток, меридиональные — с юга на север. Параметры каждого профиля: Длина L = 1000 м, шаг приёма $\Delta X_{ПП}$ = 100 м. Начало координат (X = 0 м; Y = 0 м) расположить в левом нижнем углу. Первый широтный (1–Ш) и первый меридиональный (1–М) провести от начала координат, остальные с шагом в 500 м.
3. Используя программу **Field** или расчётом определить времена вступления на 6 профилях для продольных и поперечных волн. Пересечь полученное поле времён продольной волны двумя линиями, с длиной не менее 1000 м и построить два годографа — продольный и непродольный. Повторить для поперечных волн.
4. Определить кажущие скорости по годографам. Сделать вывод о том, когда кажущаяся скорость V^* равна истинной V.

Лабораторная работа №3 «Поле времён и годографы» по дисциплине «Сейсморазведка»

Вариант №1
Выполнил: студент группы РФ-19-1, Иванов И.И.
Проверил: доцент кафедры геофизики МГРИ-РГГРУ, Романов В.В.
Дано: E = 15.5 ГПа, σ = 0,29; ρ=2,09 г/см^3.

V_P = 3120 м/с; V_S = 1700 м/с; γ = 1,84

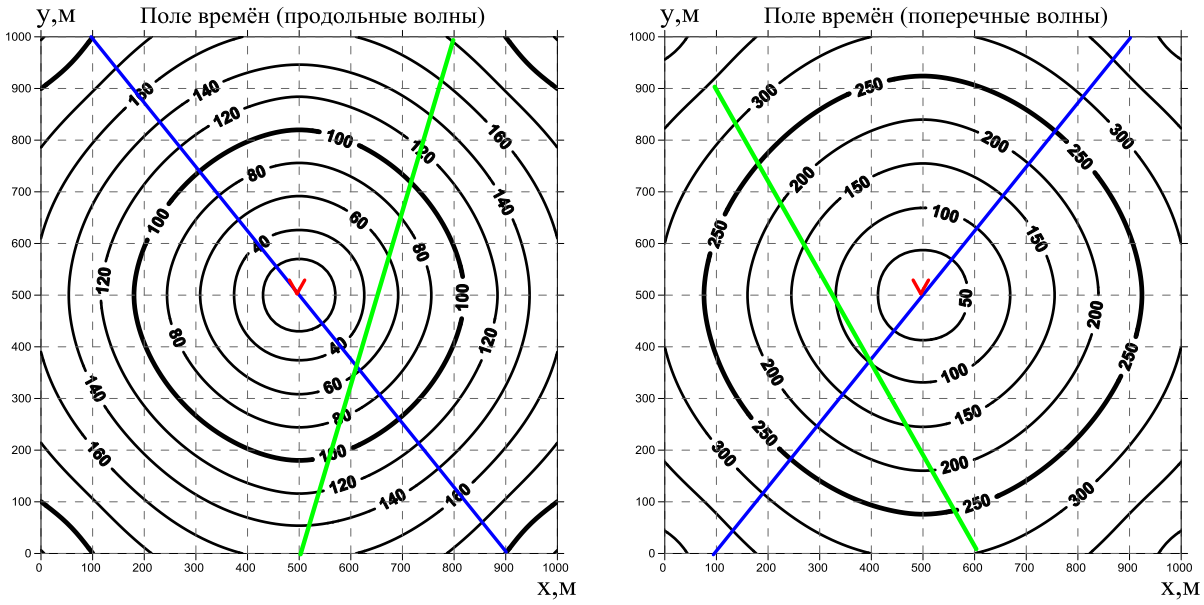
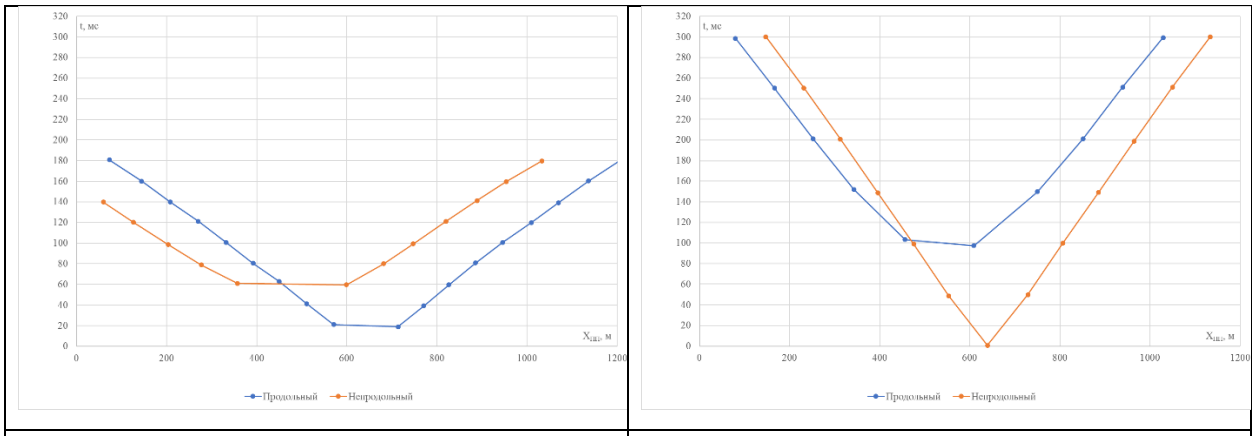


Рис. 1 Поля времён продольных и поперечных волн



V* (непрод.)= 3600 м/с ; V* (прод.)= 3120 м/с	**V* (непрод.)= 1920 м/с ; V* (прод.)= 1610 м/с**

Рис. 2 Годографы продольных (слева) и поперечных (справа) волн

4. Годографы волн в среде с одной наклонной границей

Дано

Неоднородная среда, состоящая из покрывающей толщи скоростью V_1 и подстилающих пород со скоростью V_2. Слои модели разделяет плоская наклонная граница с глубиной H_1 в пункте X = 2000 м сейсморазведочного профиля и углом наклона φ.

Задание

Вычислить и построить годографы прямой, отражённой и преломлённой волн. Для расчётов использовать расстановку приёмников длиной L = 4000 м, шаг приёма $\Delta X_{ПП}$ = 200 м, пункт возбуждения расположить в пункте $X_{ПВ}$ = 2000 м.

Варианты заданий

Вариант	V_1, м/с	V_2, м/с	H_1, м	φ,°
1	1980	4750	460	-6
2	2590	6060	390	4
3	2270	5310	430	-5
4	2250	4950	450	4
5	2150	4820	450	-1
6	2350	5550	400	3
7	2310	5750	370	5
8	1900	4480	410	-4
9	2010	4800	470	6
10	2350	5760	470	4
11	1900	4370	390	-4
12	1790	4530	410	-4
13	1730	4330	380	6
14	2220	5710	380	3
15	2560	5710	480	-6
16	1840	4310	480	1
17	2440	6080	480	-4
18	1900	4260	390	3
19	2010	5050	390	-2
20	2080	4830	440	4
21	2220	4970	420	-1
22	1780	4080	380	5
23	2220	4910	400	-6
24	2170	5230	390	4
25	2520	6350	450	4

26	2510	5900	410	3
27	2530	5520	450	6
28	2060	4940	470	6
29	1840	4530	390	-3
30	2500	5800	410	3
31	2570	5650	380	5
32	2230	4860	370	1
33	2150	5420	450	-1
34	2000	5160	380	2
35	1970	4750	470	6
36	1840	4400	470	-3
37	2600	6370	440	4
38	1940	5010	400	-5
39	1990	4680	430	6
40	1970	4810	460	5

Ход решения

1. Вычислить для каждого пункта профиля дистанцию *d*[м] и удаление *l*[м] (4.1).

$$d = \mathrm{X}_{\text{ПП}} - \mathrm{X}_{\text{ПВ}} \quad l = |d| \tag{4.1}$$

2. Рассчитать и построить годограф прямой волны (4.2).

$$t = \frac{l}{V_1} \tag{4.2.}$$

3. Вычислить **время нормального отражения (*t*–нулевое) t_0[мс]**. Рассчитать и построить годограф отражённой волны (4.3).

$$t_0 = \frac{2H_1}{V_1};\ t = \sqrt{\left(\frac{l}{V_1}\right)^2 + t_0^2\left(1 - \frac{d\sin\varphi}{H_1}\right)} \tag{4.3.}$$

4. Вычислить **критический угол *i***[рад], ***t*–нулевое фиктивное *t'*$_0$ [мс],** удаления **начальной точки $l_{\text{Н}}^{+/-}$[м]** (4.4). Рассчитать и построить годограф преломлённой волны для удалений $l \geq l_{\text{Н}}$ (4.5). Выделить **годограф первых вступлений**, указать положение **точек излома**.

$$i = \arcsin\frac{V_1}{V_2};\ t_0' = t_0\cos i \tag{4.4}$$

$$t = t_0' + \frac{l}{V_1}\sin(i - sgn(d)\cdot\varphi\ ) \tag{4.5}$$

$$l_{\text{Н}} = \frac{2H_1\sin\varphi}{\cos(i - sgn(d)\cdot\varphi)}$$

Лабораторная работа №4 «Годографы волн в среде с одной наклонной границей» по дисциплине «Сейсморазведка»

Вариант №1
Выполнил: студент группы РФ-19-1, Иванов И.И.
Проверил: доцент кафедры геофизики МГРИ-РГГРУ, Романов В.В.
Дано: V_1 = 1820 м/с; V_2 = 4020 м/с; H_1 = 390 м;

t_0 = 428 мс; i = 0,470 рад (27°); t_0'=382 мс; l_H^+ = 1580 м; l_H^- = 2350 м

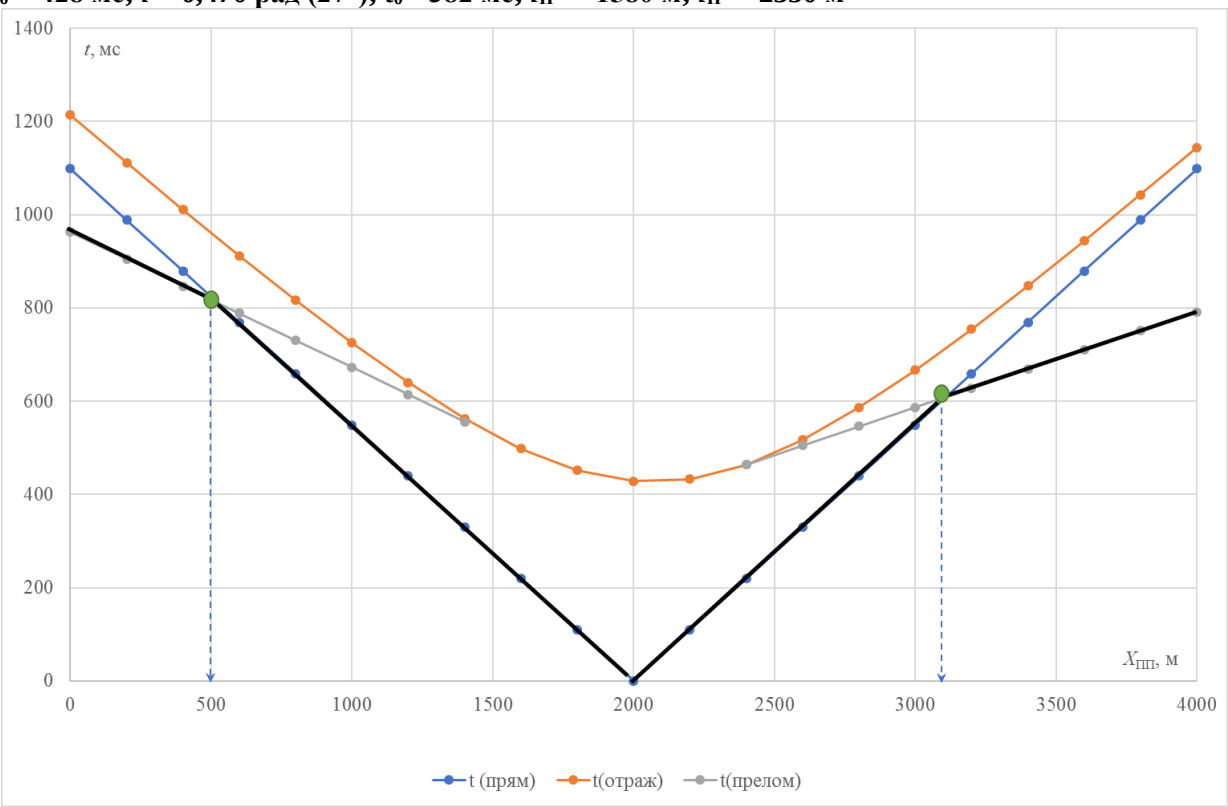


Рис. 1 Годографы прямой, преломлённой и отражённой волн. Выделен годограф первых вступлений, стрелками показаны удаления точек излома $l_И$

5. Прямая рефрагированная волна

Дано

Градиентная среда с линейным скоростным законом, заданным начальной скоростью V_0 и абсолютным градиентом скорости α.

Задание

Построить годограф прямой рефрагированной волны и семейство её лучей.

Варианты заданий

Вариант	V_0, м/с	α, с$^{-1}$
1	320	55
2	340	46
3	370	52
4	330	56
5	530	55
6	460	40
7	330	50
8	380	53
9	460	42
10	330	45
11	410	47
12	370	58
13	460	58
14	470	44
15	320	57
16	330	51
17	520	57
18	400	44
19	370	50
20	410	42
21	500	57
22	520	54
23	380	59
24	380	45
25	340	47
26	360	50
27	470	44
28	330	56
29	550	59
30	360	43
31	520	56

32	380	44
33	550	53
34	340	42
35	450	55
36	310	53
37	330	56
38	410	45
39	500	59
40	520	41

Ход решения

1. Рассчитать относительный градиент скорости β (5.1).

$$\beta = \frac{\alpha}{V_0} \tag{5.1}$$

2. Изменяя глубину проникновения z_j от 1 до 30 м найти соответствующие параметры луча p_j по (5.2).

$$p_j = \frac{1}{V_0(z_j\beta+1)} \tag{5.2}$$

3. Определить значения истинной скорости V_i с глубиной для z_i от 0 до 30 м с шагом Δz = 1 м, i = 0, 1, 2 …31 (5.3).

$$V_i = V_0 + \alpha \cdot z_i = V_0 + \alpha \cdot \Delta z \cdot i \tag{5.3}$$

4. Координаты x_j и t_j годографа рефрагированной волны рассчитать по (5.4).

$$x_j = 2\Delta z \sum_{i=0}^{n} \frac{p_j V_i}{\sqrt{1-(p_j V_i)^2}} \tag{5.4}$$

$$t_j = 2\Delta z \sum_{i=0}^{n} \frac{1}{V_i\sqrt{1-(p_j V_i)^2}}$$

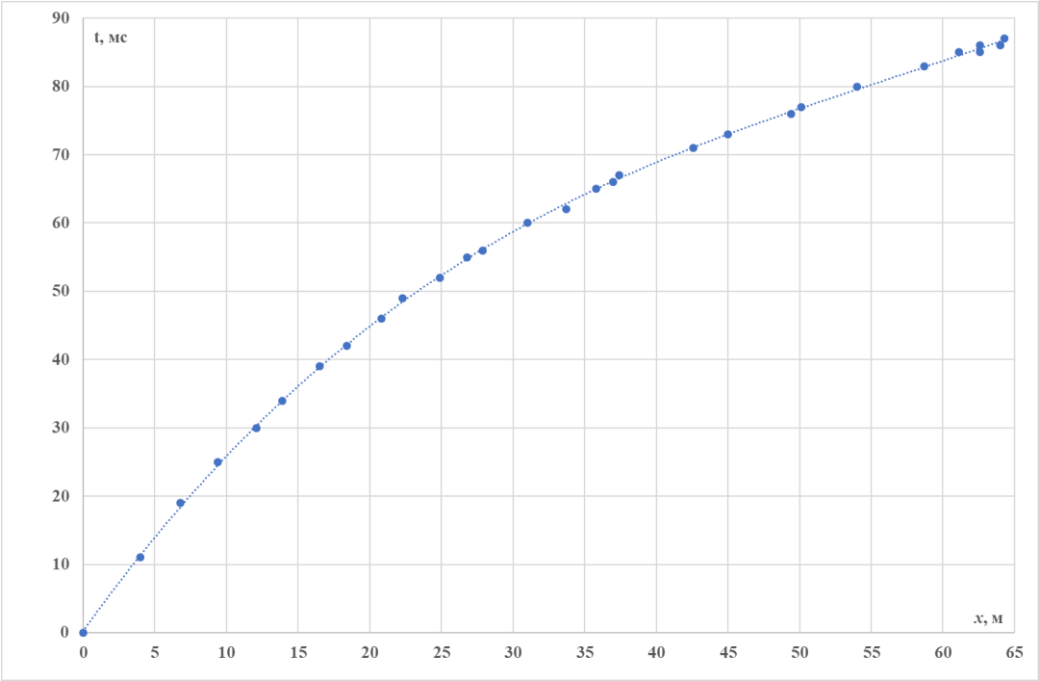
, n — номер значения глубины, когда котором z_i=z_j при данном параметре луча p_j.

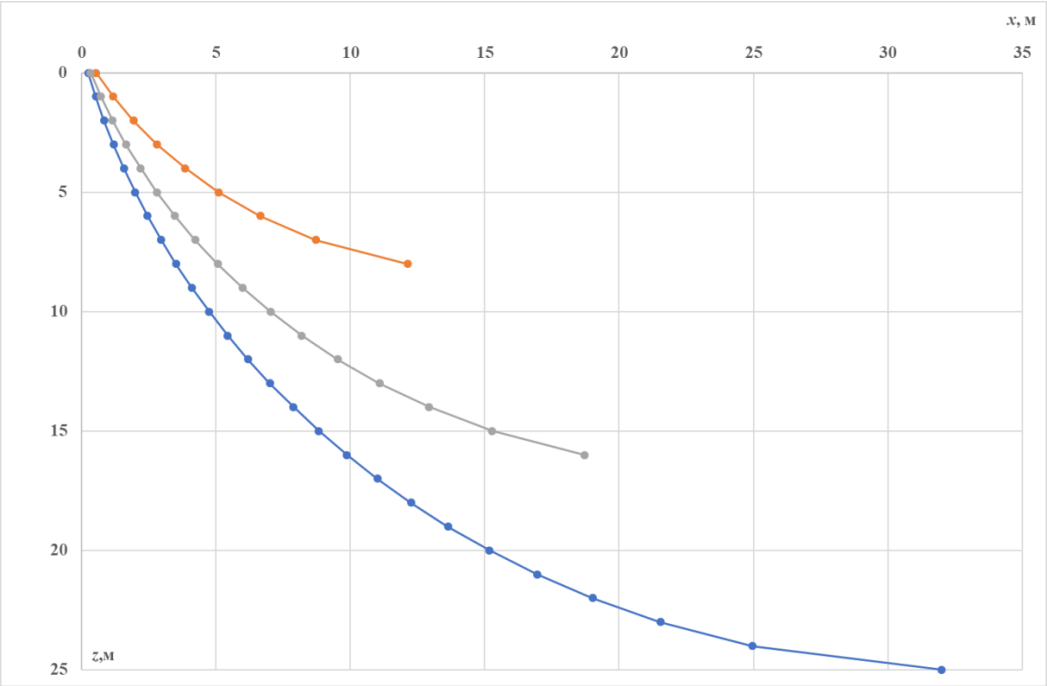
5. По парам значений x_j, t_j построить годограф прямой рефрагированной волны.
6. Для трёх произвольных p построить траектории лучей прямой рефрагированной волны от источника до глубины проникновения.

Образец оформления

Лабораторная работа №5 «Прямая рефрагированная волна в градиентной среде» по дисциплине «Сейсморазведка»

Вариант №1
Выполнил: студент группы РФ-19-1, Иванов И.И.
Проверил: доцент кафедры геофизики МГРИ-РГГРУ, Романов В.В.
Дано: V_0= 400 м/с; α= 50 с$^{-1}$;





6. Амплитуды отражённых волны в многослойной среде

Дано

Многослойная слоисто-однородная среда с горизонтальными границами, состоящая из 3 слоёв и подстилающего полупространства. Элементы модели характеризуются пластовой скоростью продольных волн V_i, плотностью ρ_i и мощностью h_i (кроме полупространства). Среда неидеально-упругая, декремент поглощения ϑ = 0,03. Импульсный источник генерирует волну с амплитудой U_0 = 100 000 мкм/с и частотой f = 40 Гц.

Задание

1. Построить модель среды и лучевые схемы отражённых волн с кодами 1, 2, 3, 101, 202, 303;
2. Вычислить и построить амплитудный график $U_{max} = f(t_0)$ для отраженных волн.

Варианты заданий

Вариант	h_1, м	V_1, м/с	h_2, м	V_2, м/с	h_3, м	V_3, м/с	V_4, м/с
1	320	3970	50	2730	360	4450	5900
2	270	3200	30	2790	350	4330	5900
3	330	3200	50	2710	410	4670	5500
4	400	3850	30	2780	450	4200	6000
5	400	3390	30	2660	470	4340	5800
6	280	3310	40	2790	350	4580	5600
7	270	4040	30	2790	450	4320	5500
8	290	3330	40	2460	530	4670	6400
9	340	3940	50	2660	360	4480	5600
10	260	3870	40	2730	480	4600	5500
11	380	3190	30	2760	530	4380	5500
12	310	3790	30	2730	550	4420	6400
13	300	3480	20	2690	350	4350	6400
14	350	3240	50	2660	360	4500	6500
15	330	4050	20	2680	450	4630	6200
16	410	3390	50	2530	500	4280	5500
17	290	3610	40	2650	450	4480	6500
18	290	3710	20	2860	470	4560	6300
19	340	3760	40	2710	510	4620	5600
20	250	3120	30	2840	500	4670	5800
21	440	3530	30	2410	520	4410	6500

22	260	3090	20	2820	350	4410	6200
23	380	3890	20	2700	350	4320	6400
24	310	3380	40	2470	520	4310	6100
25	400	3720	50	2840	510	4560	6000
26	370	4070	50	2820	430	4520	5600
27	320	3890	30	2650	370	4260	5900
28	420	3650	30	2410	500	4200	6400
29	440	3180	20	2870	550	4450	6100
30	380	3650	20	2830	500	4690	5800
31	390	3210	40	2670	480	4420	6100
32	310	3850	50	2770	520	4280	6000
33	250	3890	20	2510	370	4260	6100
34	330	4020	30	2830	430	4340	6100
35	310	3640	20	2620	410	4520	6300
36	350	3430	40	2430	420	4400	6100
37	330	3530	30	2610	360	4590	6300
38	290	3570	20	2480	360	4600	6300
39	270	3910	20	2560	540	4640	5900
40	450	3060	50	2560	340	4620	5700

Ход решения

1. Определить глубину H каждой отражающей границы (6.1).

$$H_m = \sum_{i=1}^{m} h_i \tag{6.1}$$

, где i — номер слоя, m — номер границы.

2. Построить модель среды и лучевые схемы отражённых волн 1, 2, 3, 101, 202, 303;

3. Вычислить пройденные пути r однократно-отражённых (k) и двукратно-отражённых ($m0m$) волн, полагая, что они распространяются по нормали к границам модели (6.2).

$$r_m = 2H_m \tag{6.2}$$

$$r_{m0m} = 4H_m$$

4. Рассчитать предельную эффективную скорость $V_{Эk}$ каждой границы (6.3). У однократно и двукратно-отраженных волн, образованных на одной и той же границе m, предельные эффективные скорости совпадают.

$$V_{Э_m} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m} h_i V_i}{\sum_{i=1}^{m} \frac{h_i}{V_i}}} \tag{6.3}$$

5. Рассчитать среднюю скорость V_{CPm} для всех границ (6.4). У однократно и двукратно-отраженных волн, образованных на одной и той же границе m, средние скорости совпадают.

$$V_{CP_m} = \frac{\sum_{i=1}^{m} h_i V_i}{H_m} \tag{6.4}$$

6. Используя уравнение Гарднера определить плотности слоёв модели (6.5)

$$\rho_i[\text{кг/м}^3] = 309 \cdot V_i^{0,25} \tag{6.5}$$

7. Рассчитать пластовые α_i и эффективные $\bar{\alpha}_m$ коэффициенты поглощения (6.6). У однократно и двукратно-отраженных волн, образованных на одной и той же границе m, эффективные коэффициенты поглощения совпадают.

$$\alpha_i = \frac{\vartheta}{V_i} f \tag{6.6}$$

$$\bar{\alpha}_m = \frac{\sum_{i=1}^{m} \alpha_i}{H_k}$$

8. Рассчитать акустические жёсткости γ_i слоёв, граничные K_m и эффективные $\bar{K}_m$ коэффициенты отражения (6.7). Эффективные коэффициенты отражения определяются по (6.8).

$$\gamma_i = V_i \rho_i \tag{6.7}$$

$$K_m = \frac{\gamma_m - \gamma_{m+1}}{\gamma_m + \gamma_{m+1}}$$

$$\bar{K}_m = K_m \tag{6.8}$$

$$\bar{K}_{m0m} = -K_m^2$$

9. Рассчитать граничные D_m и эффективные $\bar{D}_m$ коэффициенты двойного прохождения (6.9). Эффективные коэффициенты двойного прохождения определяются по (6.10).

$$D_1 = 1 \tag{6.9}$$

$$D_k = 1 - K_{k-1}^2; k > 1$$

$$\bar{D}_m = \prod_{k=1}^{m} D_k \tag{6.10}$$

$$\bar{D}_{m0m} = \prod_{k=1}^{m} D_k^2$$

, где k — номера границ покрывающей толщи.

10. Найти времена нормального отражения t_0 для всех волн.

$$t_0 = \frac{2r}{V_{\text{СР}}} \tag{6.11}$$

11. Вычислить амплитуды всех отражённых волн U_{MAX} (6.12) с учётом геометрического расхождения A, поглощения B, отражения K и прохождения D.

$$U_{MAX} = U_0 \cdot A \cdot B \cdot K \cdot D \tag{6.12}$$

$$A = \frac{1}{r};\ B = e^{-\bar{\alpha} r}; K = \bar{K}; D = \bar{D}$$

12. Построить амплитудный график $U_{max} = f(t_0)$ по найденным значениям (рис 6.1).

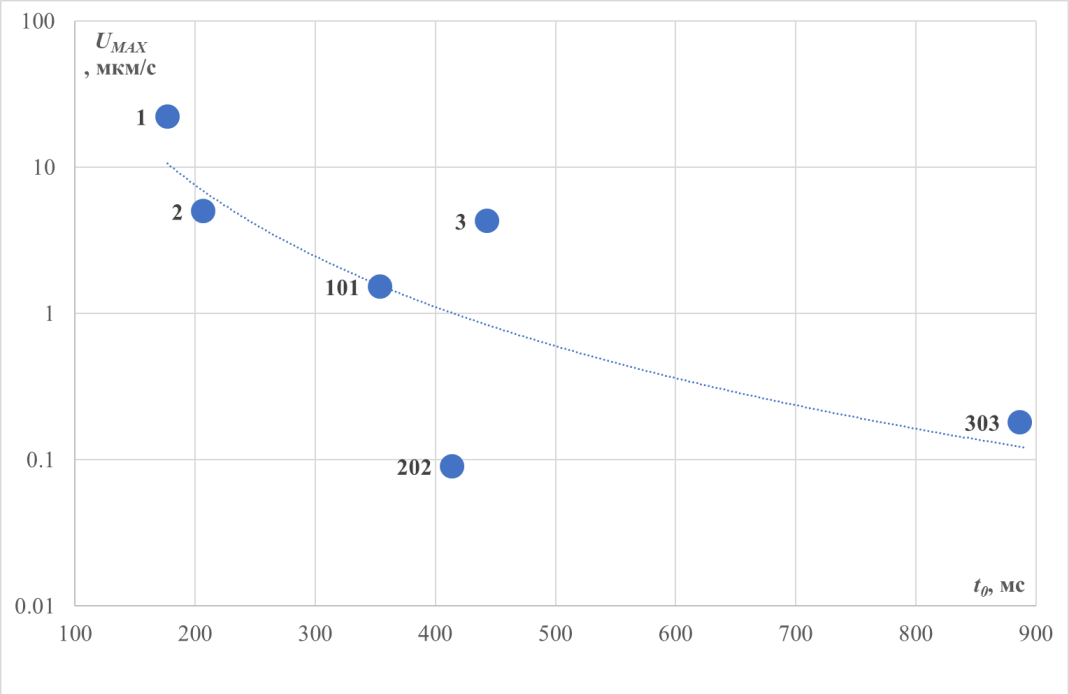


Рис 6.1 Пример оформления амплитудного графика

Образец оформления

Лабораторная работа №6 «Отражённые волны в многослойной среде» по дисциплине «Сейсморазведка»

Вариант №1
Выполнил: студент группы РФ-19-1, Иванов И.И.
Проверил: доцент кафедры геофизики МГРИ-РГГРУ, Романов В.В.
Дано:

h_1, м	V_1,м/с	h_2,м	V_2 ,м	h_3,м	V_3,м/с	V_4, м/с
310	3500	40	2660	530	4490	6300

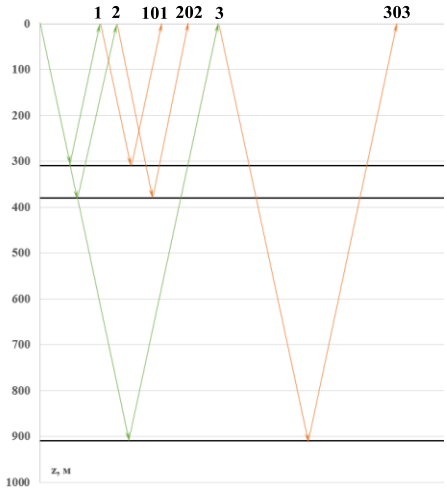


Рис 1. Сейсмогеологическая модель

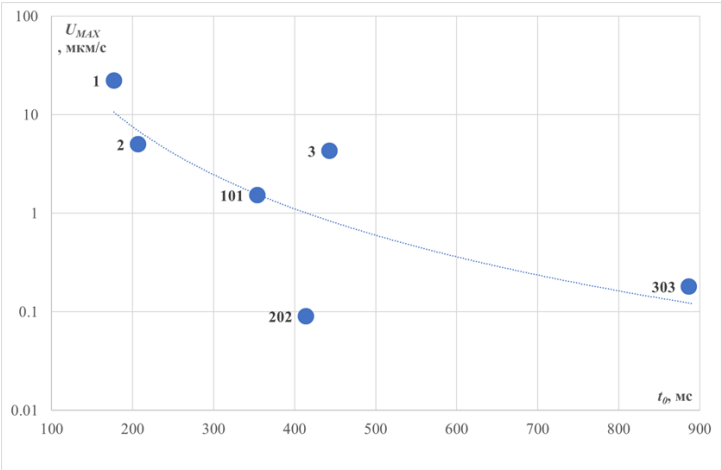


Рис 2. Амплитудный график

Таблица 1 Параметры сейсмогеологической модели

Номер	*H*, м	$V_{СР}$, м/с	$V_Э$, м/с	$\alpha_Э$, мкм$^{-1}$
1	310	3500	3500	343
2	350	3380	3390	3108
3	880	3970	4010	502

Таблица 2 Параметры сейсмических волн

Код	t_0, мс	K	D	A, 10^{-4}	B, 10^{-2}	U_{MAX}, мкм/с
1	177	0.17	1.00	16	81	22.16
2	207	-0.32	0.97	14	11	-4.98
3	443	-0.21	0.87	6	41	-4.28
101	354	0.03	1.00	8	65	-1.52
202	414	0.10	0.94	7	1	-0.09
303	887	0.04	0.76	3	17	-0.18

Контрольные вопросы

Теория упругости

1. Упругость.
2. Виды деформаций.
3. Виды напряжений.
4. Дилатация и давление.
5. Модуль Юнга. Коэффициент Пуассона.
6. Модуль сдвига. Модуль всестороннего сжатия.
7. Закон Гука. Константы Ламе.

Импульс сейсмической волны

1. Свойства импульсного источника.
2. Причины колебательного движения частиц.
3. Вектор смещения. Скорость и ускорение колебательного движения.
4. Фазы и полярность импульса. Амплитуда, циклическая и круговая частота, период.
5. Импульс Берлаге.
6. Прямое преобразование Фурье. Параметры гармоники.
7. Амплитудный и фазовый спектр. Параметры амплитудного спектра.
8. Обратное преобразование Фурье.

Поле времён и годограф волны

1. Фронт и тыл волны. Принцип Гюйгенса-Френеля.
2. Луч. Принцип Ферма.
3. Сферическая и плоская волна.
4. Поле времён. Изохроны.
5. Сейсморазведочный профиль. Пункты. Удаление и дистанция.
6. Годограф. Продольный и непродольный годограф. Кажущаяся скорость. Закон Бендорфа.
7. Продольные волны. Поперечные волны.

Годографы волн в среде с одной наклонной границей

1. Годограф отражённой волны для горизонтальной границы. Время нормального отражения.
2. Годограф преломлённой волны для горизонтальной границы. t_0'. Начальная точка годографа преломлённой волны. Годограф первых вступлений. Удаление 1-ой точки излома годографа первых вступлений.
3. Годограф отражённой волны для наклонной границы. Эхо-глубина. Мнимый источник.
4. Годограф преломлённой волны для наклонной границы. Условие существование ветви годографа преломлённой волны.
5. Начальные точки годографа преломлённой волны в случае наклонной границы.

Прямая рефрагированная волна

1. Абсолютный и относительный градиент скорости. Линейный скоростной закон.
2. Параметр луча. Форма луча волны в градиентной среде.
3. Параметрическое уравнение годографа прямой рефрагированной волны.
4. Форма годографа прямой рефрагированной волны. Связь угла входа с удалением пункта приёма.

Отражённые волны в многослойной среде

1. Модель среды с неоднородной покрывающей толщей. Кратные отражённые волны.
2. Средняя, эффективная и предельная эффективная скорость.
3. Геометрическое расхождение. Показатель расхождения.
4. Поглощение. Коэффициент, параметр и декремент поглощения.
5. Пластовый и эффективный коэффициент поглощения.
6. Отражение и прохождение. Граничные и эффективные коэффициенты.

Список рекомендуемой литературы

1. Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка. — Тверь, АИС, 2006.
2. Кауфман А.А., Лёвшин А.А. Введение в теорию геофизических методов. Часть 3. Акустические и упругие волновые поля в геофизике. — М., Недра, 2001.
3. Романов В.В. Физико-геологические основы сейсморазведки. Лабораторный практикум / МГРИ-РГГРУ. Москва, 2015.
4. Романов В.В. Физические основы сейсморазведки. Лабораторный практикум по курсу сейсморазведки / Романов В.В. Москва, 2010. Том ч. 1 Физические основы
5. Романов В.В., Посеренин А.И., Мальский К.С. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебное пособие /Москва, 2015.
6. Сейсморазведка. Справочник геофизика. В двух книгах / Под ред. В.П. Номоконова. — М., Недра, 1990.

Содержание

ОФОРМЛЕНИЕ РАБОТ **3**

1. ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ **6**

2. ИМПУЛЬС СЕЙСМИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ **9**

3. ПОЛЕ ВРЕМЁН И ГОДОГРАФ ВОЛНЫ **14**

4. ГОДОГРАФЫ ВОЛН В СРЕДЕ С ОДНОЙ НАКЛОННОЙ ГРАНИЦЕЙ **17**

5. ПРЯМАЯ РЕФРАГИРОВАННАЯ ВОЛНА **20**

6. АМПЛИТУДЫ ОТРАЖЁННЫХ ВОЛНЫ В МНОГОСЛОЙНОЙ СРЕДЕ **23**

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ **28**