

# Сейсморазведка

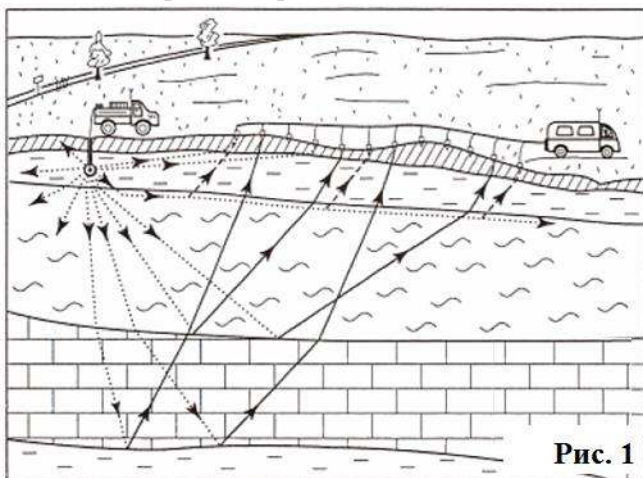
## Условие

### Задача 11- 3. «Сейсморазведка»

В Беларуси нефть добывают с глубин более 2 км. Как правило, нефтеносные пласты залегают среди пластов соли. А задумывались ли вы о том, как можно вести поиск полезных ископаемых на таких глубинах?

Для разведки используют различные физические методы.

Одним из важнейших из них является сейсморазведка – исследование структуры залегания пластов различных пород с помощью упругих сейсмических (акустических) волн. Схема проведения таких исследований показана на рис. 1. На небольшой глубине производят взрыв, возбуждаемые им упругие волны распространяются вглубь Земли, преломляются на границах пластов, отражаются от них и регистрируются рядом приемников. Полученные сигналы (сейсмограммы) затем анализируются. Отметим, что расшифровка полученных данных и восстановление по ним границ пластов является очень сложной проблемой. Поэтому в данной задаче рассматривается только несколько простейших примеров анализа сейсмограмм.



## Рекомендации по решению задачи.

Во всех частях задачи исходные данные заданы в форме таблиц, в которых приведены расстояния  $L_k$  от места взрыва (точка  $E$ ) до регистрирующего пункта  $R_k$  и времена прихода сигналов в этот пункт  $t_k$ .

Все регистрирующие пункты находятся на одной прямой, поверхность земли считать горизонтальной.

Результаты измерений времен имеют некоторую погрешность. Поэтому рекомендуем все части решать приближенными графическими методами.

В каждой части можно найти некоторые величины  $Y_k$  и  $X_k$ , (которые выражаются через исходные данные  $L_k$  и  $t_k$  и другие известные величины), связь между которыми оказывается линейной  $Y = aX + b$ . Вам необходимо найти такие преобразования, построить график линеаризованной зависимости и по его параметрам определить требуемые величины.

### Часть 1. Одна плоская горизонтальная граница.

В данной части рассматривается следующая модель. Имеется толстый соляной пласт толщиной  $h$ , ниже которого горизонтально располагается граница нефтеносного пласта (рис. 2). Влиянием приповерхностных слоев можно пренебречь, поэтому можно считать, что взрыв проводится практически на поверхности в точке  $E$ . На всех сейсмограммах выделен сигнал, соответствующий волне, отраженной от нижней границы соляного пласта.

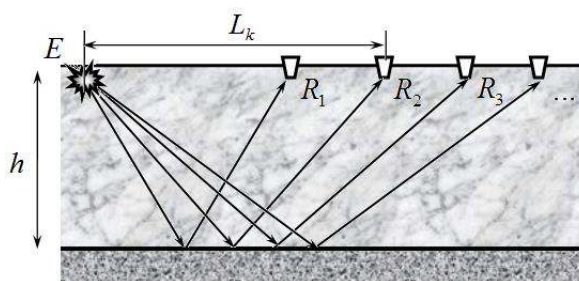


Рис. 2

В таблице 1 приведены расстояния  $L_k$  и времена прихода  $t_k$  (после взрыва) на приемный пункт  $R_k$  волны, отраженной от нижней границы соляного пласта.

**Таблица 1.**

|            |      |      |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| $L_k$ , км | 0,80 | 1,50 | 2,30 | 3,70 | 4,20 | 5,30 |
| $t_k$ , с  | 1,11 | 1,13 | 1,18 | 1,35 | 1,43 | 1,59 |

1.1 Получите формулу для времени прихода волны  $t_k$  в зависимости от расстояния  $L_k$ , толщины пласта  $h$  и скорости волны  $c$ .

1.2 Укажите для каких величин  $Y$ ,  $X$  зависимость между ними будет линейной и позволит вам найти толщину пласта и скорость волны в нем. Постройте график этой зависимости  $Y(X)$ .

1.3 Используя все приведенные данные, определите глубину залегания нижней границы пласта  $h$  и скорость волны в соли  $c$ .

### **Часть 2. Одна плоская наклонная граница.**

В данной части нижняя граница соляного пласта плоская, но наклонена под некоторым углом  $\alpha$  к горизонту (рис. 3).

Не зависимо от найденного в Части 1 значения, считайте, что скорость сейсмической волны в соли равна

$$c = 4,50 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

В таблице 2 приведены расстояния  $L_k$  и времена прихода  $t_k$  (после взрыва) на приемный пункт  $R_k$  волны, отраженной от нижней границы соляного пласта.

**Таблица 2.**

|            |      |      |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| $L_k$ , км | 0,60 | 1,10 | 2,00 | 2,60 | 3,30 | 3,90 |
| $t_k$ , с  | 0,95 | 0,93 | 0,95 | 0,98 | 1,03 | 1,09 |

2.1 Получите формулу для времени прихода волны  $t_k$  в зависимости от расстояния  $L_k$ , толщины пласта  $h$  под точкой взрыва, угла наклона пласта  $\alpha$  и скорости волны  $c$ .

2.2 Укажите для каких величин  $Y$ ,  $X$  зависимость между ними будет линейной и позволит рассчитать расстояние до пласта и угол его наклона. Постройте график этой зависимости  $Y(X)$ .

2.3 Используя все приведенные данные, определите глубину залегания нижней границы пласта под точкой взрыва  $h$  и угол наклона нижней границы соляного пласта  $\alpha$ .

### **Часть 3. Промежуточный нефтеносный пласт.**

Более тщательный анализ показал, что в сейсмограммах, рассмотренных в Части 1, после сигнала, соответствующему отражению от нижней границы соляного пласта, зарегистрирован сигнал, соответствующий отражению от нижней границы следующего узкого пласта, который может содержать нефть. В Таблице 3 приведены значения интервалов времен  $\tau_k$  (в миллисекундах) между приходами волн, отраженных от верхней и нижней границ узкого

пласта. Первые две строки повторяют таблицу 1, поэтому можете воспользоваться результатами, полученными в части 1.

При пересечении границы для сейсмических волн справедлив закон преломления

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_1} = \frac{c}{c_1} = n.$$

Таблица 3.

|             |      |      |      |      |      |      |
|-------------|------|------|------|------|------|------|
| $L_k$ , км  | 0,80 | 1,50 | 2,30 | 3,70 | 4,20 | 5,30 |
| $t_k$ , с   | 1,11 | 1,13 | 1,18 | 1,35 | 1,43 | 1,59 |
| $\tau$ , мс | 74   | 73   | 71   | 67   | 66   | 64   |

Малость времен задержки свидетельствуют о том, что толщина нижнего пласта  $h_1$  мала по сравнению с толщиной соляного пласта  $h$ . В этом случае для расчета времени задержки между сигналами можно воспользоваться разумным приближением.

Обозначим скорость волны в нижнем пласте  $c_1$ . Отношение скоростей волн в соли  $c$  и рассматриваемом пласте  $c_1$  называется относительным показателем преломления  $\frac{c}{c_1} = n$ .

При пересечении границы для сейсмических волн справедлив закон преломления

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_1} = \frac{c}{c_1} = n.$$

Пусть волна падает на границу раздела под углом  $\alpha$  к нормали к поверхности раздела. На рис. 5 изображен ход лучей, отраженных от верхней и нижней границ нефтеносного пласта. Пунктиром изображен луч 1-2' реально направленный на приемник, можно считать, что он параллелен лучу 4-5 (т.е. он совпадает с лучом 1-2)

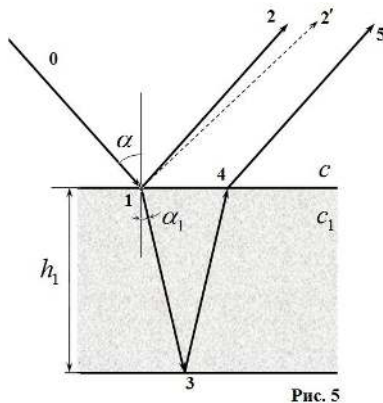


Рис. 5

3.1 Рассчитайте разность времен прихода волн  $\tau_k$ , отраженных от верхней и нижней границ рассматриваемого пласта. Выразите ответ через толщину пласта, угол падения на верхнюю границу  $\alpha$ , показатель преломления  $n$  и скорость волны в соли  $c$ .

3.2 Укажите для каких величин  $Y$ ,  $X$  зависимость между ними будет линейной и позволит рассчитать толщину пласта и его относительный показатель преломления. Постройте график этой зависимости  $Y(X)$ .

3.3 Используя все данные таблицы 3, рассчитайте толщину пласта  $h_1$ , относительный показатель преломления пласта  $n$  и скорость сейсмической волны в нем.

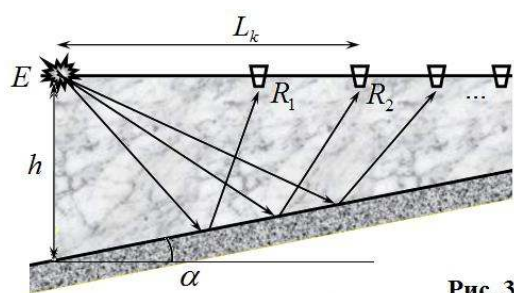


Рис. 3

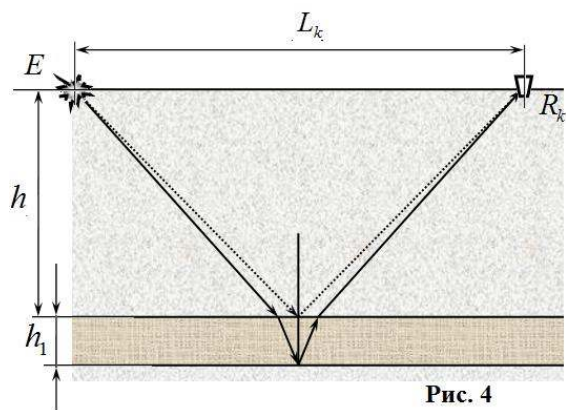


Рис. 4