

Лекция 09. Годограф ОСТ. Сейсморегистрирующий канал – назначение и реализация.

Годограф отражённой волны ОСТ

Зададим модель с плоской наклонной отражающей границей, характеризующейся эхо-глубиной h_s в точке источника и углом падения φ . Начало координат отнесём к точке M , расположенной ровно посередине между источником и приёмником (рис. 1).

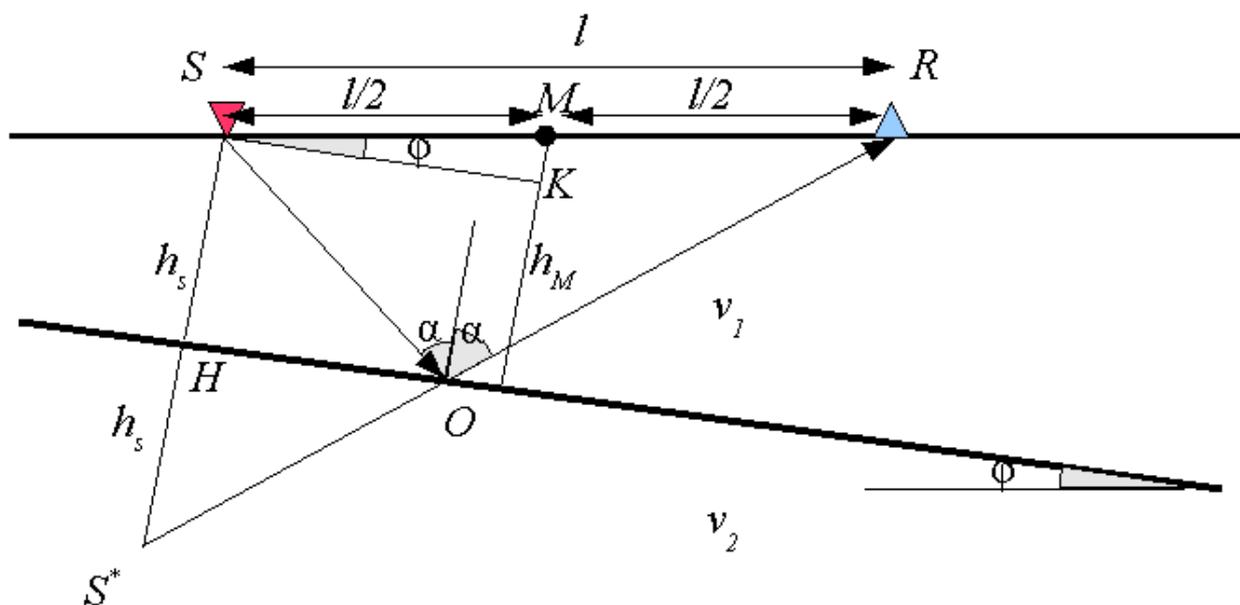


Рис. 1. Модель

Перепишем известное уравнение годографа отражённой волны ОПВ:

$$t = \frac{1}{v} \cdot \sqrt{4h_s^2 + 4h_s l \sin \varphi + l^2} \quad (1)$$

используя значение эхо-глубины границы, определённое в точке M – h_M .

Из ΔSMK : $\angle SKM = \frac{\pi}{2}$, $\angle MKS = \varphi$, $SM = l/2$ по определению модели. Следовательно,

$MK = SM \cdot \sin \varphi = \frac{l}{2} \sin \varphi$. Но, как очевидно из рисунка, $h_M = h_s + MK$. Отсюда

$h_s = h_M - \frac{l}{2} \sin \varphi$. Подставив полученное выражение в (1), найдём:

$$t = \frac{1}{v} \cdot \sqrt{4h_M^2 + l^2 \cdot \cos^2 \varphi} \quad (2)$$

Формула (2) показывает, что годограф отражённой волны на сейсмограмме ОСТ имеет форму гиперболы, симметричной относительно средней точки М вне зависимости от угла наклона границы.

Формулу (2) часто записывают и в другом виде:

$$t = \frac{1}{v} \cdot \sqrt{t_0^2 + \frac{l^2}{v_{ОСТ}^2}} \quad (3)$$

где $t_0 = \frac{2 \cdot h_M}{v}$ и $v_{ОСТ} = \frac{v}{\cos \varphi}$.

Параметр $v_{ОСТ}$ называется скоростью ОСТ. Хотя скорость и угол наклона границы не связаны друг с другом, удобство использования этого параметра состоит в том, что входящие в него величины v и φ в соответствии с формулой (2) характеризуют кривизну гиперболического годографа отражённой волны.

При увеличении $v_{ОСТ}$ кривизна гиперболы уменьшается, а при уменьшении $v_{ОСТ}$ - увеличивается.

Поведение осей синфазности различных типов воли на сейсмограммах ОПВ и ОСТ при модели среды с постоянной скоростью приводит к следующим выводам (цит. по Ю.Н. Воскресенский «Построение сейсмических изображений», 2004):

- на сейсмограмме ОПВ годографы однократных, кратных отражённых и дифрагированных волн проявляются в виде гипербол, вершины которых на плоскости сейсмограммы (x, t) меняют место в зависимости от наклона границ или положения горизонтальных координат точек дифракции;
- на сейсмограммах ОСТ годографы этих волн проявляются также в виде гипербол, но все эти кривые симметричны относительно общей средней точки. Различие волн на сейсмограммах ОСТ выражается только в разной кривизне их годографов. Это является замечательным свойством сейсмограмм ОСТ;
- кривизны гиперболических годографов на сейсмограммах ОСТ различны. Годографы кратных волн, как правило, имеют большие кривизны, чем годографы однократно отражённых волн. Годографы дифрагированных волн имеют близкие кривизны с годографами однократных отражённых волн.

Идея метода ОСТ состоит в объединении трасс, относящихся к одной срединной (или глу-

бинной) точке, приведении годографов полезных волн этих трасс к горизонтальным линиям и последующем суммировании этих трасс. При обработке трасс подбирают такие временные сдвиги (называемые кинематическими поправками), чтобы гиперболические оси синфазности полезных волн каждой из трасс выпрямились и стали горизонтальными. В то же время оси синфазности кратных волн, обладающие большей кривизной, недоспрямяются. В процессе суммирования импульсы однократных отражённых и дифрагированных волн, складываясь в фазе, усиливаются, а импульсы волн, оси синфазности которых после ввода кинематических поправок остались криволинейными, суммируются не в фазе и ослабляются. Кроме того, происходит ослабление некоррелируемых помех, известно, что при кратности наблюдений F эти помехи после суммирования ослабляются в \sqrt{F} раз.

Совокупность суммарных трасс, образованных из последовательно расположенных по профилю сейсмограмм ОСТ называется временным разрезом ОСТ (ОГТ).

Замечание о терминах ОГТ и ОСТ

Под общей *средней* точкой понимают точку на поверхности земли, находящуюся на середине отрезка, соединяющего ПВ и ПП (рис. 2 а). Средняя точка является *общей* для ПВ и ПП, расположенных симметрично относительно неё на разных удалениях (рис. 2 б).

Сейсмограммой ОСТ называют такую сейсмограмму, которая содержит трассы, относящиеся к фиксированной средней точке профиля.

Под общей *глубинной* точкой (ОГТ) понимают точку (точнее, небольшой участок) на отражающей границе, которая является общей точкой отражения для всей совокупности трасс заданной сейсмограммы.

Проекция общей глубинной точки на линию профиля для горизонтально-слоистой среды всегда совпадает с серединой расстояния ПВ-ПП, то есть с ОСТ. При наклонном залегании сейсмических границ пространственное совпадение координат проекции ОГТ на линию профиля и ОСТ нарушается.

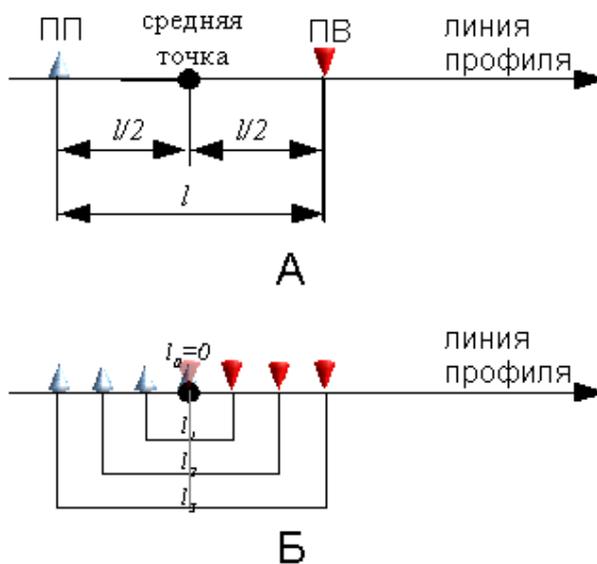


Рис. 2. Понятие ОСТ

Изначально метод, основанный на формировании подобных подборок, назывался «методом общей глубинной точки» (ОГТ); со временем, однако, название изменилось на «метод общей средней точки» (ОСТ), что вернее отражает как суть метода, так и используемые геометрические построения.

Сейсморегистрирующий канал

Сейсморегистрирующий канал представляет собой совокупность последовательно соединенных устройств, осуществляющих прием механических колебаний почвы, их преобразование в электрические колебания, усиление, преобразование и запись на носитель.

Канал состоит из сейсмоприёмника П, усилителя У, фильтров Ф, преобразователя «аналог-код» (также называемого аналогово-цифровым преобразователем) и регистрирующего устройства Р (рис. 3).

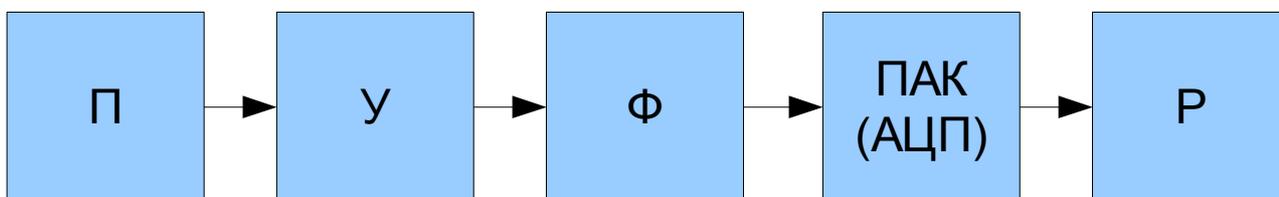


Рис. 3. Состав сейсморегистрирующего канала

Сейсмоприёмник, усилитель и фильтры образуют *аналоговую* часть канала; ПАК и регистратор – *цифровую*.

Рассмотрим назначение каждой из частей сейсморегистрирующего канала:

- **Сейсмоприёмник (П)** служит для преобразования значений скорости смещения частиц почвы в электрическое напряжение. В настоящее время наиболее распространены инерционные приемники, в которых применяется инерционный принцип измерения механического движения (рис. 4). Существуют также сейсмоприемники давления,

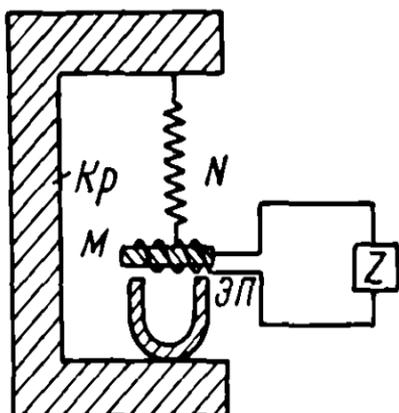


Рис. 4. Схема инерционного сейсмоприёмника (по кн. Гурвич, Боганик "Сейсморазведка", 1980 г.).

K_p – корпус приёмника
 M – инертная масса (груз)
 N – пружина
 ЭП – электромеханический преобразователь
 Z – электрическое сопротивление

При перемещении инертной массы относительно корпуса изменяется магнитный поток, проходящий через витки катушки, являющейся частью преобразователя. Магнитное поле создается постоянными магнитами, соединенными с корпусом прибора или с его инертной массой.

которые воспринимают изменения давления, происходящие при распространении упругой волны. От сейсмоприёмника электрические колебания передают по сейсмической косе в сейморазведочную станцию, где установлена регистрирующая аппаратура.

- **Усилитель (У)** служит для изменения уровня сигналов процедурами регулировки. Назначение усилителя – приведение (сокращение) естественного динамического диапазона сигнала к диапазону, соответствующему возможностям аппаратуры. Помимо этого, усилитель может обеспечивать повышение уровня сигналов, зарегистрированных на дальних по отношению к ПВ каналах.
- **Фильтры (Ф)** – производят аналоговую частотную фильтрацию колебаний. Наиболее часто в состав сейсморегирующего канала включаются *режекторный фильтр* для подавления промышленной помехи (50 или 60 Гц), а в обязательном порядке – *фильтр зеркальных частот* (антиалайсинг-фильтр).
- **Преобразователь «аналог-код» (ПАК)** осуществляет дискретизацию (оцифровку) сигнала для его записи на носители.

Дискретизация производится *по времени* (выборка отсчётов с заданным во времени шагом) и *по уровню* (измерение амплитуды выборки аналогового сигнала и представление измеренного значения в виде двоичного кода) - см. рис. 5.

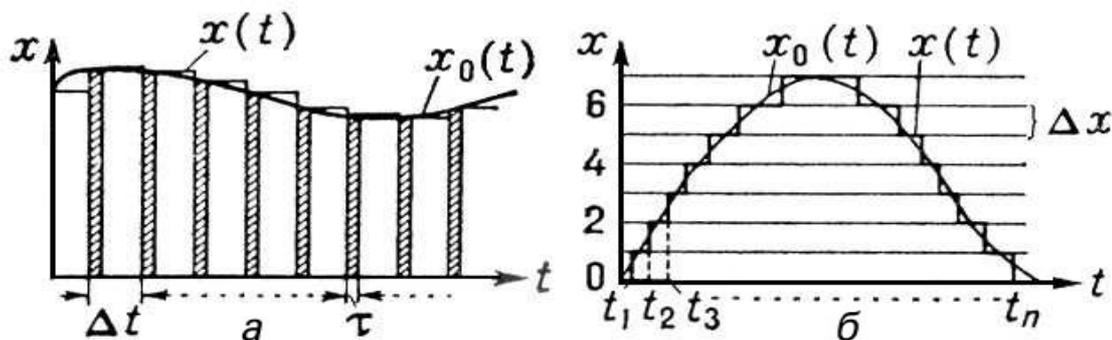


Рис. 5. Преобразования "аналог-код": а) дискретизация по времени; б) квантование по уровню.

Дискретизация по времени

Дискретный сигнал представляет собой последовательность значений, взятых с некоторым, как правило, равномерным, шагом, называемым шагом дискретизации данных.

В соответствии с теоремой Котельникова, также известной как теорема отсчётов, тео-

рема Уитткера-Найквиста-Шеннона-Котельникова, непрерывный сигнал $u(t)$, имеющий ограниченный спектр шириной f_N , может быть однозначно и без потерь восстановлен по своим дискретным отсчётам, взятым через равные интервалы времени, определяемые как

$$\Delta t = \frac{1}{2 \cdot f_N} \quad (4)$$

Фактически это означает, что при дискретизации сигнала с шагом Δt спектральная плотность сигналов должна быть практически равна нулю на частотах выше частоты Найквиста f_N . При наличии спектральной составляющей с частотой $f > f_N$ перекрытие соседних членов периодизированного спектра приводит к появлению помехи с частотой, зеркальной относительно f_N , т. е. меньшей f_N на величину $(f - f_N)$. Эта помеха в дальнейшем не может быть устранена. Поэтому высокочастотные помехи должны быть эффективно подавлены до дискретизации. Так как применяемые для этой цели фильтры нижних частот имеют конечную крутизну среза, то граничная частота фильтра выбирается значительно ниже f_N , чтобы на частотах выше f_N обеспечивалось достаточно сильное подавление. Пусть полоса пропускания регистрирующей аппаратуры имеет верхнюю граничную частоту $f = 125$ Гц, а требуемое подавление (~ 40 дБ) достигается на удвоенной граничной частоте. Тогда $f_N = 250$ Гц и $\Delta t = 2$ мс. Таким образом, при шаге дискретизации 2 мс обеспечивается неискаженная передача сигналов, верхняя частота спектра которых не превышает 125 Гц. В последних моделях сейсмических станций (Sercel SN388, SN408XL, SN428UL, I/O Image) за счёт изменения дизайна фильтров достигается уровень подавления 100 - 120 дБ/октава, и в качестве граничных частот можно указывать уровни $0.5 f_N$, $0.75 f_N$, $0.8 f_N$.

Дискретизация по уровню

Принцип оцифровки амплитуд выборки проще всего понять на примере ранее широко использовавшегося в сейсморазведочных станциях метода поразрядного взвешивания. Он напоминает метод взвешивания груза на весах с двумя чашами, на одну из которых кладется груз, а на другую - гири - эталоны веса.

При квантовании по уровню не всегда сигнал совпадает с уровнем квантования. В таком случае поступают одним из следующих способов:

1. значение отсчёта отождествляют с ближайшим значением;
2. значение отсчёта отождествляют с ближайшим меньшим (или большим) значением.

- **Регистратор (Р)** осуществляет запись оцифрованного сигнала на носитель. В качестве носителя могут использоваться оптические устройства (CD, DVD, MO-диски), магнитные устройства (жёсткие диски, магнитная плёнка – кассеты Exabyte, DLТаре; картриджи (3480, 3490) и т.п.).

Преимущества цифровой регистрации

Внедрение цифровой регистрации сейсмических наблюдений явилось началом весьма важного этапа в развитии сейсмического метода разведки. С одной стороны, это позволило значительно увеличить точность измерения сейсмического поля по сравнению с аналоговой регистрацией, а, с другой стороны, только при цифровой регистрации стало возможным полное использование преимуществ цифровых способов обработки сейсмических данных на ЭВМ. В то же время, цифровая регистрация приводит к значительной автоматизации процесса сбора данных.

В настоящее время практически все виды сейсмических исследований проводятся с цифровой регистрацией и последующей обработкой на ЭВМ.

Достаточно долгое время количество каналов при регистрации сейсмических данных ограничивалось числом 24, затем перешли на 48 каналов и далее на 96. Кроме чисто экономических преимуществ, применение многоканальной регистрации необходимо и для решения задач по повышению геологической эффективности сейсмической разведки.

Другой задачей, требующей большого количества каналов регистрации, является многоволновая сейсморазведка, когда нужно регистрировать все три компоненты сейсмического поля. Это относится и к прямой оценке нефтегазоносности по сейсмическим данным.

Наконец, трехмерная сейсморазведка (3D), занимающая в настоящее время ведущие позиции, практически не может быть реализована без применения многоканальных и сверхмногоканальных сейсморегистрирующих систем.

Таким образом, значительное увеличение канальности и точности регистрации является одной из основных тенденций в построении современных сейсморегистрирующих систем.

Современные многоканальные и сверх-многоканальные сейсморегистрирующие комплексы построены на основе телеметрических принципов сбора информации.

Поколения сейсморазведочной аппаратуры

Сейсморазведочными станциями *первого поколения* были станции с прямой осциллографической записью на бумажном носителе. Характерной и главной особенностью конструкций таких станций являлось получение в процессе записи сейсмограммы в окончательном виде, без возможности ее последующего воспроизведения (без производства повторного возбуждения). Пик популярности сейсморазведочных станций первого поколения на производстве пришелся на середину 60-х годов XX века. Работы с использованием станций этого типа при разведке месторождений нефти и газа после 1975 г. практически уже не велись.

Главным средством создания воспроизводимой сейсмической записи оказалась магнитная аналоговая запись. С этого времени началась эра сейсморазведочных станций *второго поколения* - станций с аналоговой магнитной записью.

Аппаратура *третьего поколения* подразумевает использование цифровой записи. Переход к цифровой записи позволил принципиально изменить как качество исходной информации (за счет резкого расширения динамического диапазона), так и качество и результативность обработки получаемой информации за счет последующего более эффективного и широкого применения современной вычислительной техники.

Среди систем третьего поколения выделяют два типа систем:

1. системы с *линейным разделением каналов*
2. *телеметрические* системы

В системе регистрации с линейным разделением каналов линии связи (провода) находятся между сейсмоприемником и сеймостанцией, составляя для дальних каналов несколько километров. Информация передается в виде аналогового сигнала и претерпевает в процессе передачи значительные искажения, связанные как с взаимными влияниями между каналами и наводками, так и с низкочастотной фильтрацией, обусловленной омическим сопротивлением проводов и электрической емкостью между ними.

В телеметрической системе сбора информации сейсмический сигнал преобразуется из аналоговой формы в цифровую до момента передачи в центральный модуль. Все элементы, необходимые для оцифровки сигнала (усилитель, фильтры, преобразователь «аналог-код») находятся непосредственно около сейсмоприемников. Весь этот набор средств электроники, включая и память для временного хранения информации составляют полевой телеметрический модуль (ПТМ).