

## Дистанционное обучение

РФ-17

30.10.2020

### Сейсморазведочная аппаратура.

Данная тема предполагает изучить следующие вопросы: сейсмический канал. Продолжение

Требуется изучить теоретический материал по одному из рекомендованных ранее учебнику, например,

**Гурнич И. И. Сейсморазведка. Издание третье, переработанное и дополненное. М., «Недра», 1975. 408 с.**

Изложены физические и геологические основы сейсморазведки, дано обоснование и описание ее главных методов. Приведены сведения об устройстве сейсморазведочной регистрирующей и обрабатывающей аппаратуры. Подробно рассмотрена методика полевой сейсморазведки и техника производства работ. Последовательно описаны этапы обработки и геологической интерпретации данных сейсморазведки. Приведен обзор условий и результатов применения сейсморазведки в некоторых районах СССР при решении различных геологических задач.

Книга является учебником для учащихся геологоразведочных техникумов.

Табл. 12, ил. 172, список лит. — 18 назв.

Если на входе линейного аппарата действует внешнее возбуждение  $U_1$  (рис. 28, а), изменяющееся во времени по закону синуса (или косинуса), то на выходе аппарата реакция  $U_2$  будет изменяться по тому же закону. Частота  $f_1$  гармонических колебаний на входе и на выходе при этом будет одинаковой. Различие между ними будет состоять только в величине амплитуд  $a_1$  и  $a_2$  колебаний и их начальных фаз. Если ко входу аппарата будет приложено гармоническое колебание, имеющее частоту  $f_2$ , отличную от  $f_1$ , то на выходе частота колебаний также будет равна  $f_2$ . Однако отношение амплитуд и разность (сдвиг) фаз колебаний на входе и выходе будут иными, чем в случае, когда частота колебаний равна  $f_1$ . Следовательно, изменения амплитуд и сдвиги фаз гармонических колебаний при их прохождении через линейный аппарат зависят от частоты  $f$  этих колебаний. Они зависят также от устройства линейного аппарата: в различных аппаратах при одной и той же частоте проходящих через них гармонических колебаний изменения амплитуд и сдвиги фаз могут быть совершенно разными. Характер изменения амплитуд и сдвигов фаз колебаний в зависимости от частоты используют для описания свойств аппарата. С этой целью вводят следующие понятия: **ч а с т о т н у ю х а р а к т е р и с т и к у**  $\mathfrak{A}(f)$  аппарата, выражающую зависимость отношения амплитуд гармонических колебаний на выходе и входе от частоты  $f$ ; **ф а з о в у ю х а р а к т е р и с т и к у**  $\varphi(f)$  аппарата, выражающую зависимость разности (сдвига) фаз колебаний на выходе и входе аппарата от частоты  $f$ .

Частотная и фазовая характеристики аппарата зависят исключительно от его строения. Для сейсморазведки наибольшее значение имеют частотные характеристики аппаратов. Последние изображаются в виде кривых в прямоугольной системе координат. По оси абсцисс откладывают частоту  $f$  колебаний, выраженную в абсолютной или относительной мере; по оси ординат отношение  $\mathfrak{A}$  амплитуд на выходе и входе (рис. 28, б). Частотные характеристики отдельных аппаратов, входящих в состав сейсмозаписывающего канала, приведены в § 6.

Частотные и фазовые характеристики могут служить для определения искажений, вносимых аппаратом в проходящие через него сигналы произвольной формы. Для этого используют разложение сложного колебания (например, импульса) на сумму простых гармонических колебаний — спектральное разложение колебаний (см. § 1, п. 5). Если на входе аппарата действует внешнее возбуждение в форме кратковременного импульса, то при помощи спектрального разложения его можно заменить интегральной суммой гармонических колебаний, обладающих различными частотами, амплитудами и начальными фазами. Каждая из этих гармонических составляющих, проходя через аппарат, сохранит свою частоту, только ее амплитуда и начальная фаза будут изменены на величины, определяемые частотной и фазовой характеристиками аппарата. Зная эти характеристики, можно определить амплитуду и начальную фазу любой гармонической составляющей на выходе аппарата. Воспользовавшись

принципом суперпозиции колебаний, справедливым для линейных систем, можно определить форму сигнала на выходе аппарата. Для этого необходимо вычислить сумму всех гармонических составляющих на выходе аппарата.

Из изложенного следует, что амплитудные и фазовые спектры сигнала на выходе аппарата зависят не только от вида этих спектров сигнала на входе, но также от характеристик аппарата. Например, если частотная характеристика аппарата имеет четко выраженный максимум (пик) при частоте  $f_0$  (рис. 28, в), то гармонические составляющие, частота которых близка к  $f_0$ , с наибольшим увеличением пройдут через аппарат, и, следовательно, именно эти колебания окажутся подчеркнутыми в спектре сигнала на выходе прибора.

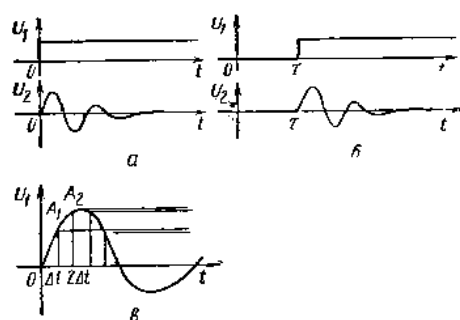


Рис. 28. Переходная характеристика линейной системы (а, б) и разложение произвольной функции на сумму ступенчатых функций (в)

Область частот, лежащая между частотами  $f_1$  и  $f_2$ , которые расположены по обе стороны от частоты  $f_0$  и при которых выполняются условия:  $\mathfrak{B}(f_1) = \mathfrak{B}(f_2) = 0,7 \mathfrak{B}(f_0)$ , называется полосой пропускания аппарата.

Составляющие гармонические сигнала, относящиеся к частотам, расположенным в пределах полосы пропускания аппарата, преимущественно подчеркиваются при регистрации.

Если в частотной характеристике для некоторой области частот имеется минимум (провал), то гармонические колебания соответствующих частот будут пропущены аппаратом с существенным ослаблением и слабо представлены в спектре сигнала на выходе аппарата. Таким образом, форма частотной характеристики в большой мере определяет частоту тех гармонических составляющих, которые будут зарегистрированы на сейсмограмме.

Если регистрирующий канал, как это имеет место при сейсморазведке, состоит из нескольких последовательно соединенных приборов, то частотная характеристика  $\mathfrak{B}$  всего канала представляет собой произведение частотных характеристик сейсмоприемника  $\mathfrak{B}_r$ , усилителя  $\mathfrak{B}_y$  и гальванометра  $\mathfrak{B}_g$ :

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{B}_g \mathfrak{B}_y \mathfrak{B}_r. \quad (5.2)$$

Соотношение фазовых характеристик следующее:

$$\varphi = \varphi_g + \varphi_y + \varphi_r. \quad (5.3)$$

Из соотношения (5.2) вытекает, что частотную характеристику  $\mathfrak{B}(f)$  всего канала можно преобразовать посредством изменения характеристики в одном из его звеньев, например в усилителе. Необходимость изменять частотную характеристику связана с тем,

что соотношение между спектрами полезных волн и помех в разных условиях неодинаково. Для наиболее отчетливой регистрации полезных волн надо, чтобы полоса пропускания частотной характеристики канала приходилась на такую область спектра амплитуд, в которой отношение амплитуд полезного сигнала и помехи наибольшее (см. рис. 10).

Таким образом, при регистрации колебаний почвы сейсмосаписывающим каналом сигнал, регистрируемый на сейсмограмме, отличается по своему виду от сигнала на входе канала, т. е. от колебания корпуса сейсμοприемника. Это означает, что при записи вносятся целесообразные искажения в форму сигнала. Искажения, вносимые линейными системами, называются линейными искажениями. При сейсморазведке приходится регистрировать сигналы в форме кратковременных импульсов, поэтому изучение характера искажений, возникающих в этом случае, представляет особый интерес.

К изучению искажений, создаваемых линейными системами, можно подойти также несколько иначе. Пусть на вход линейной системы в момент  $t = 0$  поступает единичная ступенчатая функция  $U_1 = I(t)$  (рис. 29, а). После прохождения через линейную систему она преобразуется в некоторую кривую  $U_2 = h(t)$ , которую называют переходной характеристикой линейной системы. Очевидно, что если на вход системы поступит ступенчатая функция, имеющая размах  $a$ , то на выходе системы обнаружится колебание вида  $U_2 = ah(t)$ .

Пусть теперь ступенчатая функция поступает на вход системы не в нулевой момент, а в момент  $t = \tau$ . Такой сигнал может быть записан как (рис. 29, а)

$$U_1(t) = aI(t - \tau). \quad (5.4)$$

Тогда на выходе системы появится колебание

$$U_2(t) = ah(t - \tau), \quad (5.5)$$

т. е. вся картина сместится во времени на величину  $\tau$ .

Рассмотрим теперь некоторую произвольную функцию  $U_1(t)$ , изображающую сигнал на входе системы (рис. 29, в). Разобьем ось  $t$  на множество равных малых интервалов  $\Delta t$  и на границе каждого из них найдем ординаты  $A_1, A_2, \dots$  кривой  $U_1(t)$ . Тогда кривую  $U_1(t)$  можно приближенно представить в виде суммы ступенчатых функций:

$$\begin{aligned} U_1(t) &\approx [U_1(\Delta t) - U_1(0)]I(t - \Delta t) + \\ &+ [U_1(2\Delta t) - U_1(\Delta t)]I(t - 2\Delta t) + [U_1(3\Delta t) - U_1(2\Delta t)]I(t - 3\Delta t) + \\ &\dots = \sum_{i=1}^m \{U_1[i\Delta t] - U_1[(i-1)\Delta t]\} I(t - i\Delta t). \end{aligned} \quad (5.6)$$

Чтобы получить значение функции  $U_1$ , в момент времени  $t$  следует производить суммирование в правой части до значения  $m$ , определяемого как

$$t = m \Delta t. \quad (5.7)$$

Разности, заключенные в квадратные скобки, представляют собой приращения  $\Delta U_1$  функции  $U_1$  на соответствующем интервале  $\Delta t$  времени. Поэтому формулу (5.6) можно записать как

$$U_1(t) \approx \sum_{i=1}^m \Delta U_1(i \Delta t) I(t - i \Delta t). \quad (5.8)$$

Таким образом, колебание  $U_1(t)$  на входе системы можно приближенно рассматривать как сумму множества ступенчатых функций с размахом  $a = \Delta U_1(i \Delta t)$  и вступающих в моменты времени  $\tau = i \Delta t$ . Очевидно, что эта сумма будет тем лучше изображать функцию  $U_1(t)$ , чем меньше интервалы  $\Delta t$ . При неограниченном уменьшении этих интервалов можно добиться сколь угодно хорошего совпадения суммы и функции  $U_1(t)$ .

Вычислим теперь сигнал  $U_2(t)$  на выходе системы, отвечающий сигналу  $U_1(t)$  на ее входе. В соответствии с принципом суперпозиции вместо функции  $U_1(t)$  можно рассматривать эквивалентную ей сумму (5.8). Но согласно формуле (5.5), каждому ступенчатому сигналу на входе вида  $aI(t - \tau)$  отвечает сигнал на выходе вида  $ah(t - \tau)$ . Следовательно, на входе системы в результате сложения всех сигналов, образующих сумму (5.8), возникает колебание

$$U_2(t) \approx \sum_{i=1}^m \Delta U_1(i \Delta t) h(t - i \Delta t). \quad (5.9)$$

Сумму (5.9) называют сверткой функций  $\Delta U_1$  и  $h$ . Вместе формулы (5.9) можно написать

$$U_2(t) \approx \Delta t \sum_{i=1}^m \frac{\Delta U_1(i \Delta t)}{\Delta t} h(t - i \Delta t) = \Delta t \sum_{i=1}^m U_1'(i \Delta t) h(t - i \Delta t), \quad (5.10)$$

поскольку  $\Delta U_1/\Delta t$  можно рассматривать как производную функцию от  $U_1(t)$ .

Полученные соотношения показывают, как вычислить сигнал  $U_2(t)$  на выходе линейной системы, если известен сигнал  $U_1(t)$  на ее входе и ее переходная характеристика  $h(t)$ . Часто применяют сокращенное обозначение

$$U_2(t) = U_1'(t) * h(t), \quad (5.11)$$

указывающее на операцию свертки функций  $U_1'$  и  $h$ .

Естественно, что переходная характеристика тесно связана с частотной и фазовой характеристиками той же линейной системы. Зная переходную характеристику, можно вычислить частотную

и фазовую характеристики и обратно. Таким образом, действие линейной системы может быть описано либо в спектральной (частотной) области с помощью частотной и фазовой характеристик, либо во временной области с помощью переходной характеристики системы.

К изучению искажений, вносимых линейными системами, можно подойти еще одним путем. Из теории линейных систем следует, что сигнал на выходе системы можно рассматривать как результат наложения двух видов колебаний — вынужденных и собственных (или свободных). Вынужденное колебание — это та часть колебания, которая целиком зависит от воздействия на прибор внешней силы. Собственные (или свободные) колебания представляют собой колебания системы, возникающие вследствие того, что она выведена из положения равновесия. Вид их определяется только свойствами самой системы. Свободные колебания системы продолжают и после того, как прекратилось действие внешней возбуждающей силы. Их длительность отчасти определяет способность прибора разделять два быстро следующих один за другим импульса или так называемую разрешающую способность прибора.

Допустим, что нужно разделить зарегистрировать приход двух быстро следующих одна за другой волн, создающих колебания почвы. На рис. 28, а представлена кривая, изображающая смещения  $B_1$  и  $B_2$  почвы, вызванные прохождением этих волн. Форма колебаний на выходе прибора определится в значительной мере характером свободных колебаний. Если они быстро затухают, то сигналы  $B'_1$  и  $B'_2$  на выходе системы будут четко разделены; наоборот, когда свободные колебания продолжительные, то различить сигналы  $B'_1$  и  $B'_2$  на выходе прибора трудно.

Так как волны подходят к приемнику через короткие промежутки времени, то необходимо, чтобы сейсмозаписывающий канал обладал достаточной разрешающей способностью. Следует иметь в виду, что требование большой разрешающей способности находится в противоречии с требованием узкой полосы пропускания. Поэтому при конструировании сейсморазведочной аппаратуры учитывают эти противоположные требования.

В § 1 и 2 отмечалось, что прослеживание (корреляцию) волн можно осуществлять, сопоставляя форму колебаний в близко расположенных точках среды, в том числе и в точках поверхности земли. На отечественных станциях, чтобы облегчить прослеживание волн на одной сейсмограмме, регистрируют записи колебаний в 24 или в 48 точках поверхности земли, используя для этой цели 24 или 48 однотипных сейсмических каналов. Поскольку при регистрации происходит искажение формы сигнала, поданного на вход (смещения почвы), то, чтобы иметь возможность проследить волну на сейсмограмме, все каналы должны вносить в первоначальный сигнал одинаковые искажения. Это означает, что к сейсморазведочной станции предъявляются требования идентичности (тождественности) всех входящих в ее состав сейсмических каналов, а также

отдельных звеньев каналов (сейсμοприемников, усилителей, гальванометров), принимая во внимание их взаимозаменяемость.

Выше отмечалось, что при аналоговом виде записи динамический диапазон носителя составляет около 45—50 дБ. В то же время естественный динамический диапазон сейсмических колебаний, как правило, значительно превосходит эту величину. Это означает, что необходимо принять особые меры для того, чтобы оказалось возможным записать сейсмические колебания на магнитную пленку. Эти меры заключаются в применении различных регуляторов, изменяющих коэффициент усиления усилителей записи с течением времени, называемых автоматическими (АРУ) или программными (ПРУ) регуляторами усиления. Такие устройства вносят нелинейные искажения в запись. При этом теряется часть информации, содержавшейся в исходных сейсмических колебаниях. Это обстоятельство является одним из важных недостатков аналогового вида записи.

С применением промежуточной регистрации, создавшей возможность лабораторного преобразования сейсмических записей, появилось большое число различных способов и приемов обработки, направленных на возможно более полное извлечение полезных сведений о геологическом разрезе. Каждый из этих способов и приемов (алгоритмов) для своей реализации при аналоговом виде записи требует конструирования и изготовления специального аппарата, предназначенного для выполнения действий, предписываемых применяемым алгоритмом. Это сильно затрудняет и замедляет применение новых алгоритмов обработки и тормозит развитие сейсморазведки.

Для преодоления недостатков, связанных с использованием аналоговой промежуточной записи, в сейсморазведке широко применяют цифровую регистрацию. При цифровой регистрации сейсмический сигнал, воспринятый сейсμοприемником, записывается на магнитную пленку в виде последовательности чисел, указывающих последовательные мгновенные значения сигнала (см. § 7).

В данной лекции мы изучили такую тему как: сейсмический канал.