

Совершенствование технологии геофизических исследований

Петров Ю.П., Костицын В.И., ГОУ ВПО «Пермский государственный университет», г. Пермь

Аннотация. В работе показано, что для повышения точности регистрации местоположения внешнего источника упругих колебаний необходимо знать время задержки входного сигнала сейсмической системой с учетом технических характеристик сейсμοприемников.

Abstract. It is shown in the work, that for accuracy enhancement of location registration of an external source of elastic vibrations, it is necessary to know delay time of input signal of the seismic system, adjusted for technical characteristics of seismoreceivers.

В работе [1] предложен способ определения местоположения забоя скважины. Источником акустического сигнала является долото буровой колонны, а измерение сигнала на земной поверхности осуществляется сейсμοприемниками. Этот способ применим и для нахождения возмущающего объекта на земной поверхности. Определив время распространения волн от источника и зная скорость прохождения волн до приемника, можно численно определить координаты возмущающего объекта.

Рассмотрим особенности работы приемника сейсмических волн.

В сейсμοприемниках [2] при измерении внешних воздействий всегда участвуют три элемента: вибрирующее и невибрирующее звенья (инерциальная масса, играющая роль неподвижной земли) и устройство для измерения движения вибрирующего звена относительно невибрирующего. Масса связывается с основанием прибора при помощи пружины и демпфера (рис. 1).

Масса 1 вместе с пружиной 2 и демпфером 3 образуют сейсмическую систему (СС). Такая СС реагирует на внешние воздействия, передаваемые на корпус преобразователя. Движение корпуса 4, который установлен на земной поверхности, относительно массы 1, выполняющей роль невибрирующего элемента, измеряется датчиком 5. Совокупность СС и датчика 5 образует преобразователь кинематических величин.

Колебания корпуса 4 преобразователя кинематических величин вызывают вынужденные колебания в сейсмической системе. Поскольку масса m сейсмического элемента 1 является инерциальным элементом, то она не может мгновенно реагировать на внешние воздействия. В зависимости от амплитуды и частоты

внешнего воздействия, сигнал, преобразуемый СС, всегда будет отличаться по фазе и амплитуде от внешнего воздействия [2].

Согласно закону Ньютона, уравнение динамики для вынужденных колебаний имеет вид:

$$m\ddot{x} + r\dot{x} + kx = -m\ddot{\zeta}$$

или

$$\ddot{x} + 2d\omega_0\dot{x} + \omega_0^2 x = -\ddot{\zeta}, \quad (1)$$

где $m\ddot{\zeta}$ – сила внешнего воздействия с ускорением $\ddot{\zeta}$; x – перемещение сейсмического элемента 1 относительно датчика 5; $d = \frac{r}{2m\omega_0}$ –

коэффициент относительного затухания, r – коэффициент трения, $\omega_0 = 2\pi\nu_0$, ν_0 – собственная частота колебаний массы m .

Полагаем, что воздействие ζ на корпус прибора 4 является гармоническим $\zeta = \zeta_0 \sin \Omega t$, где $\Omega = 2\pi\nu$ – циклическая частота внешнего воздействия, ζ_0 – амплитуда перемещения корпуса 4, ν – частота внешнего воздействия.

Общее решение уравнения (1) может быть представлено в виде

$$x = A_0 e^{-\delta t} \sin(\omega t + \phi_0) + \lambda \zeta_0 \sin(\Omega t + \phi), \quad (2)$$

где ϕ – сдвиг фазы между входным колебанием ζ и перемещением массы m , λ – коэффициент пропорциональности, зависящий от частоты Ω внешней силы и характеризует чувствительность СС, $\delta = r / 2m$ – коэффициент затухания. Величина $A(t) = A_0 e^{-\delta t}$ с течением времени убывает до нуля.

Установившиеся колебания происходят по гармоническому закону и с частотой Ω . Тогда решение уравнения (2) имеет вид

$$x = \lambda \zeta_0 \sin(\Omega t + \phi), \quad (3)$$

где $\lambda \zeta_0$ – амплитуда вынуждающего движения. Фаза ϕ определяется по формуле

$$\phi = \arctg \left(-\frac{2dq}{1-q^2} \right), \quad (4)$$

$$\text{где } q = \frac{\Omega}{\omega_0} = \frac{2\pi\nu}{2\pi\nu_0} = \frac{\nu}{\nu_0}.$$

Величина q называется фазо-частотной характеристикой сейсмической системы.

Фазо-частотная характеристика (рис. 2)

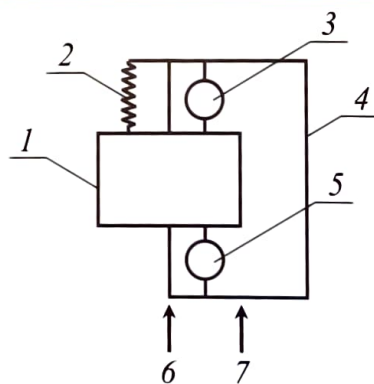


Рис. 1. Схема преобразователя кинематических величин: 1 – масса (невибрирующее звено), 2 – пружина, 3 – демпфер, 4 – корпус прибора (вибрирующее звено), 5 – датчик, 6 – входная ось преобразователя, 7 – направление передачи внешнего воздействия на корпус преобразователя

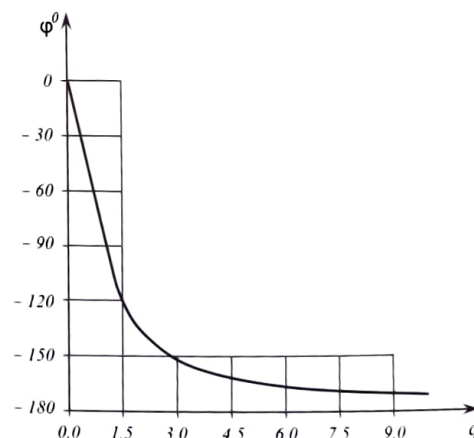


Рис. 2. Фазо-частотная характеристика сейсмической системы

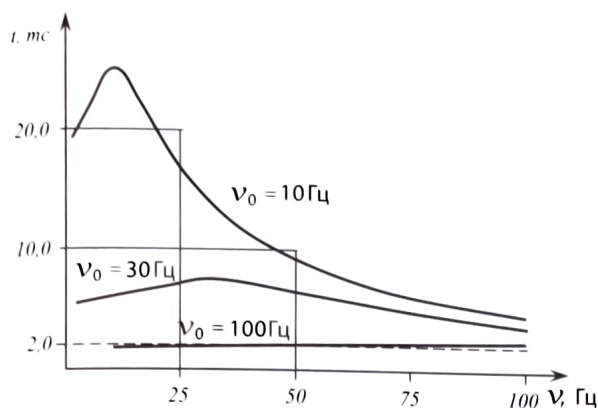


Рис. 3. Задержка по времени t прохождения сигналов различных частот v для сейсμοприемников с собственной частотой $v_0 = 10, 30, 100$ Гц и коэффициентом относительного затухания $d = 0,6$

построена на основании формулы (4) и с учетом коэффициента относительного затухания $d = 0,6$, используемого в большинстве сейсμοприемников.

Если фазу передаваемого сигнала $\Omega t + \phi$ приравнять нулю, то из графика (рис. 2) можно определить задержку по времени прохождения сигнала частотой $\Omega = 2\pi v$ через СС:

$$\Omega t + \phi = 0,$$

$$\text{откуда } t = -\frac{\phi}{\Omega}.$$

На рис. 3 показана задержка по времени t передачи входного сигнала частотой v для сейс-

моприемников с различной собственной частотой v_0 сейсмической системы.

Отсюда следует, что наименьшее время задержки соответствует сейсμοприемнику с собственной частотой $v_0 = 100$ Гц (≈ 2 мс). Поэтому можно предполагать, что такое устройство оптимально при проведении сейсморазведочных работ.

В практике полевой сейсморазведки наиболее часто используются сейсμοприемники с собственной частотой $v_0 = 10$ Гц. Основные технические параметры сейсμοприемников – частота v_0 и относительное затухание d даются согласно паспорту на сейсμοприемник с некоторой погрешностью. На рис. 4 показана фазо-частотная характеристика сейсмической системы сейсμοприемника, имеющего следующие параметры: $v_0 = (10 \pm 1)$ Гц, $d = (0,7 \pm 0,07)$

Из рис. 4 видно, что одному значению q соответствуют разные значения ϕ . Крайние значения фазы $\Delta\phi$ могут быть найдены из графика. Из уравнения $\Omega\Delta t + \Delta\phi = 0$ находится $\Delta t = \frac{-\Delta\phi}{\Omega} = -\frac{\phi_{d=0,7} - \phi_{d=0,63}}{2\pi v}$, что определяет временную ошибку (сдвиг) передачи сигнала с частотой v . На рис. 5 приведена временная ошибка Δt , вычисленная на основании зависи-

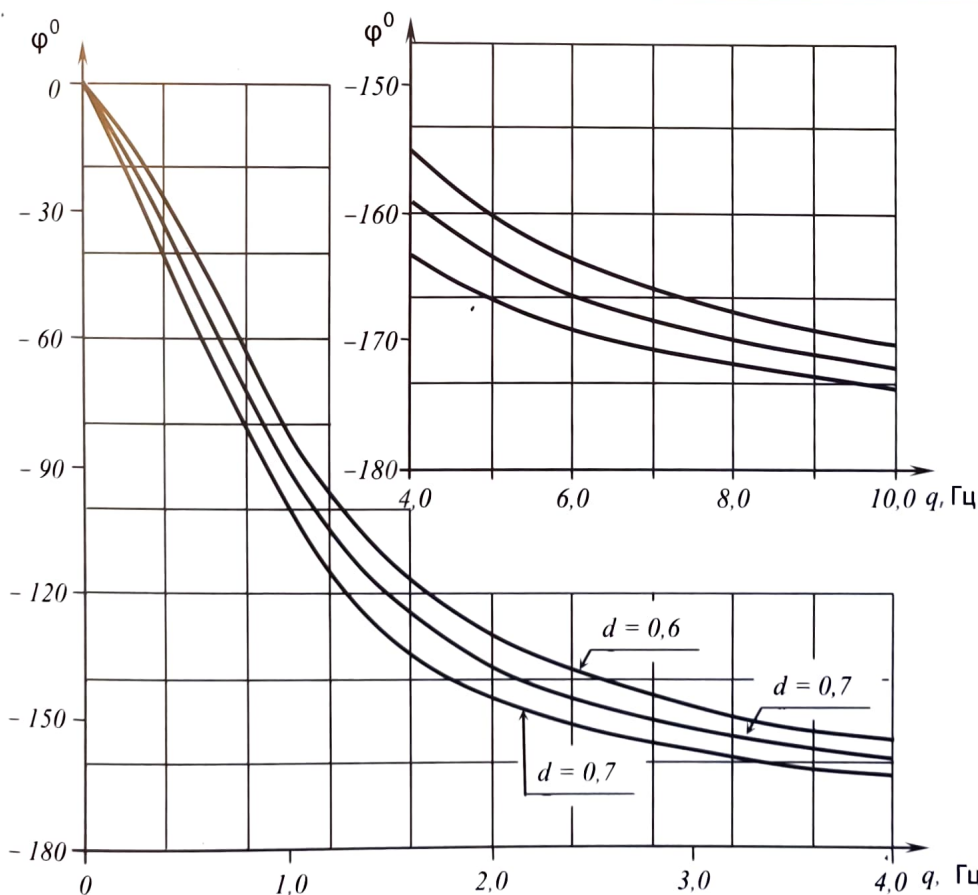


Рис. 4. Фазо-частотная характеристика сейсмической системы сейсμοприемника с частотой $v_0 = (10 \pm 1)$ Гц и затуханием $d = (0,7 \pm 0,07)$

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

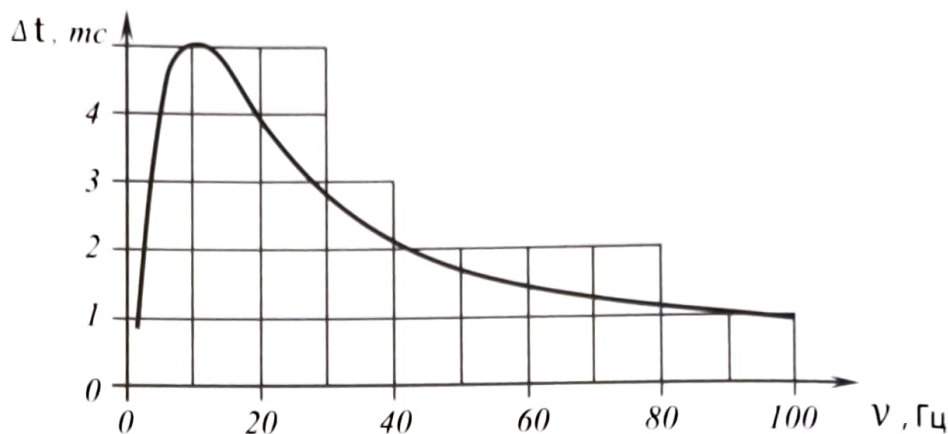


Рис. 5. Временная ошибка (сдвиг) передачи сигнала с частотой ν

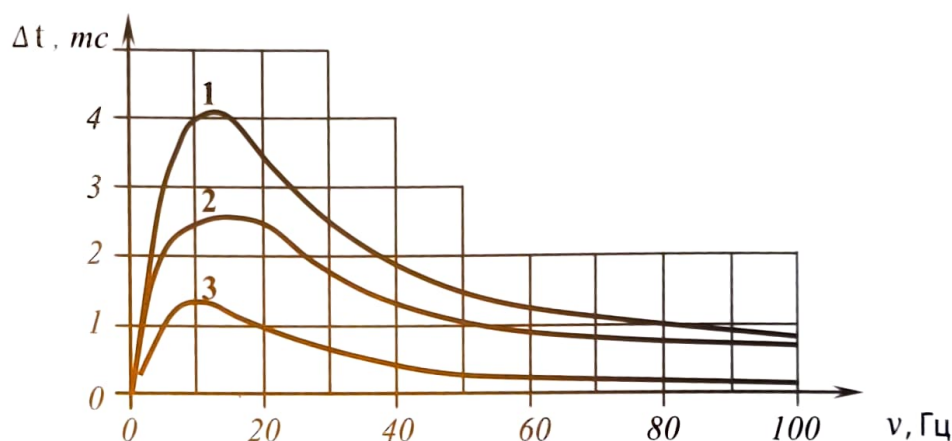


Рис. 6. Временная ошибка (сдвиг) передачи сигнала с частотой ν для сейсмоприемника в зависимости от разброса его собственной частоты ν и затухания d : 1 – GS-20-DX; 2 – для суперфонов при крайних значениях температур (-30°C , 50°C); 3 – СВ-10-II ПНППК (Пермь), $\nu = (10 \pm 0,25)$ Гц, $d = (0,7 \pm 0,02)$

мости, представленной на рис. 4.

Выполненные авторами исследования по определению временных ошибок наиболее часто используемых сейсмоприемников приведены на рис. 6.

Рассмотрим в качестве примера работу сейсмоприемника с собственной частотой $\nu_0 = (10 \pm 1)$ Гц и относительным затуханием $d = (0,7 \pm 0,07)$. Из рис. 3 видно, что для частоты проходящего сигнала $\nu = 20$ Гц время задержки сигнала составляет 20 мс, а временная ошибка передачи сигнала, в соответствии с рис. 5, ± 20 мс. Таким образом, время задержки передачи входного сигнала с частотой $\nu = 20$ Гц составляет $\approx (20 \pm 2)$ мс.

Время распространения волн зависит от скорости их распространения в каждом виде геологической среды. Предположим, что скорость волн в среде равна 2000 м/с. Умножив ее на время (20 ± 2) мс, получим (40 ± 4) м. Итак, если учитывать время задержки передачи входного сигнала, то необходимо из вычисленного расстояния до возмущающего объекта вычесть значение (40 ± 4) м.

Таким образом, временная характеристика сейсмоприемника становится пространственной

характеристикой и может восприниматься как ошибка установки сейсмоприемника. Временную задержку сигнала необходимо учитывать для всех частот ν , регистрируемых сейсмоприемником. Только при этом условии местоположение забоя скважины или нахождения возмущающего объекта можно определять с необходимой точностью. Отсюда следует вывод, что оптимальным вариантом для исключения временных ошибок является использование сейсмоприемников с собственной частотой $\nu_0 = 100$ Гц (рис. 3).

Список литературы

1. Петров Ю.П., 2005. Аппаратурная и методическая организация геоакустического каротажа в комплексе направленного бурения скважин // Приборы и Системы. Управление. Контроль. Диагностика. № 7. М.: Научтехлитиздат. 2005. С.51-54.
2. Петров Ю.П., 2007. Перспективы повышения точностных и сенситивных параметров сейсмоприемников // Приборы и Системы разведочной геофизики. № 1. Саратов. Саратовское издание ЕАГО, 2007. С.32-34.
3. Архангельский М.М., 1975. Курс физики. Механика. М.: Просвещение, 424 с.