

УДК 550.834

ГЕОФИЗИКА

А. Б. Немировский

Влияние скорости перемещения зонда на точность измерения интервальной скорости в тонких пластах при непрерывном акустическом каротаже

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Назаровым 18/VII 1968)

Решение задачи о влиянии скорости перемещения акустического зонда в скважине, когда информация о скорости распространения упругих колебаний в породе преобразуется интегрирующим звеном из формы дискретной последовательности сигналов в непрерывно меняющееся напряжение⁽¹⁾, имеет первостепенное значение при оценке точности исследования скоростного строения геологического разреза. Однако по данному вопросу известна лишь работа⁽²⁾, в которой автор исходит из ошибочных, как следует из нижеизложенного, предположений, заменяя интегрируемую дискретную последователь-

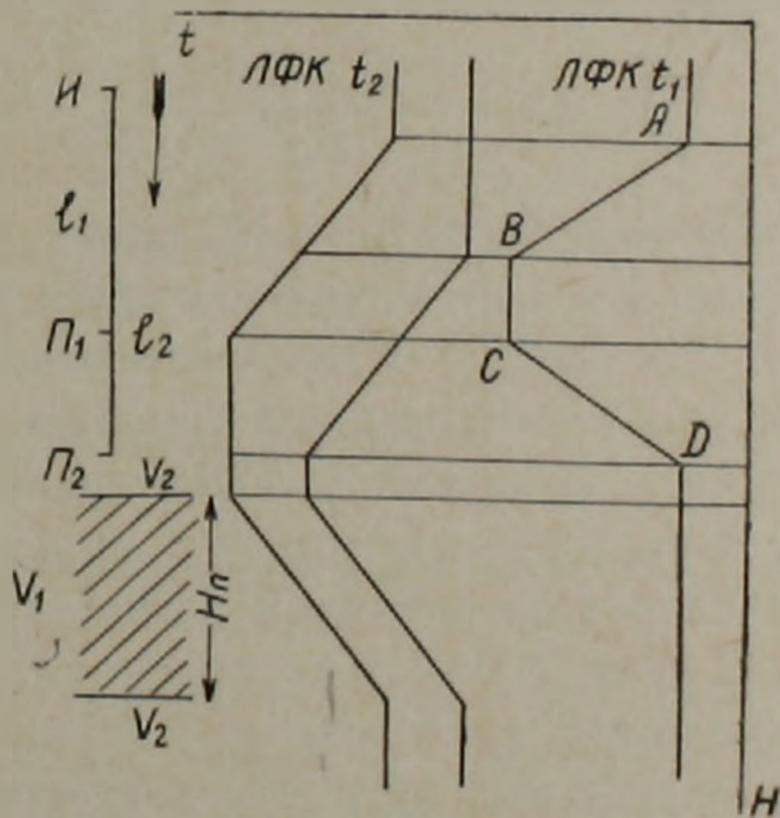


Рис. 1. Поведение линий фазовой корреляции при прохождении зондом тонкого пласта.

ность одним амплитудно-модулированным импульсом. Таким образом, необходимо:

1. Определить действительный характер изменения сигналов, подлежащих усреднению в $R - C$ звене, при прохождении зондом пласта.

2. Получить аналитическое выражение для погрешности измерения.

Следуя (3), будем называть в дальнейшем погрешность определения скорости распространения упругих колебаний, обусловленную возникновением в интегрирующем звене переходных процессов и движением измерительной установки, динамической погрешностью (ДП).

1. Поведение линий фазовой корреляции ЛФК для трехэлементного акустического зонда И l_1 П₁ Δl П₂ согласно (4), а также кривой интервального времени распространения упругих колебаний в породе t_{Δ} показано на рис. 1. Здесь

H_n — толщина пласта;

V_1, V_2 — скорость распространения упругих колебаний в пласте и вмещающей породе соответственно;

t_1, t_2 — время прихода первых вступлений упругих колебаний на приемники П₁ и П₂ соответственно;

l_1, l_2 — длины составных акустических зондов ИП₁ и ИП₂.

Δl — расстояние между приемниками П₁ и П₂.

Используя обозначения, приведенные на рис. 1, имеем следующие очевидные соотношения:

$$H_{AB} = H_{CD} = \Delta l; H_{BC} = H_n - \Delta l; H_{AD} = H_n + \Delta l.$$

При условии постоянства скорости каротажа V_k кривые ЛФК могут быть пересчитаны из масштаба изменения интервального времени в функции величины перемещения зонда H в масштаб изменения t_{Δ} в зависимости от времени каротажа t :

$$t_{AB} = t_{CD} = \frac{\Delta l}{V_k}; t_{BC} = \frac{H_n - \Delta l}{V_k}; t_{AD} = \frac{H_n + \Delta l}{V_k}.$$

Для определения изменений, происходящих с импульсной последовательностью сигналов в момент прохождения зондом пласта, необходимо учитывать следующие особенности рассматриваемого в работе (2) метода измерения интервальной скорости:

1. Время t_1 соответствует положению переднего фронта формируемого импульса, длительность которого пропорциональна интервальной скорости, и определяется временем распространения упругих колебаний в породе от излучателя И до приемника П₁.

2. Время t_2 соответствует положению заднего фронта формируемого импульса и определяется временем распространения колебаний от излучателя И до приемника П₂.

Это означает, что положение переднего фронта сигналов дискретной последовательности относительно момента срабатывания излучателя, а также их длительность определяются характером поведения кривых ЛФК t_1 и t_2 соответственно. Поэтому одновременному изменению параметров t_{Δ} и t_1 соответствует совместное изменение длительности и фазы сформированных импульсов, т. е. сочетание широтной и фазо-импульсной модуляции (ШИМ и ФИМ). Другим возмож-

ным сочетаниям одновременного поведения кривых ЛФК t_{Δ} и t_1 соответствуют:

ШИМ — область АВ рис. 1: $t_{\Delta} — \text{vario}$; $t_1 = \text{const}$

ФИМ — область ВС рис. 1: $t_{\Delta} = \text{const}$; $t_1 — \text{vario}$

При перемещении зонда в пределах вмещающей однородной среды, когда параметры t_{Δ} и t_1 остаются постоянными, импульсы не модулируются.

2. Учитывая вышесказанное, задача определения динамической погрешности сводится к анализу переходных процессов в интегри-

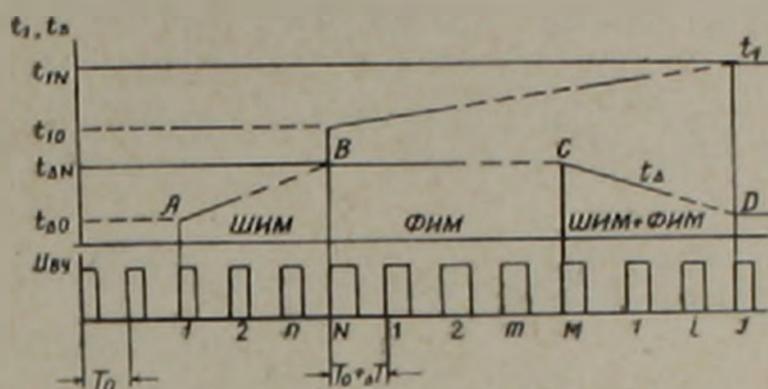


Рис. 2. Возникновение ФИМ и ШИМ при непрерывном акустическом каротаже.

рующем $R - C$ звене при воздействии на него конечного числа широтно и фазо-импульсно модулированных сигналов, а также импульсов постоянной длительности. На рис. 2 показано изменение t_{Δ} и t_1 в масштабе времени каротажа при прохождении зондом пласта и соответствующие им формируемые импульсы, подлежащие усреднению.

Можно показать, что для участков AB , BC , CD области $ABCD$ при линейном законе ШИМ и ФИМ справедливы следующие соотношения:

$$T_{AB} = T_0; T_{BC} = T_{CD} = T_0 + \Delta T; \Delta T = \frac{t_{1N} - t_{10}}{N};$$

$$N = I = \frac{\Delta l}{V_k T_0}; M = \frac{H_n - \Delta l}{V_k (T_0 + \Delta T)}; t_n^{(m)} = t_0; t_n^{(n)} = t_0 + n \Delta t;$$

$$t_n^{(i)} = t_n^{(N)} - i \Delta t; \Delta t = \frac{t_{\Delta N} - t_{\Delta 0}}{N}; t_0 = t_{\Delta 0},$$

где T — период повторения импульсов в соответствующей области модуляции;

T_0 — период повторения импульсных срабатываний излучателя;

t_{10} , t_{1N} — начальное и конечное значение времени t_1 в исследуемой области модуляции;

ΔT — приращение периода повторения при ФИМ;

N , M , I — общее количество импульсов на участках AB , BC и CD соответственно;

$t_n^{(n)}$, $t_n^{(m)}$, $t_n^{(i)}$ — длительность n -ого, m -ого, i -ого импульсов соответственно;

t_0 — длительность импульсов при отсутствии ШИМ;

Δt — приращение длительности на один импульс при ШИМ;
 $t_{\Delta 0}, t_{\Delta N}$ — начальное и конечное значение времени t_{Δ} для исследуемой области модуляции.

Очевидно, что для определения величины ДП необходимо получить выражения для напряжений на различных участках области $ABCD$. Целесообразно начать исследовать изменение напряжения с участка CD , сочетающего ШИМ и ФИМ модуляцию. Напряжение $U_{CD}^{(i)}$ при воздействии серии импульсов находим методом наложения ⁽⁵⁾, алгебраически суммируя реакции интегрирующей $R-C$ цепи на единичные скачки напряжения, сдвинутые соответствующим образом во времени:

$$U_{CD}^{(i)} = [1 - e^{-\alpha(t^* - T_1)}] - [1 - e^{-\alpha(t^* - T_1 - t_n^{(1)})}] + [1 - e^{-\alpha(t^* - T_2)}] - \\ - [1 - e^{-\alpha(t^* - T_2 - t_n^{(2)})}] + \dots - [1 - e^{-\alpha(t^* - T_{i-1} - t_n^{(i-1)})}] + \\ + [1 - e^{-\alpha(t^* - T_i)}] + U_0 e^{-\alpha t^*},$$

где U_0 — начальное напряжение на участке CD ;

$$\alpha = \frac{1}{RC}; t^* = T_i + t_n^{(i)}; T_i = (i-1)T'; T' = T_0 + \Delta T; i = 1 \dots J.$$

Подставляя значения $t_n^{(i)}$ и T_i в (1), получим после преобразований:

$$U_{CD}^{(i)} = 1 - e^{-\alpha t_n^{(i)}} \left\{ \frac{1 - e^{-i\alpha T'}}{1 - e^{-\alpha T'}} - e^{-\alpha(T' - t_n^{(i-1)})} \left[\frac{1 - e^{-(i-1)\alpha(T' + \Delta t)}}{1 - e^{-\alpha(T' + \Delta t)}} \right] - \right. \\ \left. - U_0 e^{-(i-1)\alpha T'} \right\}. \quad (2)$$

Согласно ⁽⁶⁾ для напряжения U_0 имеем:

$$U_0 = U_{BC}^{(M)} e^{-\alpha(T' - t_n^{(N)})} \quad (3)$$

Выражения для напряжений $U_{AB}^{(n)}, U_{BC}^{(m)}$ имеют вид, аналогичный (2) и получаются при подстановке в это уравнение вместо i соответствующего числа импульсов n и m , полагая при этом равным нулю ΔT или Δt при ШИМ и ФИМ соответственно. Значения начальных напряжений находятся из уравнений аналогичных (3), предполагая, что на каждом из рассматриваемых участков начало первого и последнего импульсов совпадает с его границами как показано на рис. 2.

Динамическую погрешность измерения интервальной скорости δ находим по формуле:

$$\delta = \left(1 - \frac{U_{BC}^{(M)}}{U_{BC}^{(\infty)}|_{t=t_n^{(N)}}} \right) 100\%, \quad (4)$$

где $U_{BC}^{(\infty)}|_{t=t_n^{(N)}}$ — значение установившегося напряжения на участке BC при воздействии на интегрирующую цепь бесконечного числа импульсов длительностью $t_n^{(N)}$.

Согласно (6) напряжение $U_{BC}^{(\infty)}|_{t=t_H^{(N)}}$ равно:

$$U_{BC}^{(\infty)}|_{t=t_H^{(N)}} = \frac{1 - e^{-\alpha t_H^{(N)}}}{1 - e^{-\alpha T'}}.$$

Можно показать, что подставляя значения $U_{BC}^{(M)}$ и $U_{BC}^{(\infty)}|_{t=t_H^{(N)}}$ в (4) при условии $\alpha T' \ll 1$, обеспечивающим уменьшение пульсаций регистрируемого напряжения, после преобразований получим:

$$\delta \cong \frac{\Delta t}{\alpha T_0 t_H^{(N)}} e^{-m \alpha T_0} (1 - e^{-n \alpha T_0}) = \frac{V_k}{\alpha \Delta l} \left(1 - \frac{V_1}{V_2}\right) e^{-\alpha \left(\frac{H_n - \Delta l}{V_k}\right)} (1 - e^{-\frac{\alpha \Delta l}{V_k}}). \quad (5)$$

Из (5) следует, что для пласта, мощность которого равна расстоянию между приемниками:

$$H_n = \Delta l; m = 0;$$

величина погрешности $\delta_{H_n = \Delta l}$ равна:

$$\delta_{H_n = \Delta l} \cong \frac{V_k}{\alpha \Delta l} \left(1 - \frac{V_1}{V_2}\right) \left(1 - e^{-\frac{\alpha \Delta l}{V_k}}\right) = P(1 - a) \left(1 - e^{-\frac{1}{P}}\right);$$

где $a = \frac{V_1}{V_2}; P = \frac{V_k}{\alpha \Delta l}$.

Таким образом, уравнение (5) может быть представлено в следующем виде:

$$\delta \cong \delta_{H_n = \Delta l} e^{-\frac{\alpha (H_n - \Delta l)}{V_k}}.$$

Коэффициент P включает в себя все параметры, которые необходимо выбрать для обеспечения требуемой точности измерения интер-

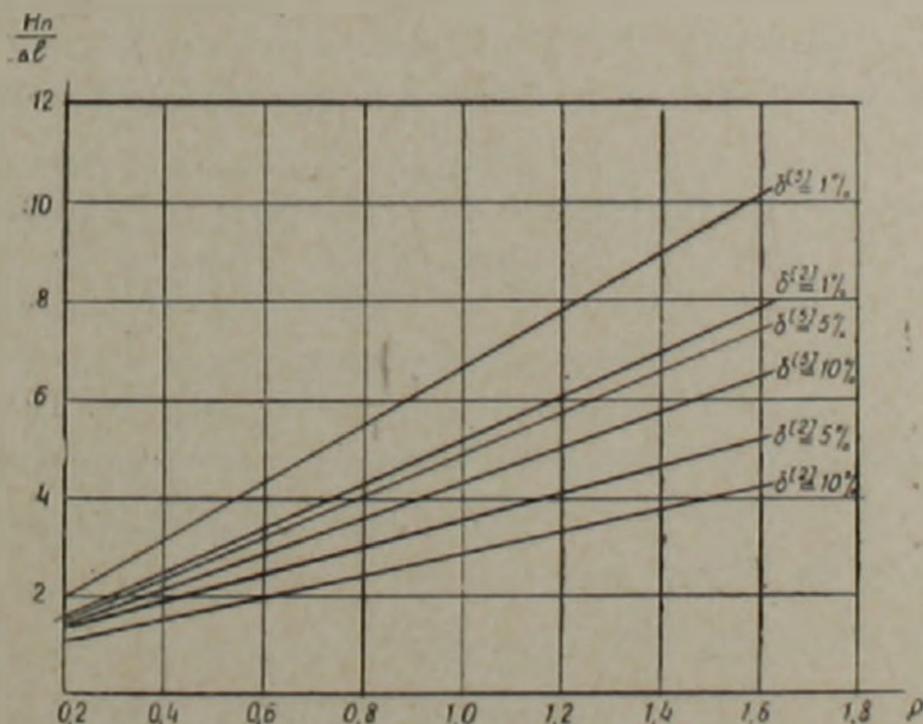


Рис. 3. Номограмма для определения относительной мощности пласта при заданной величине ДП.

вальной скорости. Поэтому назовем P обобщенным фактором динамической погрешности. Из уравнения (5) следует, что наибольшая вели-

чина ДП возникает при переходе акустического зонда из низкоскоростных вмещающих пород в пласт с более высокой скоростью, т. е. при $a > 1$.

Для оценки возможности получения требуемой точности измерения интервальной скорости $\delta|a|1, 5, 10\%$ и необходимой для этого мощности пласта при выбранном факторе P служит построенная по приведенным выше формулам номограмма (рис. 3).

В заключение необходимо отметить, что полученные зависимости между динамической погрешностью и обобщенным фактором P позволяют, обеспечивая необходимую точность определения скорости распространения упругих колебаний в породе, вести каротаж с максимальной производительностью. Длина зонда при этом считается выбранной исходя из особенностей изучаемого геологического разреза

Институт геофизики и инженерной сейсмологии
Академии наук Армянской ССР

Ա. Բ. ՆԵՄԻՐՈՎՍԿԻ

Անընդմեջ ակուստիկական կարոտաժի դեպքում զոնդի տեղափոխման արագության ազդեցությունը բարակ շերտերում ինտերվալային արագության չափման նշտության վրա

Ցույց է տրվում, որ ակուստիկական զոնդի անցման դեպքում բարակ շերտի դիմաց կերպափոխիչի հաշվողական հարմարանքում առաջանում է սիգնալների լայնակի ֆազամոդուլային իմպուլսային հերթականություն: Հնդհանրացված P գործոնից և $\frac{V_1}{V_2}$ արագությունների հարաբերությունից կախված դուրս է բերվում առաձգական տատանումների տարածման ինտերվալային արագության չափման դինամիկ սխալի համար հավասարում (5): Ստացված է մի հավասարում (2), որը հնարավոր է դարձնում հորատանցքում զոնդի տեղափոխման տարբեր արագությունների դեպքում ուսումնասիրել անընդմեջ ակուստիկական կարոտաժի զրանցման կորի ձևը:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

¹ Г. Б. Горбовицкий, Т. В. Щербакова, Е. С. Федорова, Разведочная геофизика, вып. 15, Изд. «Недра», М., 1966. ² Г. Б. Горбовицкий, Прикладная геофизика, вып. 43, Изд. «Недра», М., 1965. ³ А. А. Брагин, В. Н. Михайловский, Телеизмерение радиоактивных излучений, Изд. АН УССР, Институт машиноведения и автоматки, Киев, 1963. ⁴ В. Г. Грацинский, Г. В. Дахнов, Физика Земли, № 12, Изв. АН СССР, Изд. «Наука», М., 1966. ⁵ С. Г. Гинзбург, Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях, Изд. «Высшая школа», М., 1967. ⁶ Я. С. Ицхоки, Импульсные устройства, Изд. «Советское радио», М., 1959.