

УДК 550.834

ГЕОФИЗИКА

А. Б. Немировский

Влияние обработки и регистрации информации на динамическую погрешность при скоростном непрерывном акустическом каротаже

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Назаровым 13/1 1970)

Как известно, информация об интервальном времени распространения упругих колебаний в породе при скоростном непрерывном акустическом каротаже преобразуется из формы дискретной последовательности сигналов в непрерывно меняющееся напряжение с помощью электрического интегратора, влияние которого на динамическую погрешность рассматривается в работе (1) в предположении о безынерционности аналогового регистратора результатов измерений. Однако на практике в ряде случаев при большом уровне помех специально увеличивают инерционность регистратора (2), тем самым превращая его согласно (1) в электромеханический интегратор.

В настоящей работе исследуется влияние обработки информации об изучаемом геологическом разрезе на динамическую погрешность с учетом инерционности аналогового регистратора. Принимая во внимание вышесказанное, модель измерительного канала при скоростном непрерывном акустическом каротаже, включающую в себя процессы обработки и регистрации информации, следует представить в виде последовательного соединения двух интеграторов электрического (ЭИ) и электромеханического (ЭМИ) типов. При этом напряжение с выхода первого интегратора ЭИ типа "сопротивление—емкость" поступает на вход ЭМИ, имеющему эквивалентную электрическую схему типа "сопротивление—индуктивность" (4). Блок-схема модели измерительного канала приведена на рис. 1. Постоянные времени ЭИ и ЭМИ равны соответственно τ_1 и τ_2 .

Чтобы упростить решение поставленной задачи, предварительно покажем, что реальные сигналы сложной формы, поступающие на вход ЭИ при перемещении акустического зонда против пласта малой мощности, можно аппроксимировать более элементарными. Как следует из (2), воздействие широко-фазоимпульсной модулированной после-

довательности (ШИМ—ФИМ) сигналов на ЭИ с постоянной времени τ_1 при малой глубине модуляции эквивалентно воздействию немодулированной последовательности сигналов той же длительности на ЭИ с постоянной времени τ_1 при условии равенства в обоих случаях динамических погрешностей, т. е. $\delta_1 = \delta_2$. Согласно (1):

$$\delta_1 = p^1 (1-a) \left(1 - e^{-\frac{1}{p^1}}\right) e^{-\frac{H-\Delta l}{V_k \tau_1}}; \quad \delta_2 = (1-a) e^{-\frac{1}{p_1}} e^{-\frac{H-\Delta l}{V_k \tau_1}}.$$

Находим τ_1 , решая уравнение:

$$p^1 (1-a) \left(1 - e^{-\frac{1}{p^1}}\right) e^{-\frac{H-\Delta l}{V_k \tau_1}} = (1-a) e^{-\frac{1}{p_1}} e^{-\frac{H-\Delta l}{V_k \tau_1}},$$

где $p^1 = \frac{V_k \tau_1}{\Delta l}$; $p_1 = \frac{V_k \tau_1}{\Delta l}$.

Отсюда:

$$\tau_1 = \frac{H}{V_k \left[\frac{H-\Delta l}{V_k \tau_1} - \ln p^1 \left(1 - e^{-\frac{1}{p^1}}\right) \right]},$$

где p^1, p_1 — обобщенный фактор динамической погрешности (1) при постоянной времени ЭИ, равной соответственно τ_1 и τ_2 ;

V_k — скорость перемещения акустического зонда в скважине;

H — мощность исследуемого пласта;

Δl — база измерения интервального времени;

a — отношение скоростей распространения упругих колебаний в пласте и вмещающей породе.

В свою очередь, нетрудно показать, что реакция ЭИ с постоянной времени τ_1 и следовательно и динамическая погрешность, одинаковы при воздействии на интегратор немодулированной последовательности импульсов общей длительностью t_n и прямоугольного импульса той же длительности, если выполняются следующие условия.

1. Начальные напряжения U_0 для ЭИ в обоих случаях равны при $0 < t < t'$, где t — время каротажа, t' — момент вхождения зонда в пласт.

2. Амплитуда прямоугольного импульса E при $t' < t < t_n$ равна установившемуся значению напряжения на выходе ЭИ, соответствующему измеряемому интервальному времени распространения упругих колебаний в пласте.

3. Амплитуда прямоугольного импульса E' при $t = t_n$ равна:

$$E' = E - U_0.$$

Форма прямоугольного импульса показана на рис. 1.

Таким образом, воздействие ШИМ—ФИМ последовательности сигналов на ЭИ с постоянной времени τ_1 эквивалентно при выполнении указанных условий воздействию прямоугольного импульса на ЭИ с постоянной времени τ_1 .

Выражение для напряжения на выходе ЭИ U_1 , являющегося одновременно входным воздействием для ЭМИ, запишем, пользуясь методом наложения (2) в форме:

$$U_1 = U_1' - U_0. \quad (1)$$

где

$$U_1 = E(1 - e^{-\alpha_1 t}) + U_0 e^{-\alpha_1 t}; \quad U_1 = (E - U_0)[1 - e^{-\alpha_1(t-t_n)}]; \quad \alpha_1 = \frac{1}{\tau_1}.$$

Показания X на выходе ЭМИ пропорциональны току i , протекающему через эквивалентный электрический интегратор типа «сопротивление—индуктивность» (1) $R-L$:

$$X = \beta i, \quad (2)$$

где β — чувствительность интегратора.

Ток i находим, зная реакции ЭМИ i' и i'' на составляющие правой части уравнения (1) U_1 и U_1 (3):

$$i' = \frac{E}{R} \left[1 - e^{-\alpha_1 t} - \left(1 - \frac{U_0}{E} \right) \frac{\alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2} (e^{-\alpha_1 t} - e^{-\alpha_2 t}) + \frac{U_0}{E} e^{-\alpha_2 t} \right]; \quad (3)$$

$$i'' = \frac{E - U_0}{R} \left[1 - e^{-\alpha_1(t-t_n)} - \frac{\alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2} (e^{-\alpha_1(t-t_n)} - e^{-\alpha_2(t-t_n)}) \right], \quad (4)$$

где $\alpha_2 = \frac{1}{\tau_2}$.

Согласно принципу суперпозиции, ток i равен:

$$i = i' - i''. \quad (5)$$

Пользуясь теорией электрических цепей нетрудно показать, что при последовательном соединении двух интеграторов общий коэффициент передачи системы определяется суммарной постоянной времени τ и соотношением постоянных времени интеграторов.

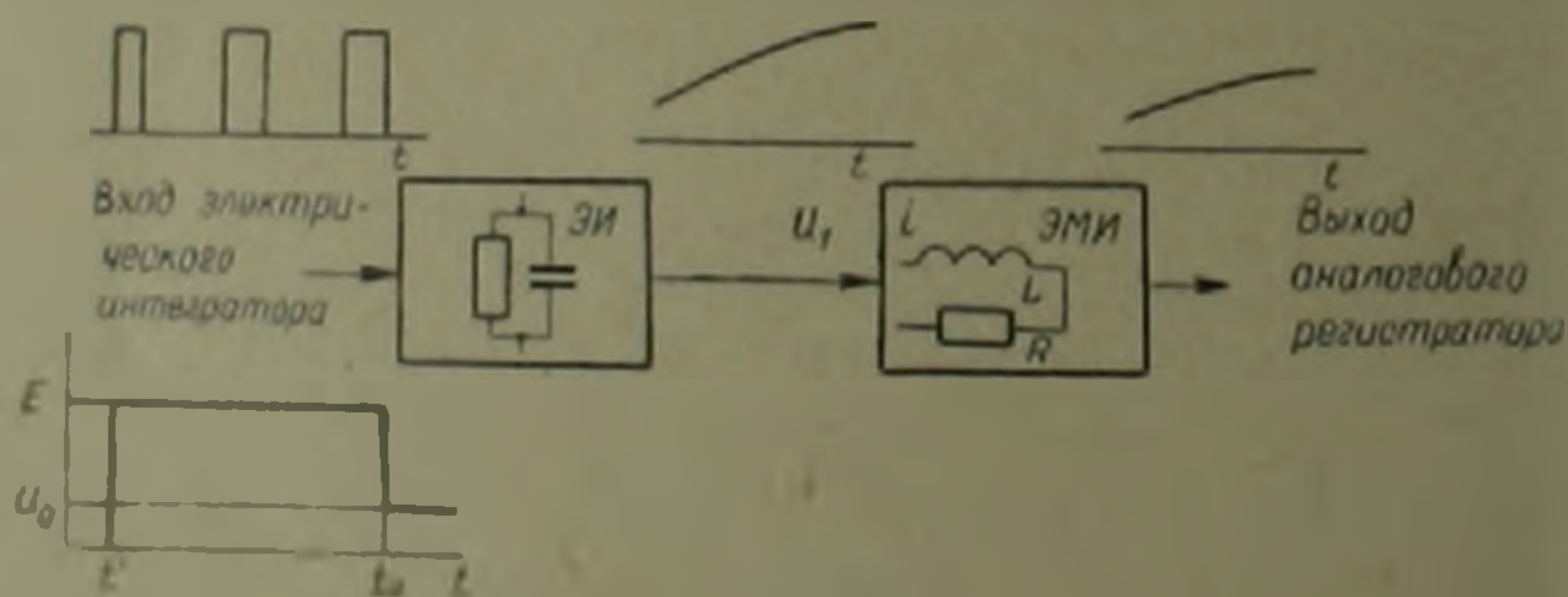


Рис. 1. Блок-схема модели измерительного канала при скоростном непрерывном акустическом каротаже

В связи с этим при решении задачи о влиянии двойного интегрирования, осуществляемого ЭИ и ЭМИ, на динамическую погрешность ДП, целесообразно найти зависимость ДП от соотношения постоянных времени τ_1 и τ_2 , исходя из условия:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \frac{1}{\alpha}. \quad (6)$$

Учитывая (6), выразим α_1 и α_2 через α :

$$\alpha_1 = \frac{(1+b)}{b} \alpha; \quad (7)$$

$$\tau_2 = (1 + b) \tau_1, \quad (8)$$

$$\text{где } b = \frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{a_2}{a_1}.$$

Областью изменения параметра b является полуинтервал $[0, \infty)$.

Подставляя значение t из уравнений (3), (4) в (5) с учетом (2), (7) и (8), получим после преобразований:

$$X = \beta \frac{E}{R} \left\{ \left| 1 - \left(1 - \frac{U_0}{E} \right) \right| \left[1 + \frac{1}{1-b} e^{-\alpha(1+b)t} (1 - e^{\alpha(1-b)t_n}) - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{b}{1-b} e^{-\frac{\alpha(1-b)t}{b}} \left(1 - e^{\frac{\alpha(1-b)t_n}{b}} \right) \right] \right\}. \quad (9)$$

Экстремальное значение времени t_m находим, приравняв нулю производную $X'(t)$:

$$X'(t) = \frac{\alpha(1+b)}{b} \left(1 - \frac{U_0}{E} \right) \left(e^{-\alpha(1+b)t} - e^{-\frac{\alpha(1-b)t}{b}} - \right. \\ \left. - e^{-\alpha(1+b)(t_m - t_n)} + e^{-\frac{\alpha(1-b)(t_m - t_n)}{b}} \right) = 0.$$

Отсюда:

$$t_m = \frac{b}{\alpha(1-b^2)} \ln \frac{1 - e^{\frac{\alpha t_n(1-b)}{b}}}{1 - e^{\alpha t_n(1-b)}}. \quad (10)$$

Исследуем поведение функций X и t_m в зависимости от параметра b . Для указанных функций очевидным является выполнение следующих равенств:

$$X(b) = X\left(\frac{1}{b}\right); \quad t_m(b) = t_m\left(\frac{1}{b}\right).$$

Отметим, что с точки зрения электрических цепей полученные равенства означают независимость результата измерения и сдвига экстремума записи диаграммы акустического каротажа от последовательности соединения ЭИ и ЭМИ.

Так как замена аргумента b на аргумент $\frac{1}{b}$ в уравнениях (9) и (10) равносильна отображению отрезка $[0, 1]$ на полуинтервал $[1, \infty)$, то для получения всей области значений функций X и t_m достаточно рассмотреть отрезок $[0, 1]$. Можно показать, что производная от этих функций по аргументу b не меняет знака внутри отрезка $[0, 1]$. Следовательно, в данной области изменения аргумента функции не имеют локальных максимума или минимума. С учетом отмеченных свойств очевидно, что функции X и t_m имеют экстремальное значение при b , равном единице.

Значения $X(b \rightarrow 0)$, $t_m(b \rightarrow 0)$ и $X(b \rightarrow 1)$, $t_m(b \rightarrow 1)$ при b , стремящемся соответственно к нулю и единице, находим, подставляя

$b = 0$, $b = 1$ в уравнения (9), (10) и раскрывая неопределенности по правилу Лопиталя. После преобразований получим:

$$X(b=0) = \beta \frac{E}{R} \left[1 - e^{-\omega_0 t_0} \left(1 - \frac{U_2}{E} \right) \right]; \quad t_m(b=0) = t_0;$$

$$X(b=1) = \beta \frac{E}{R} \left[1 - \left(1 - \frac{U_2}{E} \right) [1 + (1 + 2\omega_0 t_0) e^{-\omega_0 t_0} - \right. \right. \\ \left. \left. - [1 + 2\omega_0(t_0 - t_0)] e^{-\omega_0(t_0 - t_0)}] \right]; \quad t_m(b=1) = \frac{t_0}{1 - e^{-\omega_0 t_0}}.$$

Динамическую погрешность определяем по формуле:

$$\xi = \frac{X_{уст} - X(t_m)}{X_{уст}},$$

где $X_{уст}$ — установившееся значение отсчета на выходе ЭМИ при бесконечной мощности пласта.

Значение $X_{уст}$ находим из уравнения (2) при $t = \infty$:

$$X_{уст} = \beta \frac{E}{R}.$$

Полученные соотношения

$$t_m = t_0 \text{ при } b=0, \quad t_m > t_0 \text{ при } 0 < b < 1$$

означают, что при двойном интегрировании ($0 < b < \infty$) в отличие от однократного ($b=0$, $b=\infty$) возникает сдвиг записи диаграммы акустического каротажа относительно границы пласта, в направлении перемещения зонда.

Максимальное значение относительного сдвига δ , равно:

$$\delta_{t_m} = \frac{t_m(b=1) - t_m(b=0)}{t_m(b=0)} = \frac{1}{e^{\omega_0 t_0} - 1}.$$

Известно, что минимальная величина постоянной времени интегрирования при скоростном непрерывном акустическом каротаже, при которой ДП имеет наименьшее значение (¹), выбирается на практике из условия требуемого уровня подавления пульсаций на выходе аналогового регистратора.

В связи с этим представляет интерес найти зависимость пульсаций на выходе ЭМИ, с учетом двойного интегрирования, от постоянных времени интеграторов.

Пусть на вход ЭИ подается последовательность прямоугольных импульсов единичной амплитуды, длительностью t^* и периодом повторения T . Тогда, учитывая, что переходная характеристика h для последовательного соединения ЭИ и ЭМИ при нулевых начальных условиях описывается, как следует из (3), уравнением:

$$h = 1 - e^{-\omega_1 t} - \frac{\omega_2}{\omega_1 - \omega_2} (e^{-\omega_1 t} - e^{-\omega_2 t})$$

получим, анализируя возникающие переходные процессы методом наложения:

$$X_H = \sum_{n=0}^{N-1} \left\{ 1 - e^{-\lambda_1(t-nT)} - \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} [e^{-\lambda_1(t-nT)} - e^{-\lambda_2(t-nT)}] \right\} - \\ - \sum_{n=0}^{N-1} \left\{ 1 - e^{-\lambda_1(t-t_0-nT)} - \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} [e^{-\lambda_1(t-t_0-nT)} - e^{-\lambda_2(t-t_0-nT)}] \right\},$$

где X_H — значение отсчета на выходе ЭМД в момент времени t .

N — количество импульсов, поступивших на вход ЭИ.

Определим коэффициент пульсаций в установившемся режиме (1) при $N \rightarrow \infty$:

$$K_p = \frac{X_{H-N-1} T - t_0 + T}{X_{H-N} T} = \\ = \frac{e^{-\lambda_1 T} \lambda_2 (1 - e^{-\lambda_2 T}) (1 - e^{-\lambda_1 T}) - e^{-\lambda_2 T} \lambda_1 (1 - e^{-\lambda_1 T}) (1 - e^{-\lambda_2 T})}{\lambda_1 (1 - e^{-\lambda_1 T}) (1 - e^{-\lambda_2 T}) e^{-\lambda_1 T - t_0} - \lambda_2 (1 - e^{-\lambda_2 T}) (1 - e^{-\lambda_1 T}) e^{-\lambda_2 T - t_0}} \quad (11)$$

При этом значение сдвига во времени t' максимума пульсаций относительно момента $t = (N-1)T - t_0$ находим, исследуя на экстремум выражение для $X_{H-N-1} T - t_0 + T$:

$$t' = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \ln \frac{(1 - e^{-\lambda_2 T}) (1 - e^{-\lambda_1 T})}{(1 - e^{-\lambda_1 T}) (1 - e^{-\lambda_2 T})} \quad (11')$$

Вводя в уравнение (11) параметры $b = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$; $c = \frac{t_0}{T}$; $m = \lambda_1 T$, получим:

$$K_p = \frac{e^{-(1+b)m} (1 - e^{-(1+b)mc}) \left(1 - e^{-\frac{(1+b)m}{b}} \right) -}{e^{-(1+b)m(1-c)} (1 - e^{-(1+b)mc}) \left(1 - e^{-\frac{(1+b)m}{b}} \right) -} \\ - \frac{e^{-\frac{(1+b)m}{b}} b \left(1 - e^{-\frac{(1+b)m}{b}} \right) (1 - e^{-(1+b)m})}{- b e^{-\frac{(1+b)m(1-c)}{b}} \left(1 - e^{-\frac{(1+b)m}{b}} \right) (1 - e^{-(1+b)m})} \quad (12)$$

Находим $K_p(b \rightarrow 1)$, $t'(b \rightarrow 1)$, раскрывая неопределенность в (11'), (12), при $b \rightarrow 1$:

$$K_p(b \rightarrow 1) = \frac{e^{-2m} \left[1 - c - \frac{t'(b \rightarrow 1)}{T} \right] (1 - e^{-2m}) (e^{-2m} - 1)}{(1 - e^{-2m}) 2m (e^{-2m} - (1 - e^{-2m}) (1 - e^{-2m} + 2m e^{-2m}) -} \\ - 2m(1 - c)(1 - e^{-2m}) (1 - e^{-2m})) : \\ t'(b \rightarrow 1) = T \frac{c e^{-2m} (1 - e^{-2m}) - e^{-2m} (1 - e^{-2m})}{(1 - e^{-2m}) (1 - e^{-2m})}.$$

При $b = 0$ коэффициент пульсаций равен:

$$K_n(b = 0) = e^{m(1-c)}.$$

Расчеты показывают, что при двойном интегрировании, по сравнению с однократным, с постоянной времени, равной сумме постоянных времени отдельных интеграторов, возможно уменьшение динамической погрешности и коэффициента пульсаций. Однако оно сопровождается одновременным увеличением сдвига экстремума записи диаграммы акустического каротажа относительно границы пласта в направлении перемещения зонда в скважине. Из вышесказанного также следует, что при изучении геологического разреза невозможно обеспечить определенное, фиксированное соотношение между динамической погрешностью и коэффициентом пульсаций путем выбора соответствующего значения параметра b , поскольку это соотношение оказывается зависимым от мощности слагающих разрез пластов, изменяющейся в процессе каротажа.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии
Академии наук Армянской ССР

Ա. Ռ. ՆԱՅԻՐՈՎՈՒԿԻ

Արագացող անընդմեջ ափսոսանքով կառուածի դեպքում դինամիկական սխալի վրա տեղեկութիւններէ մշակման և գրառման ազդեցութիւնը

Յուշը է տրվում, որ արագացող անընդմեջ ափսոսանքով կառուածի դեպքում տեղեկութիւնների մշակումը և գրառումը համանման գրառիչի ինտեգրականության հաշվառումով համարժեք է էլեկտրական և էլեկտրա-մեխանիկական ինտեգրատորների հաջորդական միացման: Դա բերում է ազդանշանների դիսկրետ հաջորդականության կրկնակի ինտեգրացման: Այդ ազդանշանների անդուրյունը համեմատական է չափվող ինտեգրային ժամանակին:

Ստացված են հավասարումներ (8), (10), (11), որոնք նախադրութիւն են տալիս որոշ չափման ճշտութեան կախումը β ընդհանրացած գործոնից, α տրագութիւնների հարաբերութիւնից և K_n պոլյսացման գործակիցից:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ А. Б. Немировский, ДАН Арм. ССР, т. 48, № 1 (1969). ² Г. В. Горбовицкий, Т. В. Цербакова, Е. С. Федорова, Разведочная геофизика, вып. 15, Изд. "Недра", М., 1966. ³ А. С. Немировский, Интеграторы измерительных приборов, Изд. "Стандартгиз", М., 1960. ⁴ Р. Р. Харченко, "Электричество", № 11, М., 1955. ⁵ С. Г. Гинзбург, Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях, Изд. "Высшая школа", М., 1967. ⁶ Э. Менер, К. Мердер, Зеркальные гальванометры и приборы со световым указателем, Изд. "Госэнергоиздат", М.—Л., 1959. ⁷ Н. Э. Цыпкин, Теория линейных импульсных систем, Изд. "Физматгиз", М., 1963.