

УДК 550.834

А. Б. Немировский

О возможности уменьшения динамической погрешности при скоростном непрерывном акустическом каротаже с аналоговой регистрацией результатов измерения

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Назаровым 10/XI 1969)

При скоростном непрерывном акустическом каротаже с аналоговой регистрацией результатов измерения (СНАКАР) возникает так называемая динамическая погрешность измерения интервальной скорости⁽¹⁾. Причем существующий способ обработки получаемой информации ведет к большим значениям динамической погрешности при невысокой скорости перемещения зонда в скважине.

В настоящей работе предлагается новый способ обработки информации СНАКАР, позволяющий существенно уменьшить величину динамической погрешности в широком диапазоне изменения скорости перемещения зонда.

Предположим, что исходная последовательность импульсов, длительность которых пропорциональна измеряемому интервальному времени, модулированных, согласно ⁽¹⁾ по ширине при перемещении зонда против тонкого пласта, поступает на вход некоторой системы, осуществляющей следующие преобразования.

1. Каждый поступающий на вход импульс длительности t_n преобразуется в группу импульсов той же длительности.

2. Число импульсов в любой сформированной группе K и период повторения импульсов T_0 внутри группы связаны между собой зависимостью

$$KT_0 = T,$$

где T — период повторения импульсов исходной последовательности.

На рис. 1 показаны исходная и преобразованная последовательности импульсов, соответствующие ходу интервальной линии фазовой корреляции (ЛФК_в), получаемой при перемещении зонда с бесконечно малой скоростью против тонкого пласта.

Рассмотрим воздействие преобразованной импульсной последо-

тательности на интегрирующее $R-C$ звено, с помощью которого выделяется постоянная составляющая напряжения, пропорциональная измеряемому интервалу времени. Известно (²), что при воздействии группы K импульсов длительностью T_{0n} , следующих с периодом повто-

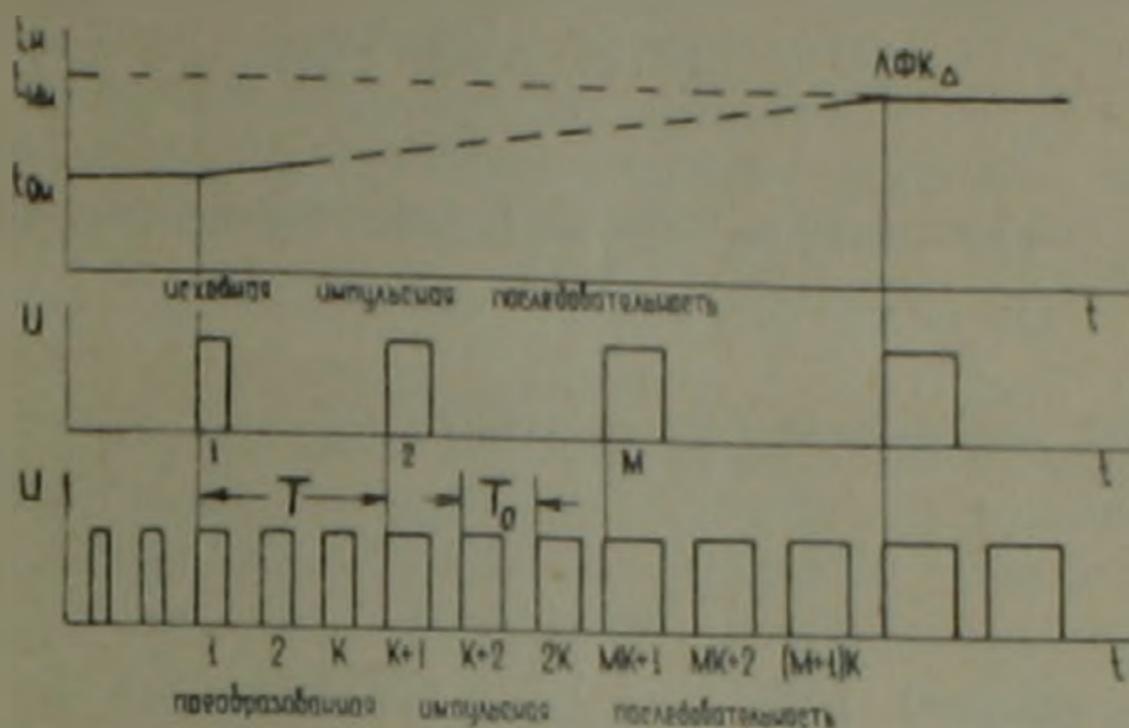


Рис. 1. Формирование многократных импульсных групп при прохождении акустического зонда против тонкого пласта

рения T_0 , на интегрирующую цепь с постоянной времени τ при ненулевых начальных условиях, напряжение на выходе цепи в момент окончания K -ого импульса равно:

$$U^{(K)} = \frac{1 - e^{-K\alpha T_0}}{1 - e^{-\alpha T_0}} (1 - e^{-\alpha t_{0n}}) + U_0 e^{-\alpha t}; \quad \alpha = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC},$$

где U_0 — начальное напряжение на конденсаторе $R-C$ цепи.

Напряжение на выходе интегрирующей цепи при воздействии импульсной последовательности, состоящей из M групп по K импульсов в каждой, находим, согласно принципу суперпозиции для линейных цепей, суммируя реакции цепи на отдельные группы:

$$U^{(MK)} = \sum_{i=1}^M \frac{1 - e^{-K\alpha T_0}}{1 - e^{-\alpha T_0}} (1 - e^{-\alpha(t_{0n} - t_{0i})}) e^{-\alpha(t - (i-1)KT_0)} + U_0 e^{-\alpha t},$$

где

$$M = \frac{\Delta l}{V T}; \quad \Delta l = \frac{t_{Mn} - t_{0n}}{M}; \quad t = (M-1)KT_0 + t_{Mn};$$

$$U_0 = \frac{1 - e^{-\alpha t_{0n}}}{1 - e^{-\alpha T_0}} e^{-\alpha(t_{0n} - t_{0i})}.$$

Здесь V — скорость перемещения акустического зонда в скважине;

t_{0n} — интервальное время распространения упругих колебаний во вмещающей породе;

t_{Mn} — интервальное время распространения упругих колебаний в тонком пласте;

Δl — приращение длительности на один импульс при широтной модуляции.

Динамическую погрешность $\delta_{H_n - \Delta l}$ при мощности пласта H_n , равной базе измерения Δl , находим согласно (1) по формуле:

$$\delta_{H_n - \Delta l} = \left(1 - \frac{U^{(МК)}}{U_{t-t_{\text{ми}}}^{(-)}} \right) 100\% \quad (1)$$

где $U_{t-t_{\text{ми}}}^{(-)}$ — напряжение на выходе интегрирующей цепи при воздействии на нее бесконечного числа импульсов длительностью $t_{\text{ми}}$.

Согласно (2), напряжение $U_{t-t_{\text{ми}}}^{(-)}$ равно:

$$U_{t-t_{\text{ми}}}^{(-)} = \frac{1 - e^{-at_{\text{ми}}}}{1 - e^{-aT_0}}$$

Подставляя значения $U^{(МК)}$ и $U_{t-t_{\text{ми}}}^{(-)}$ в уравнение (1), получим после преобразований с учетом того, что для аппаратуры СНАКАР выполняются неравенства $\Delta l \ll KT_0$, $aT_0 \ll 1$:

$$\delta_{H_n - \Delta l} \approx e^{-МК \cdot T_0} (1 - a),$$

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

Согласно (3), общая динамическая погрешность при $H_n > \Delta l$ равна:

$$\delta = \delta_{H_n - \Delta l} e^{-\frac{\Delta H_n}{v}}, \quad (1)$$

где $\Delta H_n = H_n - \Delta l$.

Известно (4), что теоретически получение сколь угодно высокой точности измерения интервального времени распространения упругих колебаний в пласте возможно в случае бесконечно малой скорости перемещения акустического зонда в скважине при условии

$$\Delta H_n = 0.$$

Влияние конечной скорости перемещения зонда на точность измерения при СНАКАР проявляется, в частности, в том, что для уменьшения возникающей динамической погрешности должно выполняться неравенство

$$\Delta H_n > 0.$$

Поэтому величину ΔH_n целесообразно рассматривать как расширение необходимой для уменьшения погрешности мощности пласта по сравнению с теоретическим пределом, вызванное влиянием скорости перемещения зонда. При этом, очевидно, различным значениям обобщенного фактора динамической погрешности ρ (1) будут соот-

ответствовать различные величины минимальных ΔH_0 , начиная с которых возможно обеспечение требуемой точности измерения.

Оценим возможный выигрыш i по максимально допустимой скорости перемещения зонда в скважине, не вызывающей уменьшения точности измерения, при новом способе обработки информации СНАКАР ($K > 1$) по сравнению с известным ($K = 1$).

Для этого введем следующие параметры.

1. Коэффициент улучшения точности измерения исследуемого способа по сравнению с известным ψ :

$$\psi = \frac{\delta_1}{\delta_K}$$

где индексы K и 1 относятся, также как и в последующих уравнениях, соответственно к исследуемому и известному способам.

2. Коэффициент уменьшения расширения мощности пласта θ , необходимой для обеспечения заданной точности измерения:

$$\theta = \frac{\Delta H_{нк}}{\Delta H_{н1}}$$

Определим i , решая уравнение:

$$\delta_1 = \psi \delta_K \quad (3)$$

Величину δ_1 находим из уравнения (2) при $K = 1$:

$$\delta_1 = \delta_{1H_{н1}} e^{-\frac{\Delta H_{н1}}{V_1}}$$

Подставляя значения δ_1 и δ_K в уравнение (3) при

$$\Delta H_{н1} \neq \Delta H_{нк}, \quad V_1 \neq V_K, \quad \tau_1 = K \tau_K$$

получим после преобразований:

$$i = \frac{K}{\theta} \frac{1 + \frac{\Delta l}{\Delta H_1} \theta}{1 - \frac{\Delta l}{\Delta H_1} (1 + p_1 \ln \psi)} \quad (4)$$

где $p_1 = \frac{V_1 \tau_1}{\Delta l}$,

Условие $\tau_1 = K \tau_K$ введено в связи с тем, что при повышении частоты повторения в многократных группах импульсов в K раз становится возможным уменьшить постоянную времени интегрирующей цепи в то же число раз без изменения уровня пульсаций регистрируемого напряжения.

Из уравнения (4) следует, что $i = K$ при $\theta = \psi = 1$.

Это свидетельствует о высокой эффективности системы при $K > 1$ в повышении точности измерения, так как та же величина динамической погрешности получается без увеличения мощности пласта при ско-

рости перемещения зонда в K раз большей по сравнению с известным способом.

Способ обработки информации СНАКАР при $K > 1$ может быть реализован путем использования двух рециркуляторов, управляемых соответственно передними и задними фронтами каждого импульса исходной последовательности сигналов. Блок-схема устройства для обработки информации СНАКАР показана на рис. 2. На вход устройства

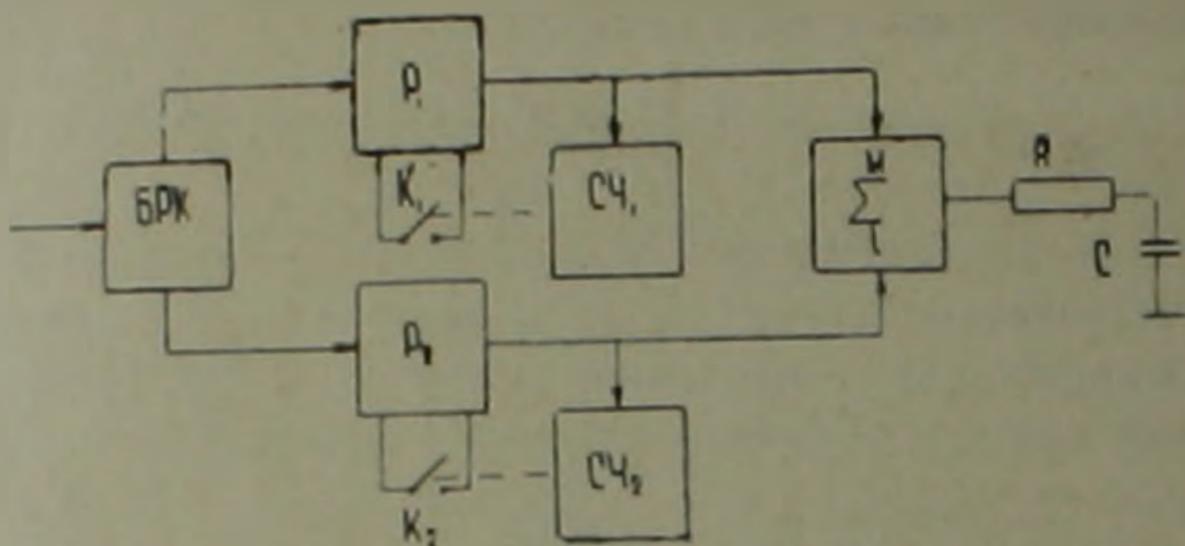


Рис. 2. Блок-схема устройства для формирования многократных импульсных групп в предлагаемом способе обработки информации СНАКАР

подаются импульсы исходной последовательности, следующие с периодом срабатывания ультразвуковых излучателей акустического зонда T . Длительность импульсов пропорциональна измеряемому интервальному времени. В блоке распределения по каналам (БРК) происходит выделение из каждого сигнала исходной последовательности импульсов, соответствующих началу и концу измеряемого интервала времени, и распределение их по двум каналам. Оба канала идентичны и состоят из рециркуляторов P_1 и P_2 с задержанной обратной связью, которая замыкается через ключи K_1 и K_2 . Ключи управляются соответственно счетчиками числа импульсов $СЧ_1$ и $СЧ_2$, входы которых соединены с выходами рециркуляторов.

Ввиду идентичности достаточно рассмотреть работу одного канала. В исходном состоянии, до подачи на вход БРК сигналов, ключ K_1 замкнут. После подачи на вход рециркулятора P_1 импульса, соответствующего, предположим для определенности, переднему фронту сигнала исходной последовательности, в кольце рециркулятора начинают циркулировать импульсы с периодом повторения T_0 , определяемым величиной задержки обратной связи. После прохождения K циркуляций счетчик $СЧ_1$ выдает сигнал, разрывающий на некоторое время с помощью ключа K_1 цепь обратной связи. Тем самым рециркулятор возвращается в исходное состояние. С приходом следующего сигнала, соответствующего переднему фронту импульса исходной последовательности, процесс формирования многократной группы импульсов повторяется. Аналогичным образом работает второй канал, на вход которого с БРК подаются сигналы, соответствующие заднему фрон-

ту каждого импульса исходной последовательности. Сигналы с выходов обоих рециркуляторов суммируются в сумматоре Σ , после чего поступают на вход преобразователя Пр, который преобразует сдвиг во времени между многократными группами в длительность импульсов. Сформированная последовательность импульсов подается затем на вход интегрирующей цепи с уменьшенной пропорционально K постоянной времени.

Таким образом, предлагаемая система обработки информации СНАКАР может быть реализована аппаратурно. При этом она позволяет:

1. Обеспечить существенный выигрыш по допустимой скорости перемещения зонда, максимальное значение которого равно K при $\psi = \theta = 1$.

2. Повысить точность измерения интервального времени без снижения скорости перемещения зонда, причем $\psi = \psi_{\max}$ при $\lambda = \theta = 1$.

3. Уменьшить требуемое расширение пласта без снижения скорости перемещения зонда, причем $\theta = \theta_{\max}$ при $\psi = \lambda = 1$.

Необходимо подчеркнуть, что практическое значение предлагаемой системы при любом способе аппаратурной реализации состоит главным образом в том, что она позволяет сократить время, необходимое для проведения каротажа методом СНАКАР. Вследствие этого, использование ее предпочтительнее, очевидно, при геофизических исследованиях глубоких скважин.

Институт геофизики и
инженерной сейсмологии
Академии наук Армянской ССР

Ա. Բ. ՆԻՐՈՎՍԿԻ

Արագագոգ անրնդմեջ ախուստիկական կարոտաժի դեպքում դինամիկական սխալի փոփոցման հնարավորության մասին շափումների արդյունքների համանման գրառումով

Անրնդմեջ ախուստիկական կարոտաժի դեպքում ցույց է տրված դինամիկական սխալի էստիմացիայի փոփոցման հնարավորությունը:
Կարոտաժի քույրատրեի մաքրման արագությունը և առաջարկված մեթոդի հաշման հզարտաժի քույրատրեի մաքրման արագությունը, տրվում է շահելու գեահատականը:
Առաջարկվում է ինտերվալային արագության շափման հոր մեթոդի սարքային իրականացման տարրերակ:

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

¹ А. Б. Немировский. ДАН Арм. ССР, т. 48, № 1 (1969). ² Я. С. Ицхоки. Импульсные устройства, Изд. «Советское радио», М., 1959.