

ВЫЧИСЛЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ СЕЙСМОГРАММ ПО КРИВЫМ АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА

ГРО Э. — КАРАШ ДЬ. — КОРВИН Г. — ЛЕНДВАИ К. — ШИПОШ Й.*

ВВЕДЕНИЕ

В сейсмическом отделе Геофизического института им. Этвеша уже давно возник вопрос о необходимости получения синтетических сейсмограмм, т. е. искусственных сейсмограмм, вычисляемых с использованием коэффициентов отражения, определяемых по непрерывной кривой времени пробега волн, а также соответствующим образом подобранного первичного сигнала. Однако, решению этой задачи препятствовало отсутствие необходимой для этой цели аппаратуры акустического каротажа. В Венгрии к работам по *акустическому каротажу* можно было приступить только после приобретения в 1968 г. у Национального предприятия «Геофизика» в Лейпциге аппаратуры типа УСБА-21.

В сейсмическом отделе работы по изучению теории синтетических сейсмограмм проводятся с 1967 г. Уже в то время были составлены программы для вычисления синтетических сейсмограмм. Первые опытные работы на фактическом материале проводились в 1969 г. после внедрения аппаратуры УСБА-21. Как нам известно, в Венгрии до сих пор не применялись известные из иностранной литературы способы составления синтетических сейсмограмм, хотя последние обладают рядом преимуществ, не достигаемых иным путем. Хотя эти способы известны из литературы, здесь мы остановимся на коротком изложении основных из них.

Первоначальная задача, решение которой потребовало составления синтетических сейсмограмм, заключалась в необходимости найти путь для выделения *фактических отражающих горизонтов* — главным образом опорных — в отдельных районах работ и для их корреляции по сейсмограммам МОВ.

С этим тесно связан вопрос о *кратных отражениях*. Синтетические сейсмограммы можно составлять с кратными волнами и без них. Следовательно, существует возможность распознавания и выделения этих волн на сейсмических записях МОВ.

Сопоставление фактических записей МОВ с синтетическими сейсмограммами позволяет выявить отражения (или горизонты), «*перекрытые*» на стандартных записях помехами, кратными волнами и т. д., но явно выделяющихся на синтетических сейсмограммах.

Синтетические сейсмограммы позволяют обнаружить *истинный характер* как одно-, так и многократно отраженных волн, и, поскольку при их вычислении используются различные первичные сигналы, выяснить степень *поглощения частоты* различными участками геологического разреза. А при помощи первичного сигнала с изменяющейся во времени частотой, можно учесть осо-

* Дата поступления — 7 апреля 1970 г. Венгерский геофизический институт им. Л. Этвеша

бенность верхней части разреза, заключающуюся в более интенсивном поглощении более высоких частот. Это позволяет соответствующим образом подбирать параметры применяемой фильтрации и регулировки амплитуд, отчасти для выделения отдельных горизонтов и отчасти для подавления кратных волн.

Синтетические сейсмограммы способствуют более точному вычислению скоростей по годографам отраженных волн, благодаря уточненному выделению отражений.

В области геологической интерпретации данных синтетические сейсмограммы помогают повысить уверенность опознавания отдельных горизонтов, и их корреляции между профилями, а также увеличить надежность прослеживания различных своеобразных стратиграфических и структурных элементов, благодаря изучению истинного характера отражений.

Однако, необходимо указать и на затруднения, которые могут возникать, в частности, в условиях молодых бассейнов: в верхней части их разрезов мощностью в сотни метров или больше, в отдельных случаях акустический каротаж может давать неуверенные или вовсе неиспользуемые результаты. Эти затруднения, как правило, устраняются путем исследования скважины методами сопротивления, ГГК и сейсмического каротажа, а также с использованием так назыв. формулы Фауста. Ниже излагаемый материал — поскольку кривая акустического каротажа относится только к определенному интервалу глубин — должен рассматриваться с учетом указанного ограничения, так как в нем не содержатся возможные кратные волны, связанные с верхней частью разреза.

Сам акустический каротаж, как и все виды измерений, имеет свои характерные источники погрешностей. Более подробно они будут рассматриваться в добавлении II к настоящей работе.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ОБРАБОТКИ

Вычисления проводились по кривой акустического каротажа (рис. 1) скважины, пробуренной в районе с. Надьката.*

Вблизи от скважины протягиваются сейсмические профили Нк-7 и Нк-14, проведенные Сейсморазведочным предприятием Треста нефтяной и газовой промышленности в 1964 г. методом отраженных волн. Таким образом имелась возможность сопоставить синтетические сейсмограммы с полевыми записями. Акустический каротаж был проведен в интервале глубин от 902 до 1466 м.

Обработка материала проводилась в следующие этапы:

а) Кодирование: выяснение вопросов квантования

Кодирование данных осуществлялось при помощи полуавтоматического устройства, разработанного отделом промысловой геофизики Института. Это устройство через дискретные шаги отсчитывает данные, представленные в

* Принцип акустического каротажа (т. е. каротажной аппаратуры) описывается в Дополнении II.

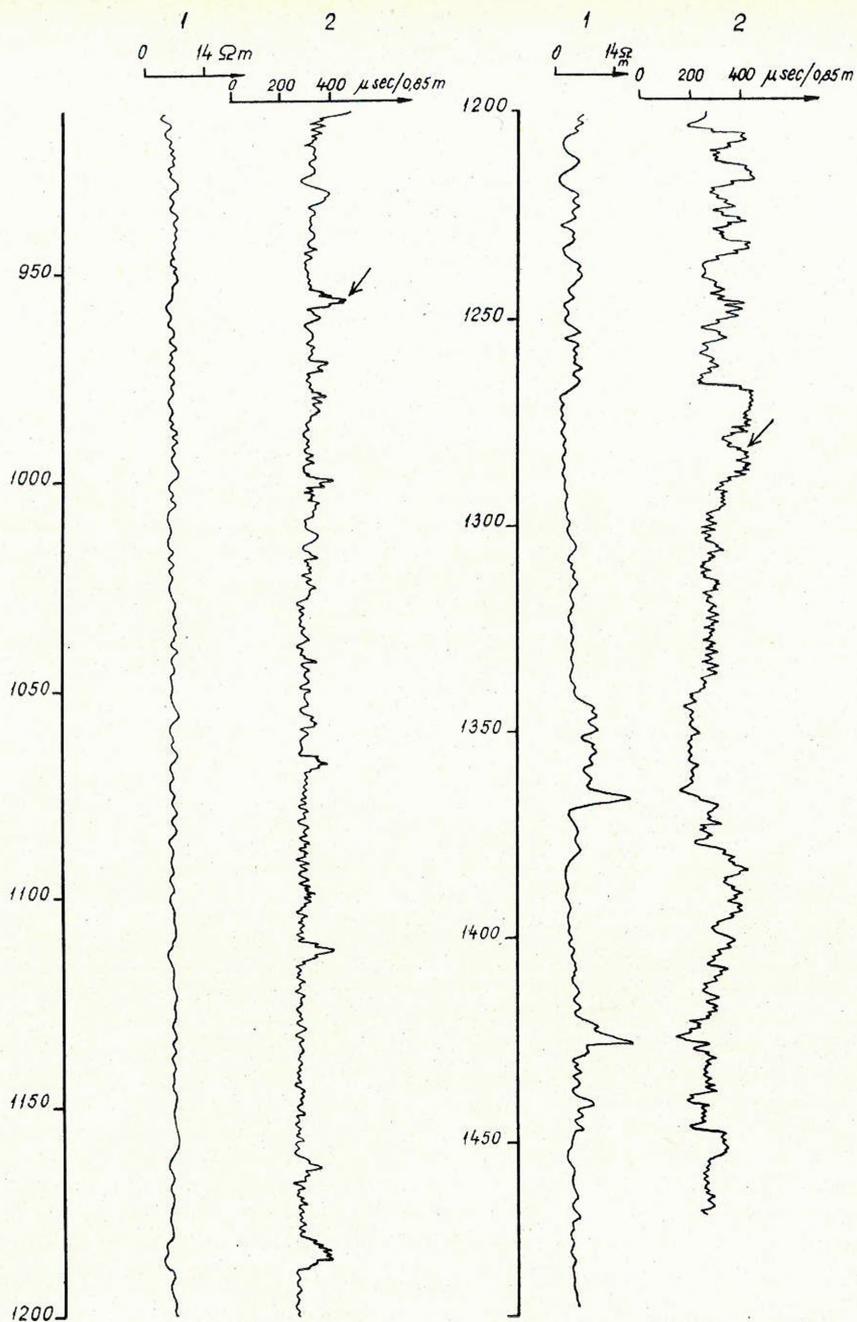


Рис. 1. Отрезок использованной кривой акустического каротажа (Отдел промышленной геофизики Геофизического института им. Этвеша, 1968)

1. ábra: Részlet a felhasznált akusztikus karotázsszelvényből (ELGI Mélyfúrási Geo-fizikai Osztály, 1968)

Fig. 1 Part of the acoustic log used (Well-logging Department of the ELGI, 1968)

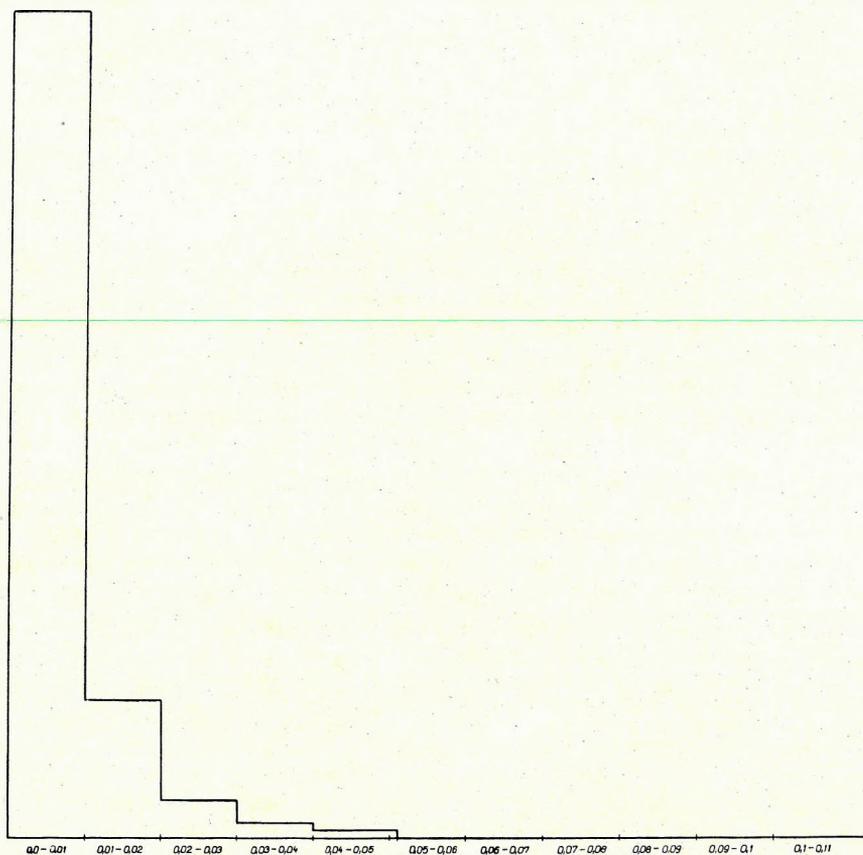


Рис. 2. Гистограмма погрешности квантования, вычисленная с использованием 1000 данных. $\Delta = 20$ см

2. ábra: Mintavételezési hiba hisztogramja 1000 adatból számítva. $\Delta = 20$ cm

Fig. 2 Histogram of sampling error, computed from 1000 data. $\Delta = 20$ cm

графическом виде и перфорирует их в так называемом коде Грея на 5-дорожечную перфоленту.* Затем информация уже может обрабатываться с использованием соответствующей программы. На данном устройстве возможно применять шаги квантования 0,25, 0,5, 1 и 2 мм. (1 мм записи соответствует интервалу глубин, равному 20 см.)

Были проведены исследования для определения *подходящего шага квантования*. При этом критерием считалась возможность восстановления пропущенных данных линейной интерполяцией с небольшими относительными

* Кодирующее устройство и код Грея описываются в работе Салаи М., публикуемой в ближайшем будущем.

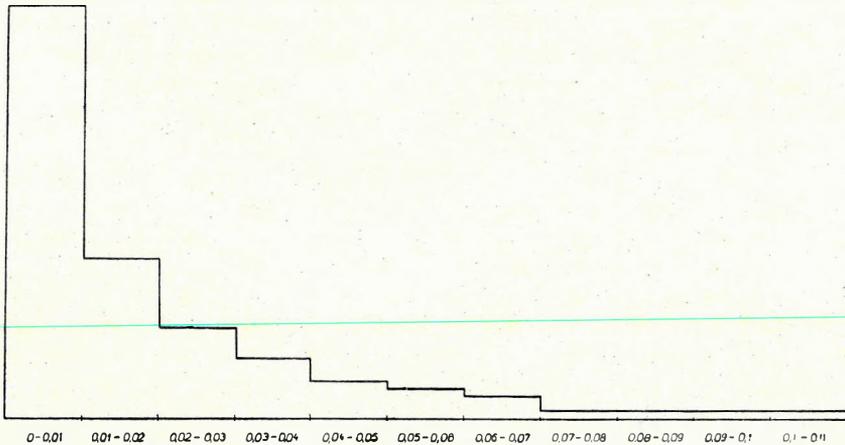


Рис. 3. Гистограмма погрешности квантования, вычисленная с использованием 1000 данных. $\Delta = 40$ см

3. ábra: Mintavételezési hiba histogramja 1000 adatból számítva. $\Delta = 40$ cm

Fig. 3 Histogram of sampling error, computed from 1000 data. $\Delta = 40$ cm

погрешностями, точнее, применяя обозначения изучаемой функции $t(x)$ и шага квантования — Δ , — выполнение соотношения

$$\left| t\left(x_i + x_{i+1}\right) - \frac{t(x_i) + t(x_{i+1})}{2} \right| \leq \varepsilon \left| t\left(\frac{x_i + x_{i+1}}{2}\right) \right| \quad (1)$$

где $x_i = i \cdot \Delta$.

Составлены гистограммы зависимости распределения относительных погрешностей ε от шага квантования Δ (рис. 2, 3). Из рисунков видно, что при шаге $\Delta = 20$ см получают менее значительные погрешности, но для практических целей подходящим шагом может быть $\Delta = 40$ см. Следует заметить, что с теоретической точки зрения правильно определить шаг квантования можно по теореме Шаннона с учетом спектра записи. Для практических целей можно применять и вышеуказанный, менее трудоемкий статистический анализ.

б) Вычисление коэффициентов отражения

Вычисление синтетических сейсмограмм осуществляется по методу «неизменяющийся прослой» («invariant imbedding») Беллмана (см. Дополнение I). В данном методе (как и в большинстве методов) среда подразделяется на слои с одинаковыми временами проникновения (в данном случае равными 1 мсек). При наличии двух слоев коэффициенты отражения и трансмиссии выражаются соотношениями

$$r_{12} = \frac{\rho_1 v_1 - \rho_2 v_2}{\rho_1 v_1 + \rho_2 v_2} \quad (2)$$

$$t_{12} = \frac{2\rho_1 v_1}{\rho_1 v_1 + \rho_2 v_2} \quad (3)$$

где v_1, v_2, ρ_1, ρ_2 — соответственно величины скорости и плотности обоих пластов. При отсутствии данных о плотностях, применяется общепринятое приближение $\rho \equiv 1$.

Зонд акустического каротажа записывает зависимость времени t , необходимого для пробега пути, соответствующего расстоянию между двумя датчиками — 85 см — от глубины $h[t(h)]$. По функции $t(h)$ сначала определялось время $T(x)$, соответствующее времени пробега волны от глубины 902 м до $(902+x)$ м:

$$T(x) = \frac{1}{0.85} \int_{902}^{902+x} t(h) dh \approx \frac{\Delta}{0.85} \sum_{902 \leq h_i \leq 902+x} t(h_i) \quad (4)$$

где Δ — шаг квантования, а $h_i = 902 + i \cdot \Delta$.

По величинам $T(x)$ можно определить слои времени и их скорости. Границы пластов получаются по величинам x_k , удовлетворяющим уравнениям

$T(x_k) = k \quad k=0, 1, 2, \dots$ мсек. А скорость k -го пласта равна

$$v_k = \frac{x_k - x_{k-1}}{0.001 \text{ sec}} \quad (5)$$

Расчетные кривые скоростей представлены на рис. 4, 5, для шагов квантования $\Delta = 20$ см и $\Delta = 40$ см. Кривые, вычисленные двумя различными способами, хорошо согласуются между собой (при корреляционном коэффициенте равном 0,998). При этом верхняя часть разреза, не изученная акустическим каротажем, считалась однородной, а величины скорости брались из полученной в этом районе кривой средних скоростей (Варкони, 1966). Для контроля было проверено совпадение средних скоростей, полученных по кривой акусти

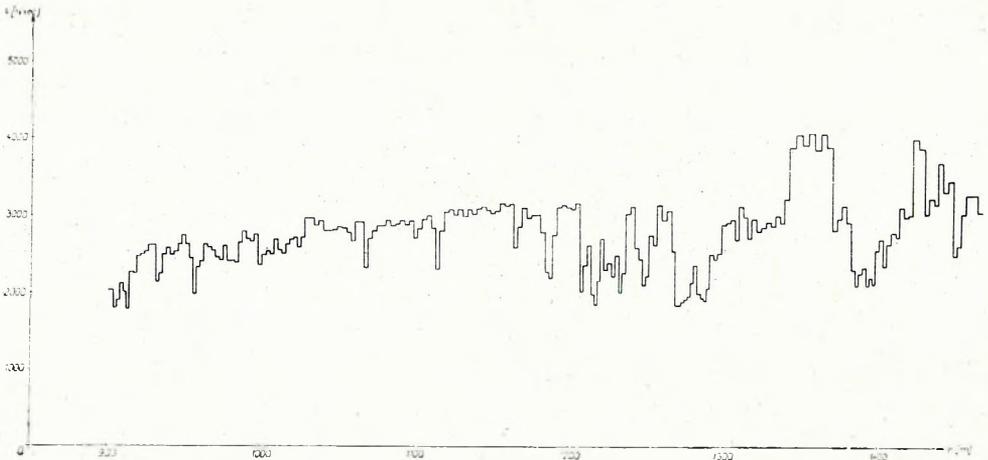


Рис. 4. Зависимость пластовых скоростей от глубины при шаге квантования $\Delta = 20$ см
4. ábra: Rétegssebességek a mélység függvényében, $\Delta = 20$ cm mintavételezés esetén
Fig. 4 Layer velocities as function of depth; sampling interval $\Delta = 20$ cm

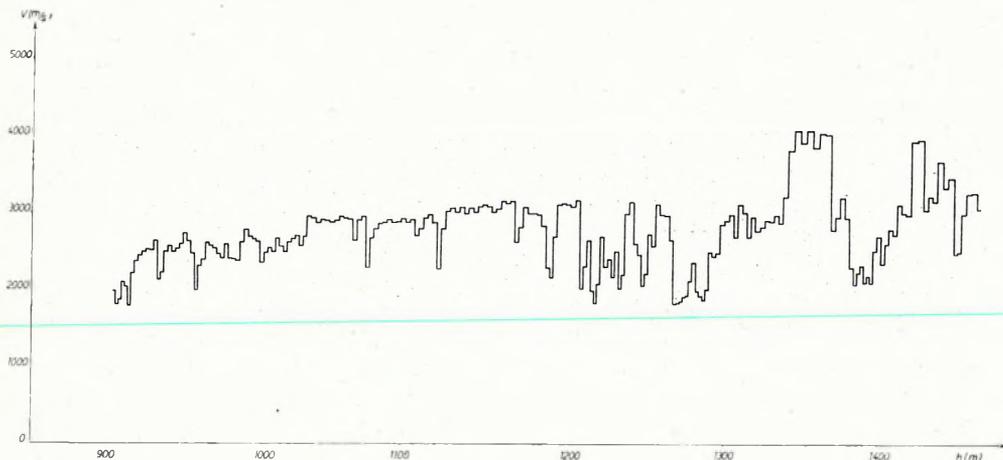


Рис. 5. Зависимость пластовых скоростей от глубины при шаге квантования $\Delta=40$ см
 5. ábra: Rétegebességek a mélység függvényében, $\Delta=40$ cm mintavételezés esetén
 Fig. 5 Layer velocities as function of depth; sampling interval $\Delta=40$ cm

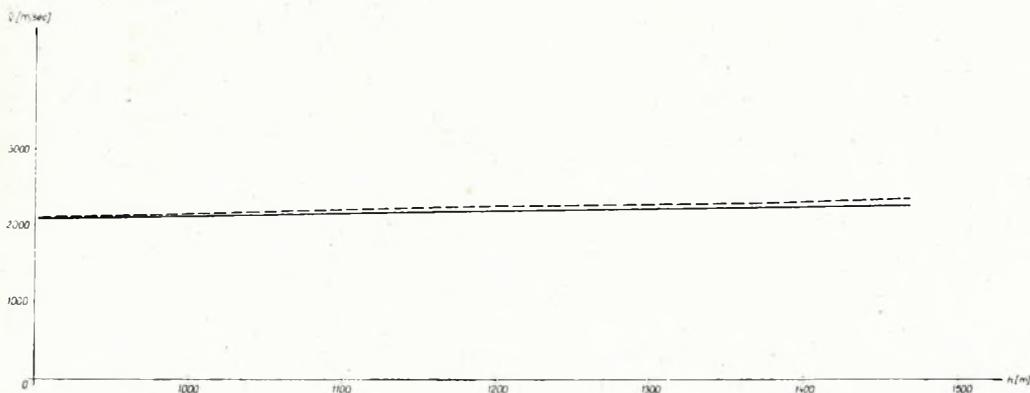


Рис. 6. Сопоставление средних скоростей:
 ————— кривая средних скоростей, полученная по кривой акустического каротажа
 - - - - - кривая средних скоростей, полученная по сейсморазведочным данным
 6. ábra: Átlagebességek összehasonlítása: ————— akusztikus szelvényből számított görbe; - - - - - szeizmikus módszerrel nyert átlagebesség
 Fig. 6 Comparison of mean velocities: ————— from acoustic log; - - - - - from seismic data

ческого каротажа с средними скоростями, определенными по сейсмическим данным (рис. 6), причем для участка до 902 м предполагалось согласие. По пластовым скоростям (при пренебрежении плотностями) получают коэффициенты (2); (3) (рис. 7).

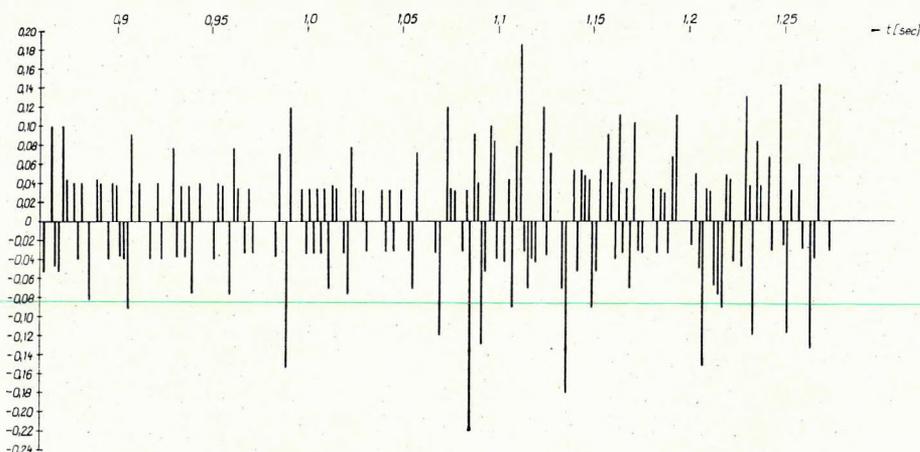


Рис. 7. Зависимость коэффициентов отражения от времени вступления
 7. ábra: Reflexiók együtthatók a beérkezési idő függvényében
 Fig. 7 Reflection coefficients as function of arrival time

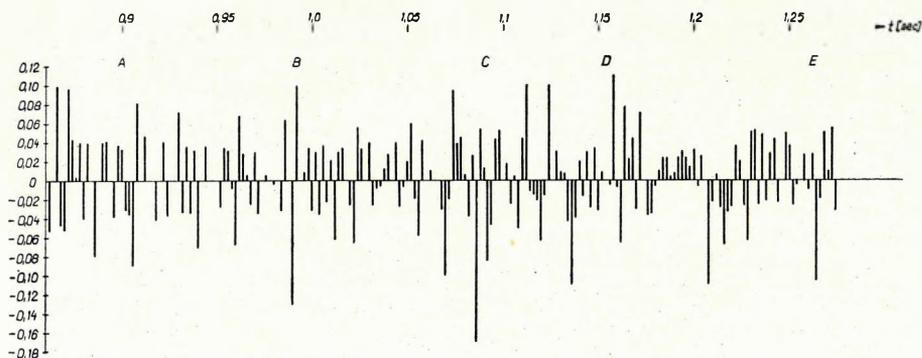


Рис. 8. Импульсный сейсмический канал
 8. ábra: Impulzusos szeizmikus csatorna
 Fig. 8 Seismic impulse-channel

в) Вычисление синтетических сейсмограмм

С использованием коэффициентов отражения для интервала глубин, соответствующего кривой акустического каротажа, была вычислена *импульсная сейсмограмма*. Она содержит все однократные и кратные отражения, которые могут быть вычислены (рис. 8). Вычисления действительны для нормального падения, т. е., практически моделируется трасса сейсмоприемника, расположенного у пункта взрыва. (При вводе динамических поправок можно аппроксимировать и многоканальную сейсмограмму.) Сферическое и неупругое рассеивание не учитывалось.

Синтетическая сейсмограмма получается путем конволюции импульсной сейсмограммы по форме сигнала. При рассматриваемых вычислениях применялась форма сигнала, характерная для данного района и для данной глубины (рис. 9), которая была взята из сейсмограммы ПВ 66⁰⁰ профиля Нк-7 (1964 г., Сейсморазведочное предприятие Треста нефтяной и газовой промышленности). Синтетическая сейсмограмма представлена на рис. 10. Для сопо-

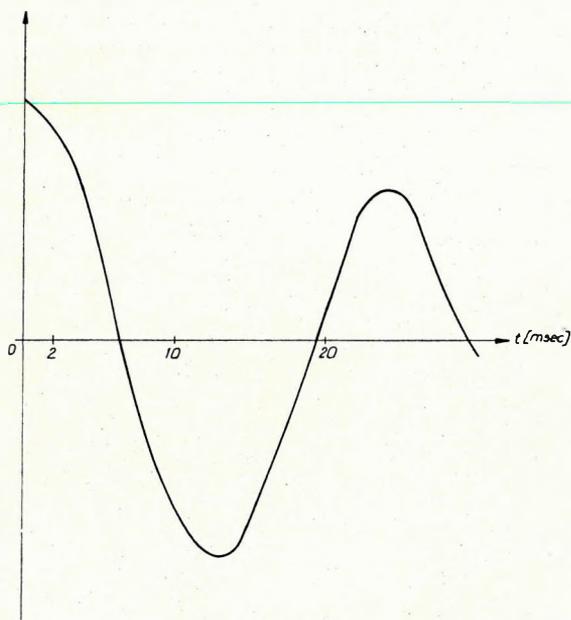


Рис. 9. Исползованная форма сигнала

9. ábra: A felhasznált jelalak

Fig. 9 Applied signal form

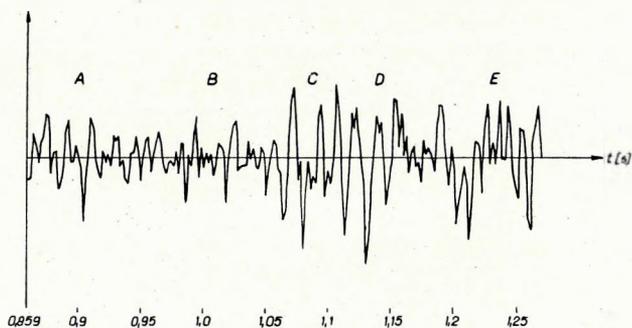


Рис. 10. Синтетический сейсмический канал

10. ábra: Szintetikus szeizmikus csatorna

Fig. 10 Synthetic seismic channel

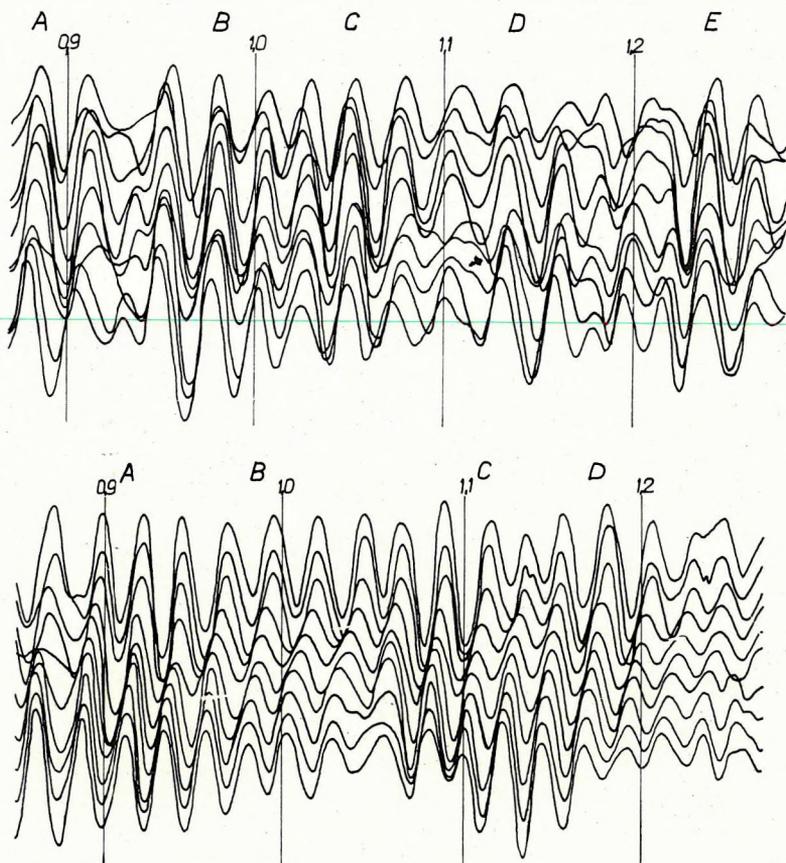


Рис. 11. Отрезки сейсмограмм, полученных в ПВ 66⁰⁰ профиля Нк-7 (а) и в ПВ 74⁴⁰ профиля Нк-14 (б) (Сейсморазведочное предприятие Треста нефтяной и газовой пром. 1964 г.)

11. ábra: Részletek az Nk-7 Rp. 66⁰⁰ (a) és Nk-14 Rp. 74⁴⁰ (b) szeizmogramokból. (OKGT SzKÜ, 1964)

Fig. 11 Details of seismic records: a) Profile Nk-17, S. P. 66⁰⁰; b) Profile Nk-14, S. P. 74⁴⁰ (OKGT SzKÜ, 1964)

ставления здесь приводятся и соответствующие отрезки полевых записей (рис. 11). Отражения, выделяющиеся на синтетической сейсмограмме и на отрезках полевых записей, хорошо согласуются между собой.

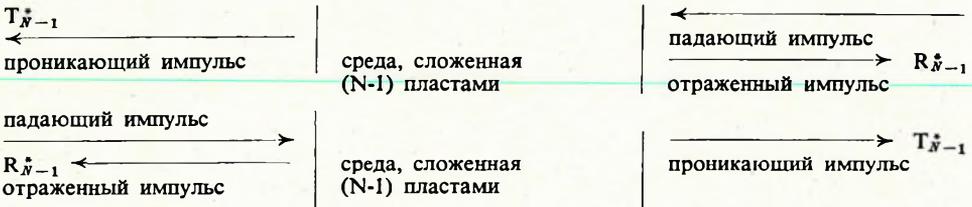
ВЫВОДЫ

По имеющемуся небольшому объему фактического материала, само собой разумеется, нельзя получить полную картину о применимости синтетических сейсмограмм. Перед нами была лишь поставлена цель разработать применимый метод для обработки данных акустического каротажа.

Дополнение I.

Короткое описание способа вычисления синтетической сейсмограммы

В соответствии с методом «неизменного просяла» (invariant imbedding) (БЕЛЛМАН—КАЛАБА, 1956) задача сводится к двухэтапной задаче, благодаря чему для функции импульсного ответа получаются рекуррентные соотношения. Любая неоднородная среда, слагающаяся из $N-1$ пластов, характеризуется следующими четырьмя величинами: R_{N-1}^* ; T_{N-1}^* ; R_N ; T_N . Их объяснение сводится к следующему:



Каждая из величин R_{N-1}^* ; T_{N-1}^* ; R_N ; T_N представляет собой бесконечный полином переменной

$$Z^{1/2} = \exp(-j\omega\tau/2),$$

$\tau = 2$ мсек (см., напр. РОБИНСОН—ТРЕЙТЕЛ, 1964).

Нам необходимы коэффициенты Френсела, относящиеся к границам элементарных пластов:

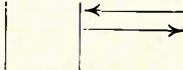
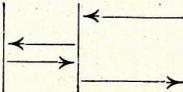
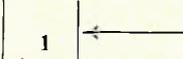
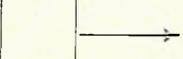
$$\begin{aligned} \Gamma_N &= \frac{\rho_{N-1}v_{N-1} - \rho_N v_N}{\rho_N v_N + \rho_{N-1}v_{N-1}}, \\ \Gamma_N^* &= \frac{\rho_N v_N - \rho_{N-1}v_{N-1}}{\rho_N v_N + \rho_{N-1}v_{N-1}}, \\ t_N &= \frac{2\rho_{N-1}v_{N-1}}{\rho_N v_N + \rho_{N-1}v_{N-1}}, \\ t_N^* &= \frac{2\rho_N v_N}{\rho_N v_N + \rho_{N-1}v_{N-1}} \end{aligned} \tag{6}$$

где Γ_N ; t_N касаются волны, падающих справа, а Γ_N^* ; t_N^* волн, падающих слева.

Величины Γ_N ; t_N ; Γ_N^* ; t_N^* связаны между собой следующими соотношениями Стокса:

$$\begin{aligned} \Gamma_N + \Gamma_N^* &= 0, \\ t_N t_N^* &= 1 - \Gamma_N^2, \\ t_N + t_N^* &= 2. \end{aligned} \tag{7}$$

Допустим, что для среды, сложенной $(N-1)$ пластами, уже известны функции ответа R_{N-1}^* ; T_{N-1}^* ; R_{N-1} ; T_{N-1} и добавим к неоднородной среде дополнительный N -ый пласт. В этом случае напр. величина R_N^* слагается из следующих факторов (ДЭРБИ—НЕЙДЕЛЛ, 1966; ЭДЭМС—ДЕНМАН, 1966):

$R_N^* = r_N$ (Отражение от границы N-ого слоя)			
$+ t_N$ Прохождение через границу N-ого слоя	$\cdot Z^{1/2}$ (распространение налево)		
$\cdot R_{N-1}^*$ (коэффициент отражения неоднородн. слоя)	$\cdot Z^{1/2}$ (распространение направо)	$\cdot t_N'$ (проникновение через границу N-ого слоя слева)	
$+ t_N$ (прохождение через границу слоя)	$\cdot Z^{1/2}$ (распространение 1)		
$\cdot R_{N-1}^*$ (отражение от неоднородного слоя)	$\cdot Z^{1/2}$ (распространение 2)		
$\cdot r_N'$ (отражение от N-ого слоя)	$\cdot Z^{1/2}$ (распространение 3)		
$\cdot R_{N-1}^*$ (отражение от неоднородн. слоя)	$\cdot Z^{1/2}$ (распространение 4)	$\cdot t_N'$ (прохождение слева)	

+ члены более высокого порядка.

В выражении R_N^* члены 2, 3 и т. д. образуют геометрический ряд, следовательно

$$R_N^* = r_N + \frac{t_N t_N' R_{N-1}^* Z}{1 - r_N R_{N-1}^* Z};$$

или, при использовании формул Стокса:

$$R_N^* = \frac{r_N + Z R_{N-1}^*}{1 + R_{N-1}^* r_N Z} \quad (8)$$

По подобным соображениям:

$$T_N^* = \frac{t_N Z^{1/2} T_{N-1}^*}{1 + R_{N-1}^* r_N Z}, \quad (9)$$

$$R_N = \frac{R_{N-1} + r_N Z (R_{N-1} R_{N-1}^* - T_{N-1} T_{N-1}^*)}{1 + R_{N-1}^* r_N Z}, \quad (10)$$

$$T_N = \frac{t_N Z^{1/2} T_{N-1}}{1 + R_{N-1}^* r_N Z} \quad (11)$$

Начальные величины рекуррентных формул (8)—(11):

$$R_1^* = r_1 \quad R_1 = r_1' = -r_1 \quad (12)$$

$$T_1^* = r_1 \quad T_1 = t_1' = 1 - r_1$$

Для вычисления синтетической сейсмограммы составляется ряд

$$\bar{R}_N = \frac{R_N + 2r_1 + 1}{1 + r_1}$$

получаемый из R_N линейной трансформацией.

Решая формулы (8)—(12) по \bar{R}_N , получаем следующие рекуррентные соотношения (ДЭРБИ—НЕИДЕЛЛ, 1966; формулы (26), (27), (36)):

$$A_N = A_{N-1} + Z r_N E_{N-1}$$

$$E_N = r_N A_{N-1} + Z E_{N-1}$$

$$R_N(Z^{N-1}) = -r_N - \sum_{i=0}^{N-2} A_N(Z^{N-1-i}) R_{i+1}(Z^i)$$

$$(N \geq 2)$$

и

$$A_1 = 1; E_1 = r_1; \bar{R}_1 = 1.$$

Величины A_N ; E_N представляют собой вспомогательные ряды для рекуррентных формул. Величина $\bar{R}(Z^k)$ означает коэффициент Z^k в полиноме.

Следует заметить, что вместо вышеизложенного длительного вывода, рекуррентные соотношения (8)—(11) легко и удобно получаются при помощи стандартных методов вычисления линейных сетей (signal flow graphs) (ЭДЭМС—ДЕНМАН, 1966; МЭЗОН—ЦИММЕРМАН, 1960).

Методы теории графов позволяют рассмотреть и случай глубоко заложеного пункта взрыва, а также падения под любым углом.

Дополнение II.

Основы акустического каротажа; тип и основные характеристики применяемой аппаратуры; погрешности измерения и их характер

В основе акустического каротажа лежит измерение времени пробега от датчиков до приемников пачки волн, приходящих из источников через буровой раствор и распространяющихся по стенке скважины в виде преломленных волн; для этой цели применяется непрерывно перемещающаяся по стволу скважины система зондов, состоящая, как правило, из пары источников и пары приемников акустических волн.

Аппаратурой определяется разность времени пробега волны между отдельными парами источников и приемников, причем в виде стандартной для каротажных работ аналоговой кривой записывается время, необходимое для пробега волны по интервалу стенки скважины, соответствующему базе зонда, в данном случае 0,85 м.

Как указано в введении, у нас применяется аппаратура акустического каротажа типа УСБА-21/II производства ГДР. Основные характеристики аппаратуры сводятся к следующему.

Система состоит из трех элементов, 2 датчиков и 1 приемника; датчики магнитоотрицательные, а приемники — пьезоэлектрические; размеры: $A_2 = 0,85$ м, $A_1 = 1,05$ м. Датчики испускают пачки волн 23 кгц с частотой 5,56 гц. (При частоте 5,56 гц и при стандартной скорости подъема зонда в промежутке между последовательными сигналами двух датчиков зонд перемещается лишь на несколько см, что обеспечивает практически непрерывную кривую времени.) Диаметр зонда составляет 102 мм, прочность на температуру 120 °С и на давление — 600 атм. В процессе измерений — в скважинах соответствующего диаметра — для повышения точности измерения времени может применяться центрирующее устройство, обеспечивающее цилиндрическую симметрию.

На рис. 1 представлена кривая времени « Δt » для изученного в данном случае интервала скважины, и для сопоставления здесь же приведена кривая удельного сопротивления, полученная потенциальной установкой 0,5 м.

Уже на первый взгляд из рисунка видно очень хорошее совпадение кривой времени с кривой сопротивления, в частности на нижнем участке.

Изученный участок разреза складывается известняками различной твердости, известковыми мергелями, мергелями, глинистыми мергелями с полосами песков и чистыми глинистыми

мергелями. Такой очередности петрографических разновидностей с хорошим приближением соответствуют постепенно понижающиеся величины сопротивления и скорости распространения волн.

Точность измерения времени, т. е. определения пластовой скорости, а также всех операций дальнейшей обработки данных определяется, в основном, следующими факторами:

- а) эффектом кавернозности
- б) сменой циклов
- в) механическими шумами, создающимися при подъеме зонда
- г) эксцентричностью зонда
- д) изменением скорости в радиальном направлении.

При применении 3-элементного зонда эффект кавернозности выражается — в начале и конце интервала изменения диаметра — в появлении аномалий, зависящих главным образом от размера изменения, но имеющих противоположный знак. На рассматриваемой кривой подобного характера аномалии не выделяются, но в связи с их обратным знаком, при определении средних величин они все-равно компенсируют друг друга.

Смена циклов имеет место в разрезах рыхлых отложений, характеризующихся высоким коэффициентом затухания волн или в толщах нарушенных, трещиноватых пород, когда энергия фактических первых вступлений не достигает требуемой пороговой величины, а в качестве кажущихся первых вступлений приходит одна из последующих волн. В принципе эта погрешность может иметь переменный знак, но практически основная доля скачков циклов вызывается повышенным затуханием, наблюдающимся при большем расстоянии датчик-приемник. В существующей аппаратуре эта погрешность может быть исправлена впоследствии путем ввода поправок вручную, если скачки циклов явно выделяются, но полностью устранить ее можно только при записи полной волновой картины и последующей ее интерпретации. (На рис. 1 скачки циклов однозначно выделяются в местах, отмеченных стрелками.)

Погрешности, связанные с эффектом шумов, создающихся при подъеме зонда и с эксцентричностью зонда, устраняются общим приемом. Оба вида погрешностей могут быть уменьшены за счет применения упругих центрирующих устройств. (Поскольку появление погрешностей на обоих каналах носит случайный характер, при определении средних величин их эффект в определенной мере компенсируется.) По кривой погрешности подобного характера не выделяются, об их величине можно судить по допускаемому отклонению результатов повторных измерений. (Напр. при среднем времени вступления 200 мксек допустимое отклонение не должно превышать 10 мксек.)

Изменение скорости в радиальном направлении сказывается не на погрешности определения пластовых скоростей, а на определении суммарной средней величины времени, что может иметь решающее значение при сопоставлении кривой с сейсморазведочными данными. До сих пор в условиях Венгрии не накоплен значительный опыт относительно величины градиента скоростей, в связи с чем при обработке данных этот фактор не учитывался.

ЛИТЕРАТУРА

- R. N. ADAMS, E. D. DENMAN, 1966: Wave propagation and turbulent media. American Elsevier Publ. Co. New-York.
- R. BELLMAN, R. KALABA, 1956: On the principle of invariant imbedding and propagation through inhomogeneous media. Proc. Nat. Acad. Sci. USA, XLII pp. 629—632.
- E. K. DARBY, N. S. NEIDELL, 1966: Application of dynamic programming to the problem of plane wave propagation in a layered medium. Geophysics 31. pp. 1037—1048.
- GROHE, J.—LEHNERT, K.L., 1967: Akustiklog, Zeitschrift für angew. Geologie, Bd. 131 (1967) Heft 11/12.
- KARAS Gy., 1970: Akusztikus karotázsmérések hevezetése Magyarországon (Введение метода акустического каротажа в Венгрии). Földtani Kutatás, XIII. évf. 3—4, pp. 25—28.
- S. J. MASON, H. J. ZIMMERMANN, 1960: Electronic circuits, signals and systems. John Wiley and Sons, New-York, London.
- E. A. ROBINSON, S. TREITEL, 1964: Principles of digital filtering. Geophysics 29, pp. 395—404.

VÁRKONYI L. 1966: 88. sz. jelentés az 1964. és 1965. évben Nagykáta—Tápióbieske kutatási területen végzett reflexiós mérésekről. Országos Kőolaj és Gázipari Tröszt Kőolajipari Szeizmikus Kutatási Üzem. (Отчет № 88 о сейсмических работах, проведенных в 1964 и 1965 гг. в районе сс. Надьката-Тáпиобичке, методом отраженных волн. Сейсморазведочное предприятие Треста нефтяной и газовой промышленности.)

GRÓH EDINA — KARAS GYULA — KORVIN GÁBOR — LENDVAI KÁROLY — SIPOS JÓZSEF

SZINTETIKUS SZEIZMOGRAM SZÁMÍTÁSA AKUSZTIKUS LYUKSZELVÉNYBŐL

Az ELGI szeizmikus osztályán már régebben elkészített szintetikus szeizmogram programot akkor lehetett első ízben megvalósítani, amikor az NDK-ban vásárolt USBA 21 típusú akusztikus karotázsbereendezés 1969-ben üzembe állt. A cikk az első ilyen kísérletről számol be.

A kiindulási anyag az egyik alföldi mélyfúrás akusztikus szelvénye volt, 902 és 1466 m közötti mélységből (1. ábra). A fúrás közelében reflexiós szelvények is húzódtak és sebességmeghatározó mérések is történtek. Így mód nyílt mind a sebességértékek, mind a reflexiók összehasonlítására.

Az alkalmazott lyukszelvényező berendezést, az akusztikus lyukszelvényezés alapjait és a mérési hibák kérdéseit a II. Függelék ismerteti.

A rendszer velejáró hibalehetőségei mellett, hazai viszonyok között nehézséget okoz, hogy a fiatal medenceüledék felső néhány száz méteres szakaszán az akusztikus szelvényezés esetenként bizonytalan eredményeket nyújthat, illetve esetleg el sem végezhető észszerűen. Ezt a nehézséget általában elektromos ellenállásszelvényezés, sűrűségi szelvényezés és szeizmikus lyukszelvényezés, valamint az ún. Faust-képlet segítségével szokás át-hidalni. A cikkben szereplő anyagot — minthogy az akusztikus lyukszelvény csak egy bizonyos mélységszakaszra vonatkozik — ennek a korlátozásnak a figyelembevételével kell szemlélünk, mivel a felső szakasszal kapcsolatos esetleges többszörösöket ez az anyag nem tartalmazhatja.

A feldolgozás a következő lépésekben történt:

1. Digitálás: mintavételi kérdések tisztázása

A digitálást az ELGI mélyfúrási geofizikai osztályán készített félautomatikus digitálóval végeztük. Az ilyen módon lyukszalagra vitt információ megfelelő átkódoló program segítségével feldolgozható. Mintavételi közök: 0,25, 0,5, 1,0 és 2,0 mm (1 mm = 20 cm mélységkülönbség).

Megvizsgáltuk, mi a legnagyobb olyan mintavételi köz, amelynél a kihagyott adatok lineáris interpolációval kis relatív hibával visszaállíthatók. Azt találtuk, hogy gyakorlati célokra 40 cm is megfelelő (2. és 3. ábra).

2. Reflexiós koeficiensek számítása

A szintetikus szeizmogram számítása Bellman „invariant imbedding” módszerével történt. Ennél a közeget egyenlő áthatolási idejű (esetünkben 1 msec) „rétegekre” kell bontani. Az így végzett felbontás után számított sebesség-görbék (4. és 5. ábra) jól egyeznek. Az akusztikusan nem szelvényezett felső szakaszt homogénnek tekintettük; sebességét a területi átlagsebesség görbéből vettük. Az így számított átlagsebesség-görbe azután jól követi a szeizmikus módszerekkel számított átlagsebesség-görbét (6. ábra). A rétegebességekből a sűrűség elhanyagolásával a (2) és (3) képlettel megadott együtthatók számolhatók (7. ábra).

3. A szintetikus szeizmogram számítása

A reflexiós koeficiensek felhasználásával impulzusos szeizmogramot számítottunk (8. ábra). Ez valamennyi számítható egyszeres és többszörös reflexiót tartalmazza. A számítás normális beesésre vonatkozott. A szférikus és inelasztikus szóródást nem vettük figyelembe.

Az impulzusos szeizmogramnak jelalakkal való konvolválása útján számítható szintetikus szeizmogramhoz a területre és az adott mélységre jellemző jelalakot használtuk

fel (9. ábra). A szintetikus szeizmogram a 10. ábrán látható. Összehasonlításként közöljük a megfelelő észlelt szeizmogramok részleteit (11. és 12. ábra). A megjelölt reflexiók jól azonosíthatók.

Az I. Függelék a szintetikus szeizmogram számításának menetét, a II. Függelék az akusztikus lyukszelvényezés alapjait, az alkalmazott berendezés főbb jellemzőit és a mérési hibák kérdéseit ismerteti. Az I. Függelék és az irodalmi jegyzék az orosz nyelvű változatban található; a II. Függelékét — számítva a magyar olvasók érdeklődésére — magyar nyelven is közöljük.

II. Függelék

Az akusztikus lyukszelvényezés alapjai: az alkalmazott berendezés típusa s főbb jellemzői: a méréseket terhelő hibák, s azok jellege

Az akusztikus lyukszelvényezés azon alapszik, hogy a fúrólukban folyamatosan mozgó szondarendszerrel — amely általában ultraszonikus adó- és vevópárokból áll — mérjük az adókból a fúrólyadékon keresztülhaladó s a lyuk falán refraktált hullámként terjedő hullámcsomagok terjedési idejét, az adó-vevópárok távolságait.

A berendezés az egyes adó-vevópárok terjedési időkülönbségét képezve a karotázis gyakorlatban szokásos analóg görbe formájában rögzíti a szonda bázisának — itt 0,85 m-es távolságnak — megfelelő, a lyukfalon megtett út befutásához szükséges időt.

Mint a bevezetés is utal rá, az általunk alkalmazott rendszer NDK-gyártmányú, USBА-21/II. típusú akusztikus karotázisberendezés. Főbb adatai az alábbiak.

Háromelemes, kétadós, egyvevős rendszer, magnetostrikciós adókkal és piezoelektromos vevővel, $A_2=0,85$ m, $A_1=1,05$ m méretekkkel. Az adók egymáshoz viszonyítva 5,56 Hz-es gyakorisággal 23 kHz-es hullámcsomagokat bocsátanak ki (az 5,56 Hz-es ismétlődési frekvencia értékéből adódik, hogy a szonda szokásos vontatási sebessége mellett csak néhány cm-es elmozdulás következik be a két adó egymás utáni jelei között, ami gyakorlatilag folytonos időgörbét biztosít). A szonda átmérője 102 mm, hő- és nyomástűrése 120 °C, illetve 600 atm. Mérés közben — megfelelő átmérőjű furatban — az időmérési pontosság növelésére a hengersizmetria biztosítása végett központosító alkalmazható.

Az 1. ábrán látható az esetünkben mért lyukszakasz „I” időgörbéje, valamint ugyanarra a szakaszra vonatkozó, összehasonlítható anyagként feltüntetett, 0,5 m méretű potenciál-elrendezéssel felvett fajlagos ellenállásgörbe.

Az időszelvény és az ellenállásgörbe igen jól megfelel egymásnak; ez első rátekintésre is kitűnik, főleg a szelvény alsó szakaszán.

Közvetlenül a mért szakaszon több különböző keménységű mészkő, mészmárga, márga, homokos — homokkőcsikós agyagmárga és tiszta agyagmárga található. A sorrend jó közelítéssel csökkenő ellenállást és csökkenő terjedési sebességet is jelent.

Az időmérésnek, illetve a rétegssebesség meghatározásának, valamint minden további feldolgozásnak a pontosságát főleg az alábbi tényezők határozzák meg:

- a) kavernahatás,
- b) ciklusváltás,
- c) a szonda vontatásakor keletkező mechanikus zajok,
- d) a szonda excentricitása,
- e) sugárirányú sebességváltozás.

A kavernahatás az alkalmazott háromelemes szondánál abban nyilvánul meg, hogy az átmérőváltozás alján és tetején elsősorban a változás nagyságától függő, de ellenkező előjelű idő anomáliák jelentkeznek. A szóban forgó szelvényen ilyen jellegű anomáliák nem ismerhetők fel, ellenkező előjelük folytán a középértékképzésnél egyébként is kompenzálják egymást.

A ciklusváltás nagy csillapítású laza, vagy töredezett, repedezett kőzetösszletekben következik be, amikor a tényleges első beérkezések energiája a szükséges küszöbérték alatt marad, s látszólagos első beérkezésként a későbbi beérkezések valamelyike szerepel. E hiba értéke elvileg váltakozó előjelű lehet, gyakorlatilag azonban a ciklusugrások nagyobbik hányadát a nagyobb adó-vevő távolságon létrejövő nagyobb mérvű csillapodás okozza. Ezen a hibán javítani a jelenlegi berendezésnél a világosan felismerhető esetekben

utólagos manuális korrekcióval, teljesen azonban csak az egész hullámkép rögzítésével s ezek utólagos kiértékelésével lehet (ciklusugrások az 1. ábrán nyíllal jelölt helyeken ismerhetők fel egyértelműen).

A szonda vontatásakor keletkező zajok hatása és az excentricitásból származó hibák kirekesztésének módja bizonyos mértékig közös. Mindkettő rugalmas központosítók alkalmazásával csökkenthető (mivel a hiba fellépése mindkét csatornára vonatkozóan véletlenszerű, az átlagidő képzésénél hatásuk bizonyos mértékig kompenzálódik).

A szelvényen az ilyen jellegű hibák nem lokalizálhatók, mértékükre az ismételt mérések megengedett eltéréseiből lehet következtetni (pl. 10 μ sec-on belüli megengedett eltérés 200 μ sec-os átlagos beérkezési idő mellett).

A sugárirányú sebességváltozás nem az egyes rétegsebességek meghatározási hibájára hat, hanem az eredő átlagidő-értékek meghatározásában, s ezeknek szeizmikus adatokkal való összehasonlításában lehet döntő jelentőségű. Hazai tapasztalataink a sebességgradiens értékét illetően nincsenek, így a feldolgozásnál ezt a ténytet nem is vettük figyelembe.

E. GRÓH — GY. KARAS — G. KORVIN — K. LENDVAI — J. SIPOS

COMPUTATION OF SYNTHETIC SEISMOGRAMS FROM ACOUSTIC LOG

A program for the computation of synthetic seismograms was already set up in the Seismic Department of ELGI a few years ago. Its realization, however, become possible only when the operations with the GDR-made acoustic logging equipment USBA 21 started in 1969.

The initial material (Fig. 1) is an acoustic log recorded in a borehole on the Great Hungarian Plain, from the depth-range 902—1466 m. Also a reflexion survey was run in the neighbourhood of the borehole, and velocity determinations have been made. This gave the possibility for a comparison of velocity values, resp. reflexions.

The USBA 21 equipment has a system of 2 magnetostrictive transmitters and 1 piezoceramic receiver. The base — i.e. the spacing between the two transmitters — is 85 cm. The transmitters radiate 25 Kcps wave-packets with a frequency of 5,56 cps alternately. During the period between two subsequent signals, the borehole-tool is shifted somewhat, this means, however, with the usual hoisting velocity, a few cm-s only, practically yielding a continuous time-log.

The upper temperature limit of the tool is 120 °C, its pressure-resistance is 600 atm.

Apart from the innate error-possibilities of the system, difficulty arises, under the conditions in Hungary, from the fact that acoustic logging may give uncertain or wrong results in the topmost few hundred meters of the overburden. This difficulty can usually be settled with the aid of electric resistivity logs, density logs and seismic well-logs, further of the so-called Faust-formula. The material discussed in this paper must be considered with the limitation that the acoustic log refers to a certain depth-range only. Thus the material cannot contain eventual multiples originating from the upper section.

The operations included the following steps:

1. Digitizing: clarifying of sampling problems

The digitizing of the initial material was made with the half-automatic digitizer constructed in the Well-logging Department of the ELGI. The information recorded on punched-tape can be processed with the aid of a suitable program. Sampling intervals: 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 mm (1 mm = 20 cm depth-difference).

Next, the question has been investigated, which is the longest sampling interval at which the left-out data can be reconstructed with a small relative error by linear interpolation. It was found that for practical purposes even 40 cm is satisfactory (Figs. 2 and 3).

2. Computation of reflexion coefficients

The computation of the synthetic seismogram was made with the "invariant imbedding" method of Bellman. Here, the medium has to be divided into "layers" of equal transit time (in our case 1 msec). The velocity curves calculated after this dissection into

layers showed a good agreement (Figs. 4 and 5). The upper section with no acoustic logging has been considered as homogeneous; its velocity having been taken from the areal average velocity curve. The computed average velocity curve fairly follows the seismic average velocity curve (Fig. 6). From the layer velocities, the coefficients in Formulae (2) and (3) can be computed, with the neglect of density.

3. Computation of the synthetic seismogram

Using the reflection coefficients, an impulse-seismogram has been computed (Fig 8). This contains all calculable single and multiple reflexions. The calculations refer to normal incidence. Spherical and inelastic dispersion has not been considered.

For the synthetic seismogram, computed by convolving the impulse-seismogram with a signal shape, a wavelet characteristic for the area and depth involved (Fig. 9) has been used. The synthetic seismogram itself is shown in Fig. 10. For a comparison, corresponding parts of recorded seismograms are presented in Figs. 11 and 12. The reflections marked can be well identified.

Appendix I describes the process of computing the synthetic seismogram; Appendix II discusses the basic principles of acoustic logging, the main characteristics of the equipment used and problems related to measuring errors.