

Automatikus sebességmeghatározás reflexiós szeizmogramokból*

Z S E L L É R P É T E R **

A GKÜ-ben 1976-ban kidolgoztunk egy új sebességmeghatározási eljárást. Az eljárás lényege: hasonlósági kritériumok alapján megkeressük a CDP csatornákon a reflexiószerű beérkezéseket. Ezután a moveout-értékek meghatározása már csak egyszerű görbeillesztési feladat.

Az új eljárás számolási időigénye kb. tizedrésze a hagyományos összegzéses sebességmeghatározási módszerek időigényének.

A cikkben bemutatjuk az eljárást és néhány példát az alkalmazására.

В 1976 г. в Предприятии геофизической разведки был разработан новый метод определения скорости. Сущность метода заключается в нахождении вступлений, носящих характер отражений по каналам ОГТ на основании критерия подобия, затем определение значений кинематической поправки представляет собой только простую задачу прилаживания кривых,

Потребность нового метода в времени вычисления составляет примерно десятую долю потребности традиционных методов определения скорости с помощью суммирования.

В работе приводятся описание нового метода и примеры его применения.

A new method of velocity determination was introduced in the Geophysical Prospecting Enterprise in 1976. The essence of this method is: to search for reflection-like arrivals in CDP channels on the basis of similarity criteria. Then the determination of moveout values is a simple task of curve fitting.

The time consumption of the new method for calculations is about one tenth of that of the traditional velocity determination methods based on summing.

The paper describes the method and several examples of its application.

Bevezetés

A GKÜ-ben 1972 óta foglalkozunk automatikus sebességmeghatározással. Kezdetben a szelvény minden pontjában elkészített moveout-scan-ek térbeli követésével szerettük volna a problémát megoldani. Az alapvetet a GSI – 600 és 700 programcsomagokból vettük át. Az eljárást az 1974-es szimpóziumon ismertettük.

Az eljárás legnagyobb problémája, hogy igen sok gépidőt igényel. A minden mélységpontban kiszámított moveout-scan-ek számolási időigénye még speciális gyorsító fogások alkalmazásával is olyan nagy, hogy az kétségessé tette az eljárás gyakorlati alkalmazhatóságát.

1976-ban sikerült kidolgozni egy olyan újabb eljárást, melynek zajstabilitása hasonló a fent, említett összegzéses eljáráshoz, ugyanakkor gépidőigénye csupán tizedrésze az előzőnek.

A gépidőnyereséget azzal sikerült elérni, hogy megváltoztattuk a vizsgálatok szemléletmódját. A hagyományos összegzéses sebességmeghatározási eljárások a következő gondolatmenetet követik. *Állítjuk, hogy a sebesség, vagy vele ekvivalens moveout egy általunk megválasztott, rögzített érték.* Ezután megvizsgáljuk a CPD csatornákat minden időpontban, hogy az állítás igaz-e? Ezt a vizsgálatot egy sebesség-sorozattal, illetve egy moveout-sorozattal elvégezve, azokból a pontokból, melyekre az állítás igaz volt, előáll a sebességbeérkezési idő függvény.

* Előadás az MGE Felszíni Szakosztályában 1977. V. 16-án.

** OKGT GKÜ

Az emberi gondolkodásmód különbözik az itt leírt gondolatmenettől. Ha a kezünkbe veszünk egy reflexiós szeizmikus regisztrátumot és meg akarjuk határozni a menetidőgörbületét, akkor *első dolgunk az, hogy fázistengelyeket keressünk. A megtalált fázistengelyeket megpróbáljuk kijelölni. Csak a legutolsó lépés a fázistengely görbületének számszerű leolvasása, vagy kiszámítása.*

Az új eljárásban ezt a második gondolatmenetet próbáltuk programozni. Így a sebességmeghatározás reflexió-szerű pontok kijelölésére, majd a kijelölt pontokhoz való parabolaillesztésre korlátozódik.

A következőkben ismertetjük új eljárásunkat és bemutatunk néhány példát az alkalmazására.

A reflexió-szerű pontok kijelölése

Az eljárás menete a következő. Megkeressük a CDP csatornákon a reflexió-szerű pontokat. Ezután az azonos reflexiókhoz tartozókon átfektetünk egy centrális helyzetű parabolát.

Statikusan és egy közelítő pontosságú sebességfüggvénnyel dinamikusan is korigált csatornákból indulunk ki. Mivel maradék-görbületek kiszámításáról van szó, a parabola-közelítés megengedhető.

A reflexió-szerű pontok kiválasztását három lépésben végeztük. Az első lépés egy durva selejtezés. Elvileg minden CDP csatorna minden időpontjában várhatnánk reflexiós beérkezést. Valószínűbb azonban, hogy csak azoknak az időpontoknak a környezetében érdemes reflexiót keresni, ahol a CDP csatornák összeg energiájának lokális maximuma van.

Az összegzésbe csak a CDP- set-en belül előforduló közepes offsetű csatornákat vonjuk be. Így elérhetjük, hogy az előbbi, energiamaximumokkal kapcsolatos feltételezésünk még akkor is teljesüljön, ha az első dinamikus korrekciónál használt sebességfüggvényt 30 – 40%-os hibával adtuk meg. Ezt az összegzés lassan változó átviteli karakterisztikája indokolja.

Az első lépésben tehát a közelítő sebességfüggvénnyel dinamikusan korigált csatornákból összegzéssel készítünk egy referencia-csatornát. Kijelöljük a referencia-csatorna lokális maximum helyeit.

Ezzel meghatároztuk azokat az időpontokat, melyek környezetében kell a CDP csatornákon a reflexió-szerű helyeket keresni.

A második lépésben feltételezzük, hogy az egyes CDP csatornákon ott vannak a reflexió-szerű helyek, ahol a jelalak legjobban hasonlít az összeg-csatorna jelalakjához. Megvizsgáljuk a csatornákat az előbb meghatározott időpontok környezetében. Egy koherencia-mérő függvény segítségével meghatározzuk, hogy a CDP csatornákat mennyivel kell eltolni ahhoz, hogy a hasonlóság maximális legyen. Egyúttal meghatározunk egy hasonlósági együtthatót is, a koherencia mérő függvény maximális értéke alapján.

A felhasznált koherencia-mérő függvény:

$$M(k) = \frac{\sum_{t=t_0-DT}^{t_0+DT} |x(t) + y(t+k)|}{\sum_{t=t_0-DT}^{t_0+DT} |x(t)| + \sum_{t=t_0-DT}^{t_0+DT} |y(t)|}$$

A második lépés végén ismét selejtező következnek. Elhagyjuk az összes olyan pontot, ahol a hasonlósági együtthatók összege nem ér el egy küszöbértéket.

A harmadik lépésben a megmaradt pontokat már reflexiószerűeknek tekintjük. A második lépésben meghatározott tolásértékekhez hozzáillesztünk egy parabolát. A parabola-illesztést átlagnégyzetes értelemben végezzük úgy, hogy az egyes pontokat a hasonlósági együtthatójuk mértékében vesszük figyelembe.

Ezzel meghatároztunk minden reflexió-szerű eseményhez egy-egy t_0 és RNMO értéket. Az első dinamikus korrekció sebességfüggvényét felhasználva ezekből kiszámítjuk a moveout-ot. Végül a CDP csatornák összegéből meghatározzuk az amplitudót is. Így minden reflexió-szerű eseményhez hozzárendelünk egy t_0 , NMO, amplitudó értékhármasat.

Horizontokba fűzés

A következő lépés a reflexió-szerű pontok összefűzése reflexiós horizontokká.

A sebességek horizontális simításához meg kell keresni, hogy melyek a szelvény mentén összetartozó, egy-egy reflexiós horizontot alkotó t_0 , NMO, amplitudó értékhármasok. Kezdetben ezt a lépést szerettük volna teljesen automatizálni. A gyakori fázistévesztések, a horizontok megszakadása és egyéb hibák miatt végül egy félautomatikus eljárást választottunk.

A jelenlegi állapot az, hogy a felhasználónak elő kell írni minden vizsgálni kívánt horizont közelítő helyzetét. Meg kell adni az elfogadhatónak tartott stacking sebesség sávot is. Ezután a program a következő lépéseket hajtja végre.

1. Horizontonként összegyűjtjük a horizont idő-sebesség sávjába eső t_0 , NMO, amplitudó értékhármasokat. Megvizsgáljuk a pontok sűrűségét. Ha horizontálisan egy adott sűrűségnél nem fordul elő több értékhármas, feltételezzük, hogy a horizont megadása hibás volt. Ezeket a horizontokat a további vizsgálatokból kihagyjuk.

2. A meglevő pontok lineáris interpolációjával a hiányzókat pótoljuk. A pontokat horizontonként simítjuk. A simítást a következő átviteli függvényű szűrővel végezzük:

$$S(k) = \left\{ 0,5 + 0,5 \cos \frac{\pi k}{k_{Nyq}} \right\}^P,$$

ahol k a térbeli frekvencia

$$k_{Nyq} = \frac{1}{4dx}; \quad dx \text{ a geofonköz,}$$

P azt jelzi, hogy egy-egy pont hatása a simítás után jobbra-balra hány mélységpontra terjed át.

A simítás után összehasonlítjuk az eredeti pontokat a simított értékekkel. Elhagyjuk azokat, ahol a simított és simítatlan pontok t_0 , illetve NMO-beli eltérése egy küszöbértéknél nagyobb. A küszöbértéket a pontok szórásából számítjuk.

Ezután ismét megvizsgáljuk a pontok horizontális sűrűségét. Töröljük azokat a horizontokat, melyeknél az értékhármasok előfordulása túl ritka. Ezzel a véletlenszerűen, zajokból összeálló horizontoktól szeretnénk megszabadulni.

A megmaradó horizontoknál ismét lineáris interpolációval pótoljuk a hiányzó pontokat, majd elvégezzük a horizontonkénti simítást.

3. Megvizsgáljuk, hogy a szomszédos horizontok között értelmezhető-e intervallum sebességek. Ha igen, megnézzük, hogy illeszkednek-e a terület kompaktíós viszonyai által megszabott rétege sebességekhez. Ezt a vizsgálatot minden mélységpontban elvégezzük. Töröljük azokat a horizontokat, melyekben túl sok a hibás pont. Ezzel a lépéssel a többszörös reflexióktól szeretnénk megszabadulni.

4. A megmaradó horizontok hiányzó t_0 értékeit lineáris interpolációval pótoljuk és simítjuk. Ezzel minden horizonthoz előállítunk egy $t_0 = t_0(x)$ függvényt. Ugyanígy az amplitúdókra is elkészítünk egy-egy $A = A(x)$ függvényt.

5. A 3. lépés után megmaradt pontok t_0 - NMO értékeihez hozzáillesztünk egy $NMO = NMO(t_0, x)$ kétváltozós felületet. A felületet térben és időben simítjuk.

6. A 4. lépéssel meghatározott $t_0 = t_0(x)$ görbék mentén kiszámítjuk az 5. lépéssel előállított felület $NMO = NMO[t_0(x), x]$ értékeit.

Ezzel előállítottuk a szelvényhorizontok menti stacking sebesség-függvényét. Feltételezzük, hogy az elvégzett simításokkal, válogatásokkal megszabadultunk a zajokból és a többszörös reflexiókból eredő hibáktól. Sajnos a belső többszörösöket ezzel az automatizált válogatással nem mindig tudjuk felismerni. Kritikus esetekben a felhasználónak kell eldöntenie a problémát az intervallum sebességek és a keresztező szelvények vizsgálata alapján.

Pontosság

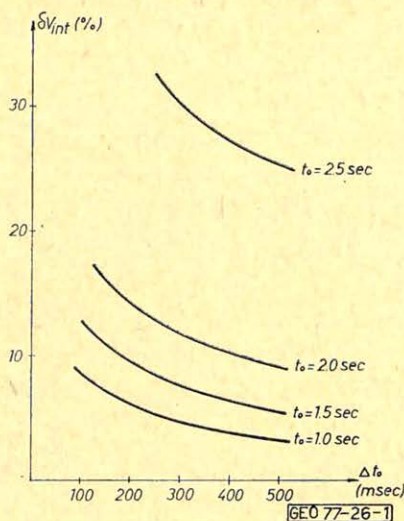
A módszer pontosságát vízszintes helyzetű, különböző vastagságú intervallumok vizsgálatával próbáltuk meghatározni. Néhány szelvényen megnéztük, hogy mekkora az intervallum-sebességek horizontális szórása.

Az 1. ábrán különböző mélységekben elhelyezkedő, különböző vastagságú intervallumokra láthatjuk az intervallum-sebességek háromszoros szórását. Az ábrát különböző minőségű és fedésszámú anyagok vizsgálatából kaptuk. Ezért feltételezhetjük, hogy ez a pontosság üzemszerűen is betartható.

A következő ábrákon egy szeizmikus sebességvizsgálat és egy szónikus karotázsmérés eredményét hasonlítjuk össze. A 2. ábrán láthatjuk a vizsgált stacking-szelvényt. A szelvény közelében elhelyezkedő mélyfúrásban szónikus sebességmérést is végeztek. A könnyebb összehasonlíthatóság érdekében a szónikus görbét 50 méterenkénti átlagolással simítottuk. A 3. ábrán a fúráshoz legközelebbi szelvényszakasz intervallum-sebesség függvénye és a simított szónikus sebességgörbe látható.

A két görbét összehasonlítva láthatjuk, hogy az eltérés sehol sem lépi túl az 1. ábrán megadott határokat.

Végül bemutatunk egy példát a túlnyomásos zónák előrejelzésére. A 4. ábrán látható stacking-szelvény a Makó-2 mélyfúrás közelében halad. A szelvényen elvégeztük a sebességvizsgálatot. Az intervallum-sebességeket horizontálisan grafikus úton tovább simítottuk. A simított függvény fúráshoz közeli szakaszából számítottuk ki az 5. ábrán látható intervallum-áthaladási-idő függvényt.



1. ábra. Az intervallum-sebességek pontossága az intervallum vastagságának és mélységének függvényében. Az ábrát különböző fedésszámú és különböző minőségű szelvények vizsgálatával készítettük. A közel vízszintes helyzetű reflexiók horizontok között megvizsgáltuk az intervallum-sebességek horizontális változását és a sebességértékek szórását.

$$\delta V_{\text{int}} = \frac{300 \sigma_{V_{\text{int}}}}{\bar{V}_{\text{int}}},$$

ahol $\sigma_{V_{\text{int}}}$ az intervallum sebességek szórása, \bar{V}_{int} pedig az átlagos intervallum-sebesség.

Рис. 1. Точность интервальных скоростей в зависимости от мощности и глубины залегания интервала. При составлении рисунка были использованы профили с разной кратностью перекрытий и различного качества. Между отражающими горизонтами, залегающими в примерно горизонтальном положении, были изучены горизонтальные изменения интервальных скоростей и разброс значений скорости.

$$\delta V_{\text{int}} = \frac{300 \sigma_{V_{\text{int}}}}{\bar{V}_{\text{int}}}$$

где $\sigma_{V_{\text{int}}}$ — разброс интервальных скоростей,
 \bar{V}_{int} — средняя скорость интервала.

Fig. 1. Accuracy of interval velocities vs. interval thickness and depth. The figure was compiled by investigating sections with various coverage factors and of different quality. Between reflection horizons lying in nearly horizontal position we have investigated horizontal changes of interval velocities and the scattering of velocity values

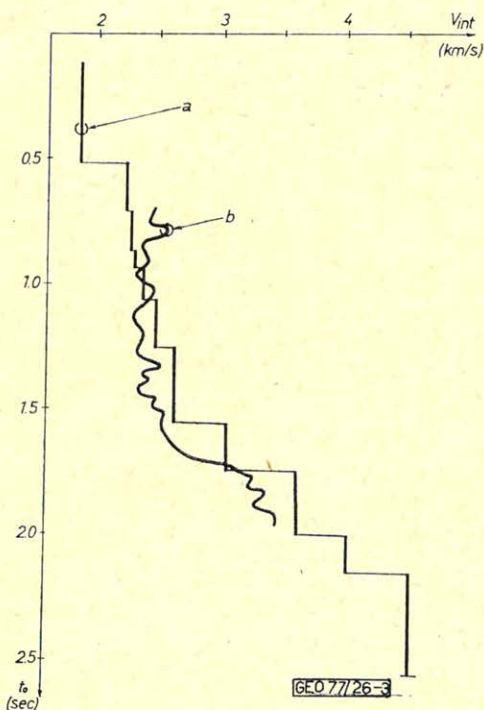
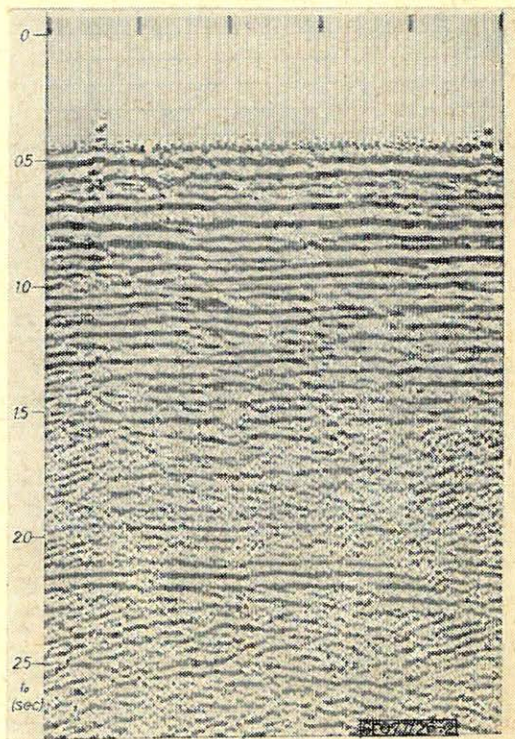
$$\delta V_{\text{int}} = \frac{300 \sigma_{V_{\text{int}}}}{\bar{V}_{\text{int}}},$$

where $\sigma_{V_{\text{int}}}$ is the scattering of interval velocities, \bar{V}_{int} the average interval velocity.

2. ábra. 12-szeres fedésű stacking szelvény. Ennek vizsgálatából számítottuk a 3. ábrán látható intervallum-sebességet.

Рис. 2. Разрез с 12-кратным накоплением. По исследованию этого разреза была рассчитана интервальная скорость, приведенная на рис. 3.

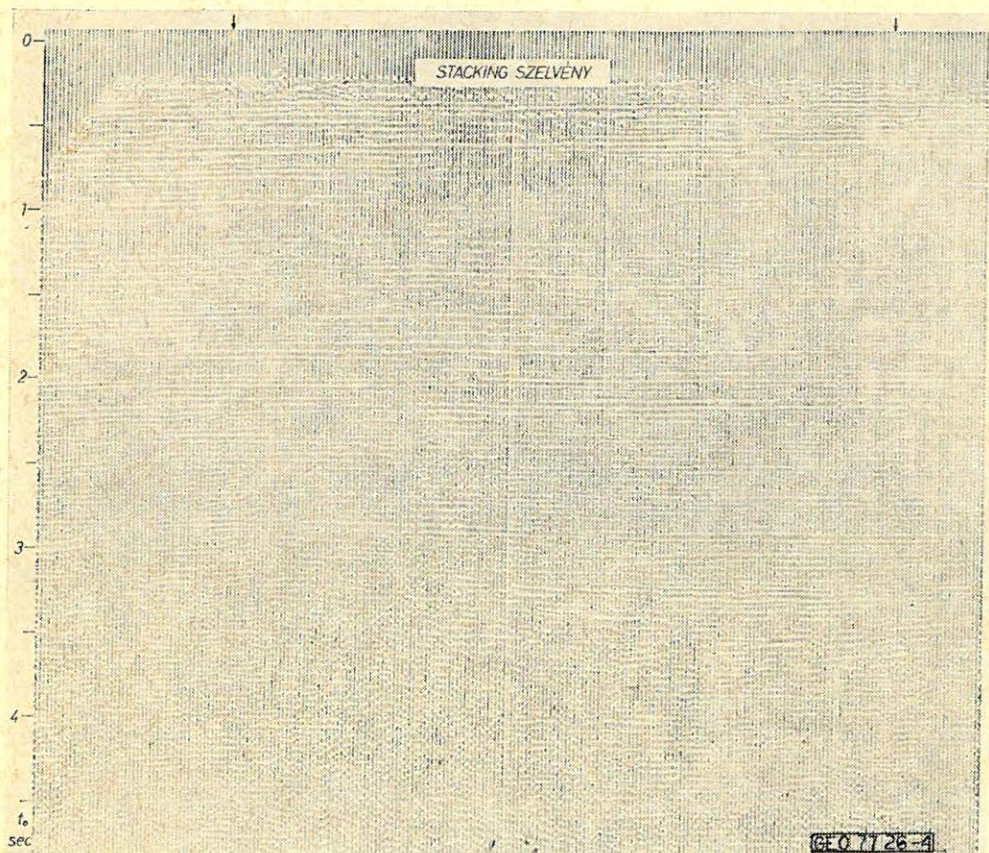
Fig. 2. Stacking section with 12-fold coverage. Interval velocity shown in Fig. 3. was calculated from the investigation of this section.



3. ábra. Egy intervallum-sebesség függvény és egy szónikus sebességfüggvény összehasonlítása. Az „a” jelű görbe az intervallum-sebesség függvény. Ezt a 2. ábrán látható szelvény vizsgálatából kaptuk. A „b” jelű görbe a szónikus sebességfüggvény. A mért szónikus sebességeket 50 méterenként átlagolással simítottuk, hogy könnyebben összehasonlíthassuk az intervallum-sebesség függvényvel.

Рис. 3. Сопоставление функции интервальной скорости с функцией акустической скорости. Кривая «а» представляет собой функцию интервальной скорости. Она была получена из изучения разреза, показанной на рис. 2. Кривая «б» — функция акустической скорости. Измеренные акустические скорости были сглажены усреднением через 50 м для облегчения сопоставления ее функцией интервальной скорости.

Fig. 3. Comparison of an interval velocity function and a sonic velocity function. Curve „a” is the function of interval velocity. This was received from the investigation of the section shown in Fig. 2. Curve „b” is the function of sonic velocity. Sonic velocities as measured were smoothed by averaging them in 50 m intervals to render their comparison with interval velocity functions easier.



4. ábra. 12-szeres fedésű stacking szelvény. A következő ábrán ennek a szelvénynek a vizsgálata látható.

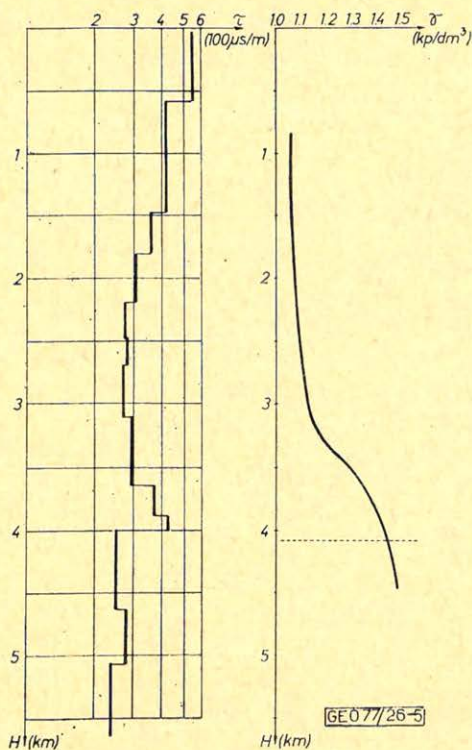
Рис.4. Разрез с 12-кратным накоплением. На следующем рисунке приводится исследование этого разреза.

Fig. 4. Stacking section with 12-fold coverage. The next figure shows the investigation of this section.

Az intervallum-sebességekből az u. n. ekvivalens mélységek módszerével számítottuk ki a rétegnyomást, illetve az ezzel egyenértékű ekvivalens iszapfajsúlyokat. Az 5. ábra jobb oldalán a sebességvizsgálatokból számított ekvivalens iszapfajsúly-görbe látható. Az ábrára szaggatott vonallal bejelöltük a fúrásból ismert túlnyomásos zóna tetejét.

Láthatjuk, hogy a szeizmikus sebességvizsgálat jól jelzi a túlnyomásos zóna jelenlétét. A zóna mélységének megadásakor, illetve a pontosság elbírálásakor természetesen figyelembe kell venni a szeizmikus módszer viszonylag durva mélységfelbontó képességét.

Bár az ekvivalens iszapfajsúly-értékek meghatározása körül vannak még problémáink, a sebességvizsgálatokból szerzett ismeretek így is hasznosak lehetnek a mélyfúrások tervezésekor.



5. ábra. Túlnyomás jelzése az előbbi ábrán látható szelvény sebességvizsgálata alapján. Az ábra bal oldalán az intervallum áthaladási idő függvény látható, az ábra jobb oldalán pedig az ekvivalens iszapfajsúly függvény. Az intervallum áthaladási időket az intervallum sebességek horizontális simítása után számítottuk ki, a szelvénynek a fúráshoz legközelebbi szakaszára. Az ekvivalens iszapfajsúly függvényt az ún. ekvivalens mélységek módszerével határoztuk meg. A szaggatott vonal a fúrásból ismert túlnyomásos zóna tetejét jelzi.

Рис. 5. Индикация избыточного давления по исследованию скорости на разрезе, показанной на предыдущем рисунке. На левой стороне рисунка приведена функция времени перехода через интервал, а на правой — функция эквивалентного удельного веса бурового раствора. Времени перехода через интервал были вычислены после горизонтального сглаживания интервальных скоростей, для ближайшего к скважине участка разреза. Функция эквивалентного удельного веса раствора была определена с методом т.н. эквивалентных глубин. Пунктиром показана кровля зоны избыточного давления, известного по скважине.

Fig. 5. Indication of overpressure on the basis of velocity investigation of the section shown in the previous figure. On the left side of the figure is shown the time function of interval transition, on the right one the function of equivalent specific weight of mud. The interval transition times were calculated after horizontal smoothing of interval velocities for section parts nearest the borehole. The function of equivalent specific weight of the mud was determined by the so called equivalent depths-method. The dashed line indicates the top of the overpressure zone known from the borehole.

IRODALOM

- William A. Schneider, Milo M. Backus: Dinamic correlation analysis. Geophysics V. 33. No. 1. (1968)
- Bibhu P. Dash, Brian L. A. Hains: Moveout detection by an autocorrelation method. Geophysics V. 39. No. 6. (1974)
- Késmárky István, Thuma Attila: Egyszerű eljárás szeizmikus reflexiók automatikus kijelölésére. Magyar Geofizika. XV. 3–4. (1974)
- Véges István, Zsellér Péter: Automatikus információ meghatározás reflexiós szeizmogrammból Magyar Geofizika. XVI. 4. (1975)