

A vibroseis eljárás kifejlődése, elvi és módszertani alapjai

BODOKY TAMÁS* – RUMPLER JÁNOS**

A cikk bevezetőként áttekintést ad a vibroseis módszer kifejlesztéséről, a Conoco által végzett fejlesztési tevékenységről. Össze foglalja a fizikai-matematikai alapokat, ismerteti az impulzusszeizmikával szembeni eltéréseket. Megadja a mérések módszertani tervezésének szempontjait. Végezetül értékeli az vibroseis eljárás alkalmazásának általános tapasztalatait.

В качестве введения, авторы дают обзорное описание истории разработки вибросейсмического метода, и деятельности фирмы Conoco по разработке аппаратур. Обсуждаются физико-математические основы метода и его различия по сравнению с импульсным сейсморазведочным методом. Рассматриваются аспекты методического проектирования наблюдений. В заключение дается оценка общего опыта применения вибросейсмического метода.

The paper describes the development of vibroseis method including the Conoco's research activity. It summarizes the physical and mathematical background in view of the difference to the impulse signal generation. It also describes the field technology. Finally, an evaluation is given about the aspects of role the vibroseis plays in the seismic exploration.

Történeti áttekintés

A VIBROSEIS® módszer kifejlesztését világosan követhetjük, ha röviden áttekintjük azt a kapcsolódó tudományos-műszaki hátteret, mely az adott időszakban az USA-ban rendelkezésre állott.

Közismert, hogy a 40-es évek végére Amerikában az alap- és alkalmazott tudományokban igen jelentős fejlődés következett be. Vonatkozik ez a hírközlés-információelméletre éppúgy, mint az elektronikára és a műszaki tudományokra. Nem szorul bizonyításra az sem, hogy az adott időszakban az új tudományos eredmények haditechnikai alkalmazása kiemelt feladat volt.

Ilyen jellegű feladatot kapott a Bell Telephone Laboratory 1951-ben. Célkitűzésként a rendelkezésre álló impulzusradar-rendszerek hatósugarának és felbontóképességének s működési sebességének növelését kapta meg. E fejlesztési munka eredménye a „CHIRP RADAR” elv volt, melyet csak 1960-ban publikáltak [1]. Itt alkalmazták először a változó frekvenciájú szinuszos rezgéscsomagot a radarimpulzus helyett, valamint a kisugárzott és visszaérkezett jelek keresztkorrelációjával végrehajtott jelfelismerést és jel/zaj viszony javítást. Ehhez természetesen nagy működési sebességű korrelátorokat is kellett építeni. Ezek kezdetben analóg, majd később digitális elven működtek.

A másik területet, amelynek eredményei a vibroseiszeizma kifejlesztésére hatással voltak, a rakéatechnika és az űrkutatás szolgáltatta. A műszaki tudományok e komplex ágazataiban dolgozták ki a rakéták és űrobjektumok távirányítását, szét- és összekapcsolását biztosító elektromechanikus-hidraulikus szervoszeleprendszereket. Ezek nemcsak arra voltak alkalmasak, hogy távoli rádiójelekre meghatározott mechanikus-hidraulikus elmozdulást végezzenek, ha-

® A Continental Oil Company szabadalma.

* ELGI

** OKGT GKÜ

nem arra is, hogy e repülő objektumok nagynyomású hidraulikus rendszerei segítségével több fokozatban teljesítményerősítést, azaz nagy nyomatékú mozgást hajtsanak végre.

A *Continental Oil Company*, mely a VIBROSEIS elvet szabadalmaztatta, a [2] kiadványában a kifejlesztés körülményeit a következőkben foglalja össze.

1952 augusztusában a *Conoco* egyik geofizikusa, *W. E. N. (Bill) DOTY* részt vett a *MIT* bostoni szemináriumán, melynek témaköre a szeizmogramok harmonikus analízise volt. Az információelmélet ismertetett új eredményei alapján jutott arra a gondolatra, hogy ezeket az elveket a szeizmikus kutatásban is eredményesen lehetne alkalmazni. Nem sokkal később *John CRAWFORD*-dal együtt jöttek rá arra, hogy az önmagát meg nem ismétlő, változó frekvenciájú szinuszhullám az, melyre a korrelációs műveletet alkalmazva igen kifejezett hasonlósági függvény kapható.

Az elvet a *Conoco* kifejlesztésre alkalmasnak ítélte. A munkálatokat 1953 januárjában kezdték meg. A feladatok három fő területre összpontosultak.

Ezek:

- a változó frekvenciájú szinuszhullám pontos generálása,
- ezt a hullámot pontosan leképező és megfelelő teljesítménnyel a talajba juttató vibrátorok építése, és
- analóg-korrelátor tervezése és építése

voltak.

Az első, a siker ígértét magukban hordozó kísérleti méréseket 1953 szeptemberében végezték. Vibrátorként forgó excentrikus súlyokat alkalmaztak, a korrelációs művelet eredményeit kézi úton ábrázolták. A felrakott adatokon a reflexiók világosan felismerhetők voltak.

A fejlesztés további szakaszában az eszközök tökéletesítése volt a cél. A több vibrátor szinkron üzemeltetésére a forgó excentrikus súlyok elve nem volt alkalmas. Póbálgattak elektromágneses elven működő vibrátorok építésével. Itt nem a szinkronitás, hanem a hatalmas áramigény jelentette a megoldhatatlan nehézséget. Végül a szervó-hidraulikus elv alkalmazása jelentette a megoldást. 1957-ben eredményesen próbáltak ki egy kísérleti példányt. Egy évvel később négy egységet üzemeltettek kísérleti csoportjuknál – sikerrel. 1961-ben kezdték meg a visszaacsatolással ellátott vibrátorok építését, melyek biztosították a vezérlőjel és az alaplemez szinkron működését.

Az eljárást még a fejlesztés stádiumában szabadalmaztatták, így a használati jogot meg kell vásárolni.

A vibroszeiz elvet és a kísérletek első eredményeit a *Geophysical Society of Tulsa* 1958. április 10-i ülésén hozták nyilvánosságra. Az első szakirodalmi közlés 1960 februárjában történt meg [3].

Ezt követően a vibroszeiz eljárás rohamosan terjedt, s a szakirodalmi publikációk egész sora jelent meg. (Ezek közül a jelentősebbeket a hivatkozásban felsoroljuk.) A széles körű lehetőségekről és eredményekről a cikkek ugyancsak beszámolnak.

Mindezek alapján várható a vibroszeiz eljárás alkalmazási területeinek bővülése a jövőben is.

A vibroszeiz eljárás elvi alapjai

A szeizmikus kutatásoknál alkalmazott hullámforrások egy kivételével úgynevezett impulzus források. Az általuk kisugárzott jel időben rövid lefutású, nagy amplitúdójú és spektruma igen széles, úgynevezett „fehér spektrum.”

Az egyetlen, a gyakorlatban is elterjedt nem-impulzus-forrás a vibrátor. Ez időben hosszan elnyúló, folytonos, kis amplitudójú jelet sugároz ki, amelynek spektruma korlátozott és a követelményeknek megfelelően állítható be.

A vibroszeiz eljárás tehát alapvetően különbözik a többi szeizmikus eljárástól, ebből fakadnak előnyei és hátrányai. Nagy előnye például gyakorlati alkalmazásának, hogy a kibocsátott hullámok kis amplitúdója miatt lakott területen, műtárgyak közvetlen közelében, vagyis impulzusforrásokkal megközelíthetetlen helyeken is dolgozhatunk vele, az adatfeldolgozás szempontjából pedig igen jelentős, hogy míg az impulzusforrások kibocsátott jeleinek alakjáról csak közelítő ismereteink vannak, addig a vibrátor jelalakját pontosan ismerjük. Hátránya ugyanakkor az eljárásnak, hogy bonyolultabb műszerezettséget és adatfeldolgozást igényel, mint az impulzusforrásokkal dolgozó eljárások.

A sweep

A vibrátor időben folytonosan és lineárisan változó frekvenciájú szinuszoid jelet, úgynevezett „sweep”-et sugároz ki. Ez a jelalak egyszerű formulával írható le:

$$S = \text{rect} \left(\frac{t}{T} \right) \cos 2\pi t \left(f_0 + \frac{kt}{2} \right), \quad (1)$$

ahol S magát a sweepet,

t az időt,

T a sweep időbeni hosszát,

f_0 a sweep középfrekvenciáját,

k pedig a sweep frekvenciájának időegység alatt történő megváltozását jelenti.

A felsorolt változók közül a két utolsót a következő két formulával tehetjük egyértelművé:

$$f_0 = \frac{1}{2} (f_1 + f_2), \quad \text{ahol } f_1 \text{ a sweep kezdő-, } f_2 \text{ a végfrekvenciája,}$$

$$k = \frac{D}{T}, \quad \text{ahol } D = |f_2 - f_1| \text{ a sweep spektrumának sáv szélessége;}$$

k előjelétől függően beszélünk növekvő frekvenciájú – pozitív k – illetve csökkenő frekvenciájú – negatív k – sweepekről, „up-”, illetve „downsweep”-ről.

Végül a $\text{rect}(x)$ függvény a négyszög-impulzus függvényt jelenti; ezt *Woodward* definiálta a következőképpen:

$$\begin{aligned} \text{rect}(x) &= 1, & \text{ha } |x| < \frac{1}{2}, \\ &= 0, & \text{ha } |x| \geq \frac{1}{2}. \end{aligned}$$

Az (1) képletet megvizsgálva látható, hogy a sweep két függvény szorzata.

A szorzat első tagja, a négyszög-impulzus függvény, a vibrátor jelének burkoló görbét adja, aminek fenti definíciójával a jel amplitúdóját egységnyinek választottuk.

A szorzat másik tagja egy cosinus függvény, aminek φ fázisát a következő kifejezés adja:

$$\varphi = 2\pi \left(f_0 t + \frac{kt^2}{2} \right);$$

ebből számítható a jel pillanatnyi frekvenciája f_i :

$$f_i = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi}{dt} = f_0 + kt. \quad (2)$$

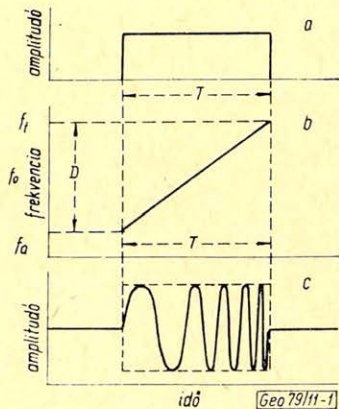
A (2) képlet értelmében szokás a vibrátor jelet egy f_0 hordozó frekvenciájú lineáris FM jelnek is tekinteni.

Az 1. ábra egy vibrátor jel – sweep – alakját (c), frekvenciamenetét (b) és burkoló görbét (a) – amplitúdó menetét – mutatja be.

1. ábra. A sweep: a) a sweep burkoló görbéje, b) a sweep frekvenciamenete, c) a sweep alakja

Рис. 1. Свип: а – огибающая свипа; б – частотная характеристика свипа; в – форма свипа

Fig. 1. a) sweep envelope, b) sweep rate, c) sweep signal



A sweep-ről eddig elmondottak alapján könnyen belátható, hogy alakját egyértelműen három adattal jellemezhetjük. Ez a három adat általában a sweep hossza (T), frekvenciaváltozásának sebessége (k) és kezdőfrekvenciája (f_1).

A vibroszeiz korreláció

A sweep hossza a gyakorlatban általában 5 és 10 sec között van, a szeizmikus reflexiók felvételek szokásos regisztrálási ideje, vagyis a várható legkésőbbi beérkezések beérkezési ideje általában max. 5 sec. Ez azt jelenti, hogy míg az impulzusforrások használatánál az egyes beérkezések időben egymást követve jelentkeznek, addig a vibroszeiz eljárásnál egymáshoz képest különbözőképpen késleltetett, de egymást hosszan átfedő sweep-beérkezések összegét regisztráljuk.

A nyers vibroszeiz regisztrátumok ezért még nem használhatók fel közvetlenül földtani kiértékelésre, szükségünk van egy további lépésre is, amely az

egymást többé vagy kevésbé átfedő sweepek összegét egymást követő impulzusok sorozatává alakítja. Ez a lépés az úgynevezett „vibroszeiz korreláció”.

A vibroszeiz korreláció a nyers regisztrátum csatornáinak a gerjesztő sweep-pel történő keresztkorrelációját jelenti: a talajba beadott „input” jellel korreláljuk a talajból válaszként jövő „output” jelet.

Jelöljük $S(t)$ -vel az „input” sweep-et,

$A(\tau)$ -val az $S(t)$ autokorrelációs függvényét,

$Y(t)$ -vel a talaj válasz-függvényét,

és $X(\tau)$ -vel az $S(t)$ és $Y(t)$ keresztkorrelációs függvényét;

akkor

$$X(\tau) = S(-t) * Y(t).$$

$Y(t)$ -ről tudjuk, hogy a különböző időkkel késleltetett sweep-ek összegeként áll elő, tehát

$$Y(t) = \sum_{i=1}^n S(t + q_i),$$

ahol q_i az i -ediként beérkező sweep késleltetése.

Így

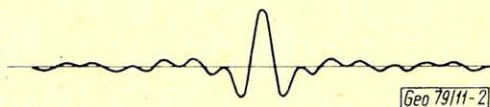
$$X(\tau) = S(-t) * \sum_{i=0}^n S(t + q_i).$$

Tekintettel a konvolúció disztributivitására,

$$X(\tau) = \sum_{i=0}^n [S(-t) * S(t + q_i)] = \sum_{i=0}^n A(\tau + q_i).$$

Az $X(\tau)$ függvény – a „vibroszeiz korreláció” végeredménye – tehát nem más, mint a sweep autokorrelációs függvények q_i időkkel késleltetett sorozatának összege. A korreláció lineáris művelet, egy összeg korreláltja azonos a tagok korreláltjainak összegével, így a különböző reflektáló szintekről visszaverődő és egymásra rakódó sweepeket összegét korrelálva a gerjesztő sweep-pel a sweep autokorrelációs függvényeinek a beérkezési időkkel késleltetett sorozatát, illetve ezen késleltetett autokorrelációs függvényeknek az összegét kapjuk. Az egyes autokorrelációs görbék amplitúdója egyenesen arányos a nekik megfelelő sweep-beérkezések amplitúdójával.

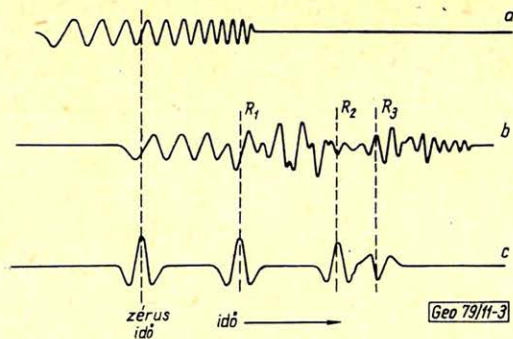
A sweep autokorrelációs függvényénél az energia az origó kis környezetére koncentrálódik és ezért a görbe alakja többé-kevésbé impulzusszerű (2. ábra). Így a vibroszeiz korreláció a sweep beérkezéseket impulzusszerű beérkezésekké



2. ábra. A sweep autokorrelációs függvénye (Klauder-wavelet)

Рис. 2. Автокорреляционная функция свипа

Fig. 2. Autocorrelation function (Klauder wavelet) of the sweep



3. ábra. A vibroszeiz-korreláció bemutatása szintetikus példán:

a) a gerjesztő sweep, b) a regisztrált csatorna, ahol R_1, R_2, R_3 jelentik a reflexiók beérkezési idejét, c) a korrelált csatorna

Рис. 3. Представление вибросейсмической корреляции на синтетическом примере
 а – свип возбуждения; б – трасса записи, по которой R_1, R_2, R_3 означают времена вступления отражений; в – коррелированная запись

Fig. 3. Synthetic model of vibroseis correlation. a) sweep signal b) recorded channel with R_1, R_2, R_3 reflections, c) correlated channel, d) zero time, e) time

alakítja, átalakítva ezzel a vibrogramot az impulzusforrásoknál megszokott impulzusszeizmogrammá (3. ábra).

A vibroszeiz korreláció ezt az átalakítást, mint ahogy azt Klauder és társai bebizonyították [1], az elvileg elérhető maximális jel/zaj arány biztosítása mellett hajtja végre.

A Klauder wavelet

Amint az az előző részből kitűnik, a vibroszeiz eljárásnál fontos szerepe van a sweep autokorrelációs függvényének, így viselkedésével valamivel részletesebben kell foglalkoznunk.

Alakjának kiszámításához tételezzük fel – Klauder nyomán – hogy az (1) formulával megadott sweep-alak nem más, mint egy komplex sweep-alak reális része:

$$S(t) = \text{Re}[S_k(t)],$$

a komplex sweep-alak pedig:

$$S_k(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) \exp\left[2\pi i\left(f_0 + \frac{kt}{2}\right)\right].$$

Számítsuk ki $S_k(t)$ autokorrelációs függvényét:

$$A_k(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{\tau-t}{T}\right) \text{rect}\left(\frac{\tau}{T}\right) \exp\left\{2\pi i\left[f_0 t + \frac{k}{2}\tau^2 - \frac{k}{2}(\tau-t)^2\right]\right\} d\tau;$$

ha $0 \leq t \leq T$, akkor,

$$A_k(t) = \exp \left[2\pi i \left(f_0 t - \frac{kt^2}{2} \right) \right] \int_{t-T/2}^{T/2} \exp(2\pi i k \tau) d\tau.$$

Az integrálást elvégezve jutunk a sweep autokorrelációs függvényének komplex alakjához:

$$A_k(t) = \frac{1}{\pi kt} \exp(2\pi i f_0 t) \sin \pi(ktT - kt^2).$$

Mivel

$$A(t) = \operatorname{Re} [A_k(t)], \quad A(t) \text{ alakja:}$$

$$A(t) = \frac{\sin \pi kt(T-t)}{\pi kt} \cos 2\pi f_0 t, \quad (3)$$

ahol $A(t)$ a sweep autokorrelációs függvényét jelenti, a többi változó jelentése pedig megegyezik az (1) formulánál használt jelölésekkel. A képlet jobb oldala itt is két részre, egy konstans frekvenciájú cosinusos tagra és egy ezt moduláló, a sinc függvényhez hasonló tagra bontható.

A sweep autokorrelációs függvényét, illetve szakirodalmi nevén a „Klauder wavelet”-et három adatával, a *jelélességgel*, a *felbontóképességgel* és a *jélszélességgel* szokás jellemezni.

A jelélesség

A jelélesség alatt a wavelet fő maximumának és első minimumának amplitúdóarányát értjük (4. ábra).

A jelélesség a sweep relatív sáv szélességének függvénye. Relatív sáv szélesség alatt az $\frac{f_a}{f_f}$ arányt értjük, ahol f_a a sweep alsó, f_f pedig felső határfrekvenciája.

Ha ez az arány, amit jelölünk D_{rel} jelöléssel, egyenlő 1-gyel, tehát $f_a = f_f$, azaz a sweep egy frekvenciaváltozás nélküli tiszta sinus, akkor a jelélesség értéke, amit jelölünk P -vel, szintén 1 lesz, mert a sin függvény autokorrelációja is sin függvényt ad. Ugyanezt képletekkel leírva:

$$\text{ha } D_{\text{rel}} = 1, \quad \text{akkor } P = 1.$$

D_{rel} értékét növelve nő P értéke is:

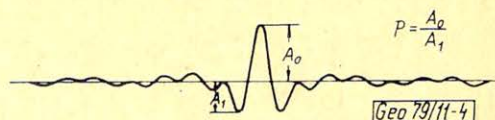
$$\text{ha } D_{\text{rel}} = \infty, \quad \text{akkor } P = \infty,$$

vagyis, ha a sweep sáv szélességét nagyon nagyra növeljük – „kifehéritjük” –

4. ábra. A jelélesség (P)

Рис. 4. Интенсивность сигнала (P)

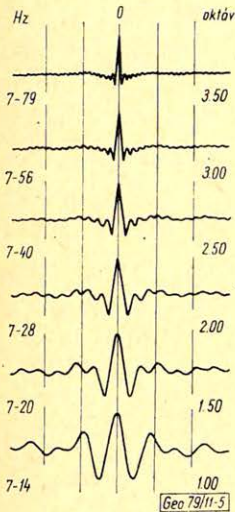
Fig. 4. Sharpness of the wavelet.



akkor a jelélesség is nagyon nagyra nő. A sweep relatív sávszélessége és a wavelet alakja közötti összefüggést szemlélteti az 5. ábra.

A jelélesség beállítása a gyakorlatban nagyon fontos, a lassan csillapodó nagy oldalmaximumok nehezé teszik a pontos beérkezési idők megállapítását, és zajként rakódnak rá más közeli beérkezésekre. Alacsony jelélesség esetén fennáll a veszélye annak, hogy egy erősebb beérkezés oldalmaximumaival interferálva elvesznek a szomszédos gyengébb beérkezések.

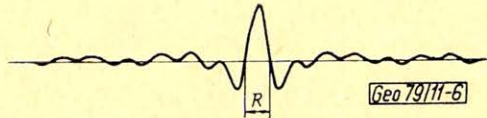
A jelélesség növelését bizonyos határon túl technikai tényezők korlátozzák; általában elfogadott a $D_{rel} = 4$ értékű, úgynevezett két oktávós sweepepek jelélessége.



5. ábra. A sweep relatív sávszélessége és a wavelet alakja közötti összefüggés

Рис. 5. Зависимость относительной ширины свипа от формы волны

Fig. 5. Relation of relative width of sweep vs. wavelet shape.



6. ábra. A felbontóképesség (R)

Рис. 6. Разрешающая способность (R)

Fig. 6. Resolution

A felbontóképesség

A felbontóképesség mértékeként a Klauder-wavelet főmaximumának a zérus értéknél mért szélességét használjuk (6. ábra). A wavelet felbontóképessége jó közelítéssel az f_0 frekvencia periódus-idejének felével egyezik meg. Ha a fel-

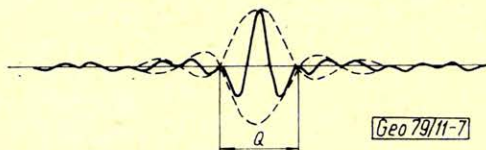
bontóképességet R -rel jelöljük, felírható, hogy $R = \frac{1}{2f_0}$. Ez a (3) képlet alapján

könnyen belátható, ugyanis egy sinuscardinális-szerű függvény éppen az origó környékén érinti legkevésbé az alapjelet. A wavelet felbontóképessége az f_0 növelésével javítható, ez a sweep frekvenciahatárainak megfelelő növelésével érhető el.

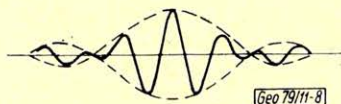
A jelszélesség

Jelszélesség alatt a moduláló függvény origóval szomszédos zéruspontjainak távolságát értjük (7. ábra). Ezt az értéket pontosan meghatározhatjuk a moduláló függvény számlálójából, de erre általában nincs szükség, mert a gyakorlatban előforduló sweepeknél jó közelítést ad a következő formula:

$Q \approx \frac{2}{D}$, ahol Q a jelszélességet jelenti.



7. ábra. A jelszélesség (Q) Рис. 7. Ширина сигнала (Q) Fig. 7. Width of signal.



8. ábra. Egy oktáv relatív sávzélességű sweep autokorrelációs wavelet-je

Рис. 8. Автокорреляционная волна свипа относительной ширины равной одной октав

Fig. 8. Autocorrelation wavelet of one octave sweep.

A formulából látható, hogy a sávzélesség növelésével csökken a jelszélesség, illetve nagyon keskeny sávú sweepeknél igen nagy lehet a jelszélessége, ilyenkor már inkább jelcsomag-szélességről beszélhetünk (8. ábra). A jelszélesség gyakorlatilag a wavelet hosszát jelenti, megmutatja, mekkora az a minimális beérkezési időkülönbség, amin túl már két wavelet nem interferál egymással.

A Klauder-wavelet felsorolt jellemzői egymással is szorosan összefüggnek, a megfelelő jelélesség jó felbontóképességgel párosulva maga után vonja a kis jelszélességet is, ugyanakkor a felső határfrekvencia technikai korlátai miatt sokszor engednünk kell a felbontóképességből a megfelelő jelélesség és jelszélesség kedvéért.

A vibroszeiz-korreláció generálta zajok

A különböző szeizmikus zaj-típusokhoz, amelyeket az impulzus-forrásokkal dolgozó szeizmikából ismerünk mint külső eredetű, forrás-generálta és műszer-zajokat, a vibroszeiz eljárásnál újabbak adódnak, az úgynevezett korrelációs zajok. Ide soroljuk a korreláció során fellépő nem kívánt jeleket, ezek két csoportját különböztetjük meg, az autokorrelációs wavelet mellékmaximumait és a korrelációs ghostokat.

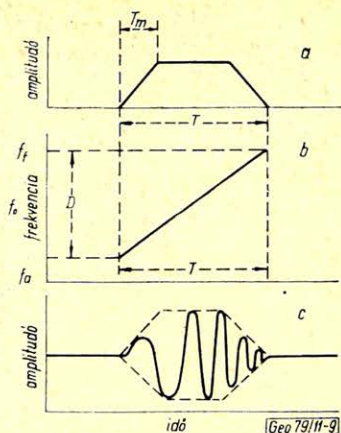
A Klauder-wavelet mellékmaximumai

A wavelet mellékmaximumainak kérdését már érintettük a jelélességgel kapcsolatban; ha nagyok a mellékmaximumok, zavarhatják a szomszédos beér-

9. ábra. Sweep lineáris taper alkalmazásával:
 a) a sweep burkoló görbéje, b) a sweep frekvenciamenete,
 c) a sweep alakja

Рис. 9. Свип при применении линейной сужения:
 а - огибающая свипа; б - частотная характеристика свипа в - форма свипа

Fig. 9. Sewep with linear taper.
 a) envelope, b) sweep rate, c) sweep



kezéseket. A mellékmaximumokat a jelélességet javítva a sweep relatív sávszélességének növelésével csillapíthatjuk. A D_{rel} növelésének azonban korlátai vannak, és így sokszor nem bizonyul ellégnek; ilyenkor még egy lehetőség áll rendelkezésre a mellékmaximumok csillapítására; az úgynevezett „taper” alkalmazása. A taper nem más, mint a sweep végeinek adott hosszra adott függvényrel történő csonkítása, vagyis más burkoló görbe alkalmazása. A legegyszerűbb lehetőség a lineáris taper, ez négyszög-impulzus helyett trapéz alakú burkoló görbét ad; egyenlete:

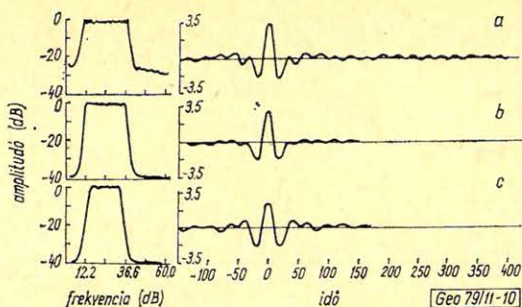
$$f(t) = \begin{cases} 1 & , \text{ ha } |t| \leq T - T_m \\ \frac{t + T - T_m}{2T_m} & , \text{ ha } T - T_m < |t| < T \\ 0 & , \text{ ha } |t| \geq T, \end{cases} \quad (4)$$

ahol T_m a sweep végein a csonkított szakasz hossza (9. ábra). A tapertől a mellékmaximumok csillapítása mellett elvárjuk azt is, hogy a főmaximumot a lehető legkevésbé változtassa meg, ezért óvatosan kell meghatározni a taper hosszát; a taper alkalmazása ugyanis a sweep speciális alakja miatt hasonló hatással jár, mint egy egyszerű sávszűrés, szűkíti a sweep spektrumát, ami viszont jelélességromlást és jelszélesség-növekedést eredményez (10. ábra). A taper alkalmazásának mértékét a $\frac{100 T_m}{T}$ % kifejezéssel szokás megadni.

A taper alkalmazásával kapcsolatban még meg kell jegyezni, hogy a vibrátorvezérlő elektronikába rendszerint eleve beépítenek valamilyen, a specifikációban megadott formájú és hosszúságú tapert, erre a vibrátorok sima indulásához és leállításához is szükség van.

A korrelációs ghost

Míg a wavelet mellékmaximumai elvileg is elválaszthatatlanok magától a wavelettől, addig a korrelációs zajok másik fontos típusa, a korrelációs ghost



10. ábra. A taper alkalmazásának hatása:

a) a taper nélküli sweep spektruma és autokorrelációs waveletje, b) ugyanez a sweep 10%-os taper alkalmazásakor c) ugyanez a sweep 20%-os taper alkalmazásakor (a taper \cos^2 típusú volt)

Рис. 10. Эффект применения сужения: а – спектр свипа без сужения и его автокорреляционная волна; б – то же при 10%-ном сужении свипа; в – то же при 20%-ном сужении свипа (применялось сужение типа \cos^2)

Fig. 10. Influence of the taper function:

a) amplitude spectrum and autocorrelation wavelet without taper, b) with 10% taper, c) with 20% taper, (b) and c) with \cos^2 taper)

elvileg nem tartozik a wavelethez, de a gyakorlatban éppen olyan elkerülhetetlen, mint az előző típus. Ha a vibrátorok az (1) formula által leírt sweepet képesek lennének tökéletesen kisugározni, a korrelációs ghost nem lépne fel, de a ténylegesen kisugárzott sweep mindig többé-kevésbé torzított, emiatt megjelennek a jelben a kisugárzott frekvenciák felharmonikusai is, a korrelációs ghost pedig nem más, mint a sweep felharmonikusainak keresztkorrelációs waveletjei.

Más szóval, az $S(t)$ meghajtójel által vezérelt vibrátor ténylegesen nem egy $S(t)$ alakú sweep-et sugároz ki, hanem a kisugárzott sweep valódi alakja:

$$S_v(t) = \sum_j S_j(t),$$

ahol $S_0(t) \equiv S(t)$,

$S_1(t)$ az $S(t)$ első felharmonikusa,

$S_2(t)$ az $S(t)$ második felharmonikusa,

stb.

Ha ezt a jelet a „vibroszeiz-korrelációnak” vetjük alá, akkor az eredmény nem $A(t)$ lesz, hanem

$$K(t) = A(t) + \sum_{j=1}^n k_j(t),$$

ahol $K(t)$ a kibocsátott $S_v(t)$ jel és a referencia-sweep $S(t)$ keresztkorrelációja,

$k_j(t)$ az $S_j(t)$ és az $S(t)$ keresztkorrelációja,

n annak a legmagasabbrendű felharmonikusnak a rendszáma, amelyre a $k_n(t)$ még nem azonosan zérus amplitúdójú. Látni fogjuk, hogy n értéke az $S(t)$ sáv szélességtől, D -től függ.

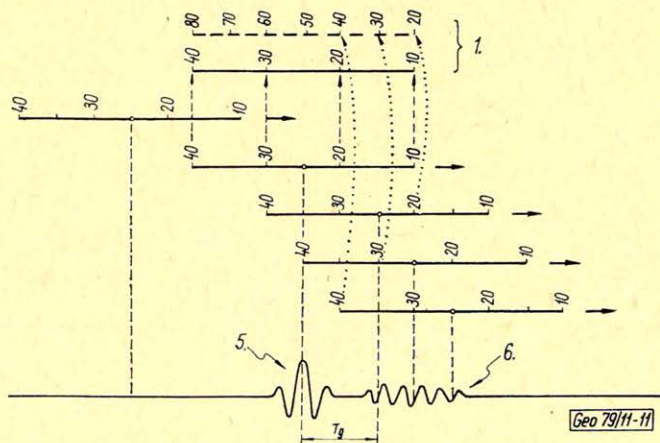
A kisugárzott sweep torzítását több tényező is előidézheti; magán a vibrátoron fellépő rezonancia jelenségek, a vibrátor talaj csatolás stb., ezeknek az

okoknak meghatározása és kiküszöbölése megoldatlan kérdés, ezért a korrelációs ghostot nem megszüntetni igyekszünk, hanem megpróbáljuk úgy választani a sweep-paramétereket, hogy a ghostok a mérés szempontjából értékes regisztrációs időn túl lépjenek fel.

A sweep-felharmonikusok korrelációs waveletjei időben eltolva jelentkeznek az alapharmonikust képviselő autokorrelációs wavelethez képest. Az autokorrelációs wavelet főmaximumát akkor kapjuk, amikor a regisztrált sweepbeérkezés és a korreláló referencia-sweep teljes fedésben van a korreláció során. Az első felharmonikus kezdő frekvenciája kétszerese az alap- és az ezzel megegyező korreláló-sweep kezdő frekvenciájának, így ez a frekvencia akkor fog korrelálni a korreláló sweep megfelelő frekvenciájával, amikor a korreláló sweep már egy oktávnyit tovább haladt. Az első sweepfelharmonikus frekvenciájának időegységenkénti változása is kétszeres, ezért a további frekvenciaösszetevők korrelálódásához a korreláló sweepnek egyre tovább kell haladnia, emiatt a ghost időben hosszan elnyúlik (11. ábra). A második felharmonikus hasonló módon másfél oktáv múlva kezd jelentkezni. A harmadik felharmonikusnak két oktávnyi távolságban kellene kezdődnie, ezért két oktávos sweepeket tételezve fel, a harmadik és az ennél magasabb rendű felharmonikusok nem képeznek ghostot (12. ábra).

Az elmondottak alapján megállapítható, hogy a legmagasabbrendű még korrelációs ghostot képző felharmonikus rendszáma,

$$n = \frac{D}{f_a} - 1 = \frac{f_f}{f_a} - 2.$$



11. ábra. A korrelációs ghost kialakulása:

1. regisztrált sweep, 2. felharmonikus, 3. alapharmonikus, 4. korreláló sweep, 5. autokorrelációs wavelet, 6. korrelációs ghost

Рис. 11. Образование корреляционного отражения-спутника: 1 – записанный свип; 2 – вторая гармоническая; 3 – основная гармоника; 4 – коррелирующий свип; 5 – автокорреляционная волна; 6 – корреляционное отражение-спутник

Fig. 11. Harmonic ghost.

1. Recorded sweep, 2. First harmonic, 3. Basic harmonic, 4. Master sweep, 5. Autocorrelation wavelet, 6. Harmonic ghost

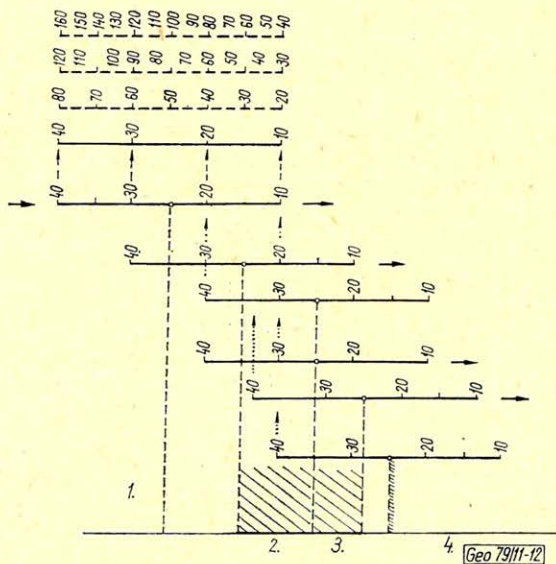
A Klauder-wavelethez időben legközelebb az első sweep-felharmonikusból származó ghost jelentkezik, ha ezt megfelelő távolságra tudjuk a wavelettől tolni, akkor a magasabb felharmonikusokból származó ghostok szintén elég távol lesznek, és így az értékes regisztrálási időt nem fogják zavarni. Az első sweep-felharmonikus keresztkorrelációs waveletjének kezdete a fenti gondolatmenet alapján könnyen meghatározható:

$$T_g = \frac{f_a T}{f_f - f_a},$$

ahol T_g az első felharmonikusból származó ghost követési ideje. Kétoktávós sweepéknél, ahol $f_f = 4f_a$, a formula még egyszerűbb;

$$T_g = \frac{T}{3}$$

A korrelációs ghost követési ideje tehát a sweep hosszának harmada, ami azt jelenti, hogy a ghostok elkerülhetők, ha a sweep hossza meghaladja az értékes regisztrálási idő háromszorosát.



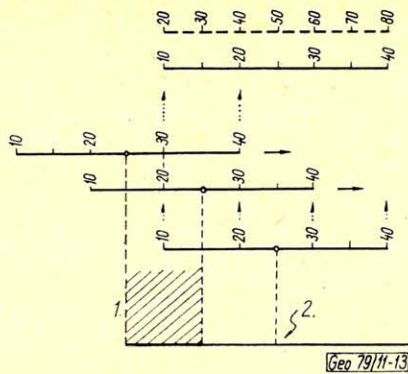
12. ábra. A magasabbrendű felharmonikusok korrelációs ghostjainak kialakulása:

1. autokorrelációs wavelet helye, 2. az 1. felharmonikus ghost helye, 3. a 2. felharmonikus ghost helye, 4. a 3. felharmonikus ghost itt kezdődne, de már nincs fedés a korreláló sweepel

Рис. 12. Образование корреляционного отражения-спутника высоких гармоник: 1 – место автокорреляционной волны; 2 – место отражения-спутника первой гармоник; 3 – место отражения-спутника второй гармоник; 4 – место где началось бы отражение-спутник третьей гармоник, но уже отсутствует перекрытие с коррелирующим свипом

Fig. 12. Ghosts due to higher harmonics.

1. Autocorrelation wavelet, 2. First harmonic, 3. Second harmonic, 4. Third harmonic (but there is no correlation with master sweep)



13. ábra. A korrelációs ghost kialakulása növekvő frekvenciájú sweep esetén:
1. ghost helye, 2. autokorrelációs wavelet helye,

Рис. 13. Образование корреляционного отражения-спутника при наличии свипа увеличивающейся частоты 1 – место отражения-спутника; 2 – место автокорреляционной волны

Fig. 13. Correlation ghost due to up-sweep.
1. Ghost, 2. Autocorrelation wavelet

A korrelációs ghost csak a Klauder-wavelet egyik oldalán jelenik meg, csökkenő frekvenciájú sweepeket esetén késik az autokorrelációs wavelethez képest (11. ábra), növekvő frekvenciájú sweepeket esetén siet, vagyis megelőzi T_g idővel az autokorrelációs waveletet (13. ábra). Ez a tény akkor válik fontossá, ha technikai vagy gazdaságossági okokból nem tudunk elég hosszú sweepet használni. Ilyenkor nem mindegy, hogy a nagy amplitúdójú korai beérkezések arányosan nagy amplitúdójú korrelációs ghostjai rakódnak-e a gyenge késői beérkezésekre, vagy a gyenge késői beérkezések kis amplitúdójú ghostjai az erős korai beérkezésekre. Míg az első esetben a zavar-energia valószínűleg felülmúlja a hasznos jelét, addig az utóbbiban hatása jelentéktelen, sőt általában észlelhetetlen. Ezért ilyen esetekben a ghost-problémák megkerülésére növekvő frekvenciájú sweepeket szokás használni, annak ellenére, hogy technikai okok miatt a csökkenő frekvenciájú sweepeket használata technikailag előnyösebb, ezeknél ugyanis sokkal jobb a fáziskompenzálhatóság.

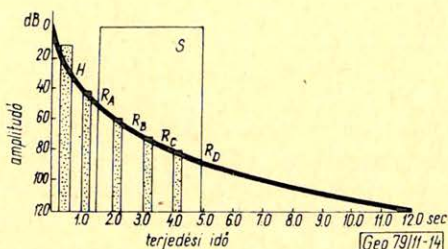
Megjegyezzük még, hogy ha a vibroszeiz-korrelációban az $S(t)$ referencia-sweep és az $S_v(t)$ valódi kimenő jel keresztkorrelációja helyett az $S_v(t)$ önmagával vett autokorrelációját képeznénk, akkor a korrelációs ghostok szimmetrikusan mindkét oldalon megjelenének. Ezért a vibroszeiz-korreláció eredeti választását ebből a szempontból is optimálisnak tekinthetjük.

Az első beérkezések problémája

A vibroszeiz-méréseknek van még egy sajátos problémaköre, ami az impulzus-módszerekkel dolgozó szakemberek számára szokatlan, ez pedig az első beérkezések problémája, amit a következőképpen foglalhatunk össze.

Ha a valóságot a lehető legjobban leegyszerűsítjük, akkor azt mondhatjuk, hogy egy felvétel összetevődik a hasznos jelekből, vagyis az egymás után beérkező reflexiókból, és a hullámforrás gerjesztette rendezett zajokból, vagyis az első beérkezésekből és a felszíni zavarhullámokból. Mind az első beérkezések, mind a felszíni zavarhullámok rendkívül nagy energiával rendelkeznek a hasznos beérkezésekhez képest, ezért fennáll annak a veszélye, hogy a regisztráló műszer dinamikatarományja nem elegendő ezeknek a zajoknak és a hasznos jeleknek az egyidejű regisztrálására, így a kis energiájú reflexiók elveszhetnek a felvételtől. Hogy ezt elkerüljük, ezeket a nagy energiájú zajokat már a műszer-bemenet előtt csillapítanunk kell erre a célra méretezett csoportosításokkal.

Az impulzus-források alkalmazásával készített felvételeken az első beérkezések minden hasznos jelet megelőzve jelentkeznek, így nem zavarják a hasznos jelek regisztrálását, és utólagos eltávolításuk is egyszerűen megoldható a hasznos jelek károsítása nélkül. Ezért itt az első beérkezésekkel nem kell törődjünk, a csoportosítások méretezésének alapvető szempontjaként a hasznos jelekkel interferáló felszíni zavarhullámok csillapítását tekintjük (14. ábra). Más a helyzet a vibroszeiz-méréseknél, itt egy-egy beérkezés hosszú sweep formájában jelentkezik, és az első beérkezésnek megfelelő nagyintenzitású sweep hosszan átfedi



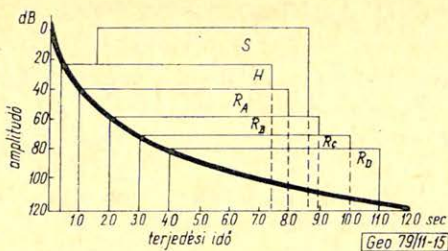
14. ábra. Az impulzus-módszerek amplitúdó-viszonyainak alakulása az idő függvényében (H = első beérkezések, S = felszíni zavarhullámok, R_A, R_B, R_C, R_D reflexiók beérkezései)

Рис. 14. Зависимость амплитуд в импульсных методах от времени (H – первые вступления, Φ – поверхностные помехи, R_A, R_B, R_C, R_D – вступления отражений)

Fig. 14. Amplitude ratio vs. time in case of impulse seismic sources. (H: first breaks, S: ground rolls, R_A, R_B, R_C, R_D : reflections)

még a legkésőbbi beérkezéseknek megfelelő kis intenzitású swepeket is (15. ábra). Ha tehát az intenzitáskülönbség meghaladja a műszer dinamikatarományát az első beérkezés és a reflexiók között, akkor a reflexiók elvesznek, a felvétel az első beérkezés eltávolítása után üres marad.

A műszerbemenetet megelőző szűrésnek tehát az első beérkezéseket kell a reflexióktól szétválasztania. Tekintve a műszerbemenet előtti szűrők – geofon és vibrátor csoportosítások – nem túl nagy meredekségű szűrőkarakterisztikáit és az egymástól szétválasztandó beérkezések különbségeinek csekély voltát, ez sokszor igen kényes feladat, amit nem lehet a reflexióktól durva eltéréseket mutató felszíni zavarhullámok szűrésével azonos értékű terítési problémaként kezelni.



15. ábra. A vibroseis mérések amplitúdó viszonyainak alakulása az idő függvényében (a jelölések magyarázatát lásd a 14. ábrán)

Рис. 15. Зависимость амплитуд в вибросейсмическом методе от времени (условные обозначения см. на рис. 14.)

Fig. 15. Amplitude ratio vs. time in case of vibroseis signals. (Notions on Fig. 14.)

A mérési paraméterek tervezésének elvei

A vezérlő rezgés meghatározásának szempontjai a következők:

- A lehető legnagyobb felbontóképességre kell törekedni, azaz f_0 értékét minél magasabbra kell választani.
- Az elérhető legkisebb wavelet-szélességet kell használni az egymást követő reflexiók jó szétválasztása érdekében. Ez a követelmény D lehető legnagyobb értékével függ össze.
- Nagy jelelességre van szükség ahhoz, hogy a Klauder-wavelet saját jel/zaj-viszonya minél jobb legyen. Ez f_0/D minimális értékénél érhető el; gyakorlatban 2 oktávot átfogó vezérlő-rezgés kielégítő eredményeket ad.
- A jel/háttérzaj-viszony a sweep-hossz négyzetgyökével arányos, a sweep-hossz megduplázása tehát 1,41-szeres javulást eredményez.
- A vezérlő rezgés kezdő és befejező szakaszában csönkítést kell alkalmazni az amplitúdóspektrum Gibbs-féle oszcillációinak csökkentése érdekében. Ezzel a Klauder-wavelet saját jel/zaj-viszonya javítható. Az amplitúdócsönkítésnek a sweep-hossz 10%-át kell a tapasztalatok szerint kitennie. Túl rövid csönkítés (taper) ugyanis nem elég hatásos, a túl hosszú pedig a D csökkenését, a wavelet-szélesség növekedését, továbbá a jelelesség romlását eredményezi.
- A vezérlőrezgés frekvenciahatárai legyenek összhangban a mérőrendszer tagjainak frekvenciakorlátaival.
 Alsó korlátok: a vibrátor csúcserejének töréspontja, valamint az előerősítők, előszűrők és a geofonok torzítatlan átvitelének alsó határa. Fázistolások a korreláció miatt szintén nem engedhetők meg.
 Felső frekvencia-korlát: a mintavételi távolsággal összefüggő „antialiasing” szűrő.
- Fontos szempont, hogy a sweep frekvenciahatárai ne lépjék túl a területre jellemző talajátviteli függvény jól átérésztő szakaszának határait. Át nem vitt frekvenciák gerjesztése értelmetlen.

- h)* Törekedni kell arra, hogy a területre jellemző felszíni zavarhullámok spektruma ne fedje át a vezérlő rezgés spektrumát, azaz a sweep alsó határfrekvenciája legyen magasabb a zavarhullámok spektrumának csúcánál.
- i)* Külön figyelmet kell fordítani az első-, másod- és harmadrendű felharmonikusghostok kiküszöbölésére. Növekvő frekvenciájú rezgések esetén a ghostok gyakorlatilag nem zavaróak, csökkenő frekvenciájú rezgések esetén pedig a sweep-hossz megfelelő választásával a hasznos időtartományon kívülre helyezhetők.

A mérési elrendezés paramétereinek meghatározásához szükséges szempontok az alábbiak:

- a)* A geofoncsoportok bázistávolságának tervezésekor az elérhető jel/zaj-viszonyt, a kívánt felbontóképességet, a kutatás mélységintervallumát, a többszörös reflexiók csillapítását kell figyelembe venni.
- b)* A felszíni zavarhullámok, s a vibrátor-motoroktól eredő hanghullámok miatt lehetőleg nagy terítés – vibrációs-pont távolságot kell választani.
- c)* Az első beérkezéseket még a műszer-bemenet előtt a lehető legnagyobb mértékben csillapítani kell. Ez azt jelenti, hogy a geofoncsoportosítás paramétereinek meghatározásánál nemcsak a nagyintenzitású felszíni zavarhullámok, hanem az első beérkezések jellemzőit is figyelembe kell venni. A geofoncsoportokon belüli távolságokat az egyenletes szűrés érdekében a

$$d = \frac{1}{2K_{\max}}$$

szerint célszerű megválasztani, ahol a K_{\max} a szűrni kívánt legnagyobb hullámszámot jelenti.

- d)* A mérés gazdaságossága érdekében olyan vibrációs-pont-csoportosítást kell tervezni, amely a vibrátorok egyirányú (hátramenet nélküli) haladásával megvalósítható.
- e)* Ugyanakkor fontos, hogy a forrás és a vételi oldal csoportosítási paramétere azonosak legyenek, mivel a legnagyobb csillapítási érték és vágási meredekség ezáltal érhető el. Ha gyakorlati okok ezt nem engedik meg, úgy a vágási pontok egybeesésére kell ügyelni, ami a csoport bázishosszak azonosságával érhető el.
- f)* Az egy felvétel készítéséhez szükséges vibrációk számát kísérleti mérésekkel lehet meghatározni. Itt mindig az elérni kívánt jel/zaj-viszony és a felvétel elkészítésére fordított idő optimumát kell keresni. Ez kutatási területenként nagyon változó lehet.

A felsorolt elvi és gyakorlati szempontok, valamint a szeizmikus mérések tervezésére vonatkozó, itt nem említett általános ismervek felhasználásával kell a vibroszeiz mérési metodikát kidolgozni.

Ennek gyakorlati kivitelezése egy tesztmérés sorozat végrehajtásával történik.

A mérés a következő lépésekből áll:

- a)* Felszíni zavarhullám mérés,
b) Sweep-frekvencia-vizsgálat,
c) Geofoncsoportosítási paraméterek vizsgálata,
d) Vibrátor-csoportosítási paraméterek vizsgálata,

- e) Sweep-hosszúság próbák,
- f) Sweep-szám vizsgálat,
- g) Növekvő és csökkenő frekvenciájú rezgések próbája, ghostok vizsgálata,
- h) Invertált sweep-próbák,
- i) Geofonbázisköz, csatornánkénti geofonszám meghatározása,
- j) Terítés – vibrátor-pont távolság meghatározása,
- k) Fedésszám értékének meghatározása.

A vázolt kísérletsorozat eredményei alapján a rutinmérési paraméterek meghatározhatók. Egy kísérletsorozat felvételeit mutatja be a jelen füzet másik cikke, mely a kőolajipari vibroszeizmikus méréseket tárgyalja.

* * *

A fenti rövid összefoglalásból látható, hogy a vibroszeizmika elvében, eszközeiben és módszertanában jelentős eltéréseket mutat az impulzusszeizmikához viszonyítva. Több mérési paramétert kell meghatározni, s a kutatási feladathoz, a terület adottságaihoz illeszteni.

Ugyanakkor látható az is, hogy a vibroszeiz rendszer eszközei az elvileg lehetséges paraméterválasztást korlátok közé szorítják. A vibrátorok például 6–124 Hz közötti rezgések generálását teszik lehetővé. Két oktávós rezgéseket véve alapul a legalacsonyabb frekvenciaintervallum 6–24 Hz, míg az alkalmazható legmagasabb 31–124 Hz-közé esik.

Igen nagy előny a rezgések kis energiasűrűsége, így közetroncsolásra nem fordítódik energia. Ez a tény egyben lehetővé teszi lakóházak, ipari létesítmények, termelő mezők berendezéseinek 5–10 m-re való megközelítését a károkozás veszélye nélkül.

A vibroszeizmikánál sem merül fel behatolási probléma. A vibrátorok keltette kis energia ellenére megfelelő jel/zaj-viszonnyal rendelkező felvételeket, illetve időszelvényeket lehet készíteni, melyek egyenértékűek a robbantásos szeizmikus szelvényekkel. Ezt a tényt szakirodalmi közlések és a hazai tapasztalatok is egyértelműen bizonyítják.

Gyakorlati előny, hogy a fűrészi-robbantási nehézségekkel rendelkező területeken a vibroszeiz módszer gond nélkül alkalmazható, ugyanakkor károkozási és környezetvédelmi szempontokból is kedvezőbb.

A vibroszeiz módszer általános értékelésénél figyelembe kell venni a jelgerjesztő eszközök bonyolultságát, viszonylag nagy karbantartási igényességét, a módszertani lehetőségek széles skálájával járó többletmunkákat.

Van a módszerrel kapcsolatos néhány olyan problémakör, melyeket a vonatkozó szakirodalom nem tárgyal, de tanulmányozásuk feltétlenül szükséges.

Ilyen például a harmonikus ghostok keletkezésének pontos mechanizmusa, melynek közelebbi megismerése eliminálásuk kulcsát adná a kezünkbe.

Másik fontos témakör a vibrátor-talaj kényszerrezgő rendszer rezonanciájának vizsgálata. A rezonanciafrekvencia 6–20 Hz közé esik, tehát általában beleesik a rutinmérésre használt rezgés frekvenciaintervallumába. A rezonanciafrekvencia közvetlen környezetében a rezgésamplitúdó nagyobb lesz, s a kereszt-korreláció eredményeként kapott Klauder-wavelet torzul, a rezonanciafrekvenciát emeli ki. Fokozhatja ezt a hatást a frekvencia-szelektív abszorpció is.

Mindezen témakörök vizsgálatára szükség van a vibroszeiz módszer hatékonyabb alkalmazása érdekében.

- [1] *Klauder, J. R., Price, A. C., Darlington, S., and Albersheim, W. J.*: The theory and design of chirp radars. The Bell System Technical Journal, Vol. 39, No. 4, July 1960.
- [2] *Conoco Geophysics* – the first fifty years. Houston, 1975, Continental Oil Company. (Kiadvány.)
- [3] *Crawford, J. M., Doty, W. E. N. and Lee, M. R.*: Continuous signal seismograph. Geophysics, Vol. 25, No. 1, Febr. 1960.
- [4] *Smith, N. and Heishusen, W.*: Selection of field recording parameters for the "Vibroseis" systems of seismic exploration. Continental Oil Company
- [5] *Sorkin, S. A.*: A method for reducing the effects of "Vibroseis" base plate distortion. Teledyne Exploration Company.
- [6] *Geyer, R. L.*: Vibroseis parameter optimization. Oil and Gas Journal, October 27, 1969.
- [7] *Anstey, N. A.*: Correlation techniques – A review. Geophysical Prospecting, Vol. 12, No. 4, December 1964.
- [8] *Seriff, A. J. and Kim, W. H.*: The effect of harmonic distortion in the use of vibratory surfaces. Geophysics, Vol. 35, No. 2, April 1970.
- [9] *Krey, Th.*: Remarks on the signal to noise ratio in the Vibroseis system. Geophysical Prospecting, Vol. 17, No. 3, September 1969.
- [10] *Gurbuz, B. M.*: Signal enhancement of vibratory source data in the presence of attenuation. Geophysical Prospecting, Vol. 20, No. 2, June 1972.
- [11] *Geyer, R. L.*: The Vibroseis system of seismic mapping. Journal of the Canadian Society of Exploration Geophysicists. Vol. 6, No. 1, October 1970.
- [12] *Goupillaud, P. L.*: Signal design in the "Vibroseis" technique. Geophysics, Vol. 41, No. 6, December 1976.
- [13] *Erlinghagen, L.*: Das Vibroseis-Verfahren und seine Anwendung in der Molasse. Prakla-Seismos.
- [14] *Erlinghagen, L.*: Zwölf Jahre Vibroseis bei Prakla-Seismos. Technische Entwicklung und Anwendung, Hannover, 1975, Prakla-Seismos.
- [15] *Geyer, R. L.*: Catalog of Klauder-wavelets. Tulsa, 1972. Seismograph Service Corporation.
- [16] *Maass, H. W.*: Das „Vibroseis“-System als optimales Laufzeit-Verfahren. Erdöl und Kohle, Erdgas, Petrochemie, 17. Jahrgang, Nr. 11. 1964.

Egyesületi hírek

A XXIII. Geofizikai Szimpózium Várnában, 1978. október 4–7.

A XXIII. Geofizikai Szimpóziumot 1978. október 4–7. között Várnában rendezték. A résztvevők száma 450 volt, ebből 76 magyar. Összesen 69 előadás hangzott el (65 a népi demokratikus, 4 a nyugati országok résztvevőitől). Az előadások megoszlása nemzetek szerint: Bulgária 19, Magyarország 11 (egyet ebből nem tartottunk meg, de a kiadványban megjelenik), NDK 10, Lengyelország 8, Csehszlovákia 10, Szovjetunió 7, Jugoszlávai – USA – Franciaország – NSZK 1 – 1.

A szimpóziummal egyidejűleg műszerkiállítás is volt 4 népi demokratikus és 6 nyugati kiállítóval.

Első ízben sikerült elérni azt, hogy a bejelentett előadások szövegeinek legalább is nagy része előre megjelent, és a résztvevők rendelkezésére állt már a szimpózium alkalmával. A kötet 51 előadás szövegét tartalmazza. Az időben be nem érkezett dolgozatokat majd egy második kötetben közlik.

T. G.