

Erweiterung der Schlagseismik

CHR. OELSNER*

A sekélyseizmikus vizsgálatoknál manapság sikerrel alkalmazzák a kalapácsseizmikát. Sekélyseizmikus problémák földalatti- és mérnökgeofizikában fordulnak elő. Ezideig az ejtősúlyos eljárás hátránya abban mutatkozott meg, hogy a különböző területek regisztrátumait a dinamikai sajátosságokat tekintve, nem lehetett egymással összehasonlítani. A szerző beszámol arról, hogy az ejtősúlyos seizmikánál alkalmazott kalapácsoshoz hozzáépített piezoelektromos rezgésfelvevő segítségével lehetségessé vált a hagyományos kalapácsseizmika kiszélesítése a sekélyseizmikus vizsgálatoknál.

A GRAMMEL által közölt lefekezési törvényt a kalapácsütésre alkalmazták. A primérimpulzus regisztrálásával a relatív ütési energiák meghatározhatók és ezáltal a regisztrátumok dinamikai sajátosságai jobban kiértékelhetők.

A cikk végül a Freiberg mellett végzett földalatti mérések eredményét tárgyalja.

В настоящее время с большим успехом при исследованиях на небольшие глубины применяют ударную сейсмику. С проблемами сейсмики небольших глубин сталкиваемся в подземном картировании и в инженерной геофизике. До сего времени недостаток способа падающего груза выразился в том, что нельзя было сопоставить друг с другом сейсмограммы различных разностей, относительно их динамических особенностей. Докладчик упоминается о том, что как с помощью пьезоэлектрического приемника вконструированного в молот стало возможным расширение области применения обычной ударной сейсмики при исследовании небольших глубин.

В ударе молота применили закон торможения предложенный Граммелем. С регистрацией непосредственного импульса могут быть определены относительные ударные энергии, с помощью которых могут быть лучше проинтерпретированы динамические особенности сейсмограмм. С особым успехом может быть применен в прикладной геофизике известный в теории связи метод определения функций передачи с помощью электронного анализатора частот.

В заключении докладчик приводит результаты подземного картирования в районе Фрейберга.

Für nachseismische Untersuchungen wird heute mit Erfolg die Hammerschlagseismik benutzt. Nachseismische Probleme liegen bei der Ingenieurgeophysik und bei untertägigen Untersuchungen vor. Der Nachteil der Schlagseismik lag bisher darin, dass Registrate der verschiedenen Aufstellungen hinsichtlich der dynamischen Eigenschaften nicht miteinander verglichen werden konnten.

Der Verfasser gibt bekannt, dass eine Erweiterung der für nachseismische Untersuchungen üblichen Hammerschlagseismik durch Anbau eines piezoelektrischen Schwingungsaufnehmers an einen zur Schlagseismik benutzten Hammer möglich ist. Ein von Grammel gegebenes Abbremsgesetz wird auf den Hammerschlag angewendet. Mit der Registrierung des Primärimpulses können die relativen Schlagenergien bestimmt und somit die dynamischen Besonderheiten der Registrierungen besser ausgewertet werden.

Der Verfasser schliesst das Referat mit der Besprechung der Ergebnisse der untertägigen Messungen bei Freiberg ab.

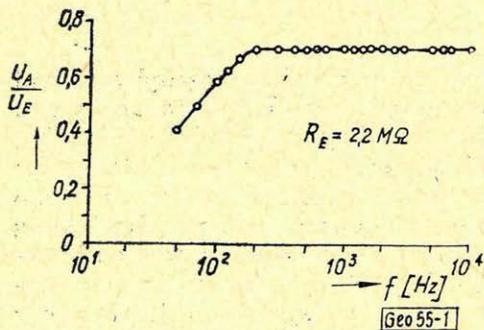
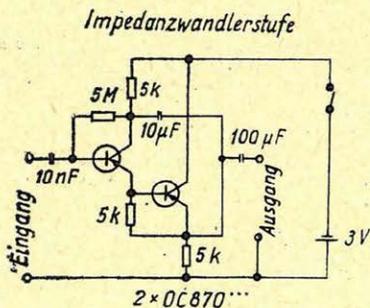
Für nahseismische Untersuchungen wird heute mit Erfolg die Fallgewichts- bzw. Hammerschlagseismik benutzt. Nahseismische Probleme lie-

gen bei der Ingenieurgeophysik und bei untertägigen Untersuchungen vor. Der Nachteil der Schlagseismik lag bisher darin, dass hinsichtlich der dynamischen Eigenschaften nur die Aufzeichnungen einer Aufstellung miteinander verglichen werden konnten. Die Registrierungen verschiedener Schläge waren hinsichtlich der dynamischen Charakteristiken nur bedingt vergleichbar.

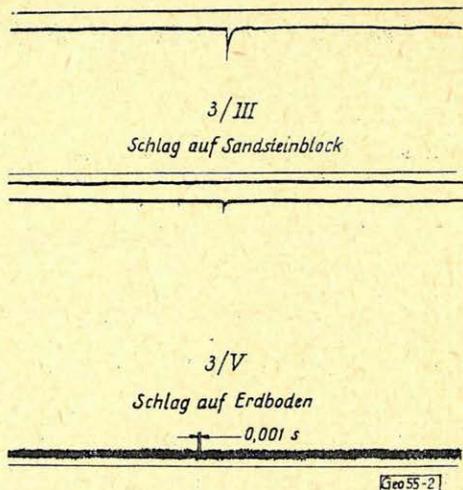
* Dipl.-Geophys. Chr. Oelsner

Institut für Angewandte Geophysik der Bergakademie Freiberg Veröffentlichung Nr. 131 des Instituts für Angewandte Geophysik der Bergakademie Freiberg. Direktor: Prof. Dr. O. Meisser.

Um verschiedene Hammerschläge miteinander vergleichen zu können, und um den Hammerschlagimpuls mit in die Auswertung einzubeziehen, wurde an einem Hammer ein piezoelektrischer, keramischer Dickenschwinger aus Piezolan angebracht. Dieser piezoelektrische Schwingungswandler ist eine Kreisscheibe von 12 mm Durchmesser und 2 mm Höhe. Er wurde in Epoxydharz eingebettet und so an dem Hammer angebracht, dass die senkrecht zur Grundfläche des Hammers auftretenden Beschleunigungen gemessen werden können. Unterhalb des Hammers ist eine transistorisierte Impedanzwandlerstufe untergebracht. Da der Hammerimpuls direkt mit einem Schleifenzillograph registriert wird, dessen Galvanometer einen Widerstand von 15Ω besitzen, und der Dickenschwinger einen Widerstand von einigen $M\Omega$ besitzt, ist eine Widerstandsanpassung nötig. Diese erzielt man mit einer



1. ábra



2. ábra

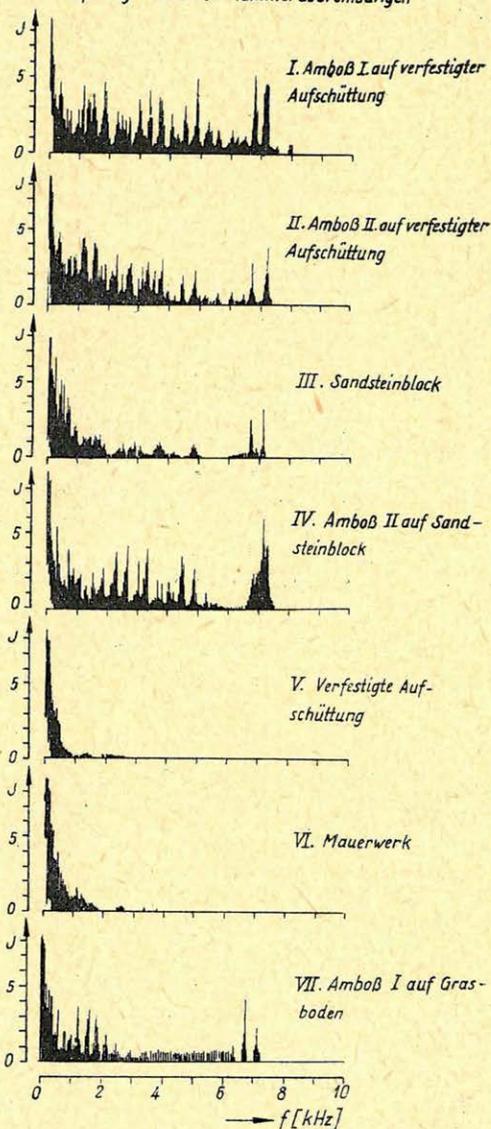
transistorisierten Impedanzwandlerstufe. *Bild 1* zeigt ihre Schaltung und den Frequenzgang. Zur Impedanzwandlung eignet sich ein Transistor in Kollektorschaltung. Durch eine zweite Kollektorstufe, deren Eingangswiderstand der Arbeitswiderstand der ersten ist, erreicht man eine noch bessere Impedanzwandlung. Die Spannungsverstärkung der Kollektorschaltung ist stets kleiner als 1. Die untere Grenzfrequenz der Impedanzwandlerstufe liegt bei 70 Hz. Sie wird hauptsächlich zur Untertageseismik benützt, wobei das Frequenzband zwischen 500 und 3000 Hz liegt. Der Eingangswiderstand beträgt $2,2 M\Omega$. Der gesamte Abbremsvorgang kann somit oszillographisch aufgezeichnet werden. *Bild 2* gibt zwei Originalregistrierungen wieder. Die auftretende Verzögerung springt auf einem Höchstwert und klingt dann ab. Der Betrag dieses Höchstwertes und die Abklingzeit hängen von der Schlagintensität und dem Elastizitätsmodul des Untergrundes ab. Auf *Bild 3* sind die Formen verschiedener Hammerabbremsungen dargestellt. Die Fallhöhe betrug jeweils 0,5 m.

Als Amboss I wurde ein zylindrisches Eisen von 5 cm Durchmesser und 40 cm Höhe mit einer Grundplatte von 40 cm Durchmesser und als Amboss II das gleich ohne Grundplatte bezeichnet. Die Originalregistrierungen der Vorgänge I, II, IV und VII wurden von Eigenschwingungen des Ambosses bzw. der des Systems Amboss – Untergrund überlagert. Das ist auch den Frequenzspektrogrammen dieser Abbremsvorgänge, die auf Bild 4 wiedergegeben sind, zu entnehmen. Die Abbremsvorgänge wurden auf Magnetband registriert und mit einem Tonfrequenzanalysator Type FNA der Firma Rohde und Schwarz analysiert.

Die Maxima bei 7 kHz sind die Eigenschwingungen des Hammers.

Vergleicht man die Spektrogramme mit dem Frequenzspektrum eines Rechteckimpulses, kommt man zu dem Schluss, dass bei diesen Schlägen Rechteckimpulse der Dauer 10^{-3} -s erzeugt wurden. Besonders gut ist

Spektrogramme von Hammerabbremsungen

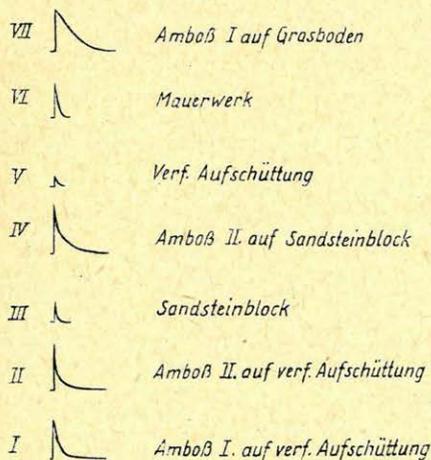


Institut für Angewandte Geophysik Bergakademie Freiberg
Prof. Dr. Meißner Geo55-4

4. äbra

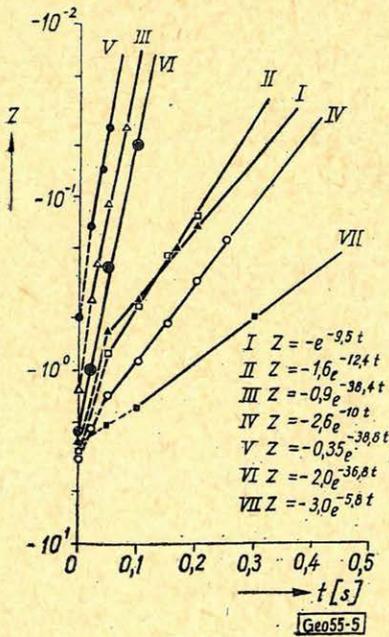
dies dem Vorgang III – Schlag auf einen Sandsteinblock – zu entnehmen. Auf dem Spektrogramm ist die Periode von 1000 Hz gut zu erkennen.

Registrierung verschiedener Hammerabbremsungen



0 0,5 s

3. äbra



5. ábra

Trägt man die Abbremsvorgänge auf halblogarithmisches Papier auf (Bild 5), ergeben sich nach spätestens 0,05 s Geraden, die auf ein Exponentialgesetz hinweisen.

Ein Gesetz zur Abbremsung dreh-symmetrischer Körper beim Fall auf Sand wurde bereits von GRAMMEL (1) angegeben. Er hat das Gesetz für kegelförmige Körper abgeleitet und experimentell bestätigt. Die Gültigkeit für Körper mit ebener Stirnfläche wird von Ihm bezweifelt. Das Abbremsgesetz von GRAMMEL besagt, dass der Impulsverlust pro Zeiteinheit proportional der verdrängten Sandmasse ist. Für einen Körper mit ebener Stirnfläche, der die Masse M besitzt, gilt dann

$$-M\ddot{z} dt = k dz \quad (1)$$

In (1) ist k eine Konstante. Integriert man über den Vorgang, der durch

die Anfangsgeschwindigkeit \dot{z}_0 und die maximale Eindringtiefe z_∞ gekennzeichnet ist, (erhält) man

$$-M \int_{z_0}^0 \ddot{z} dt = k \int_0^{z_\infty} dz \quad (2a)$$

Aus (2a) wird

$$-Mz_0 = k z_\infty \quad (2b)$$

Durch Elimination von $\frac{M}{k}$ in (1) und (2b) erhält man

$$\ddot{z} = \frac{z_0}{z_\infty} \dot{z} \quad (3)$$

Es wird mit GRAMMEL zu folgenden dimensionslosen Grössen übergegangen

$$\xi = \frac{z_\infty}{z_0} \ddot{z} \quad (4a)$$

$$\eta = \frac{\dot{z}}{z_0} \quad (4b)$$

$$\zeta = \frac{z}{z_\infty} \quad (4c)$$

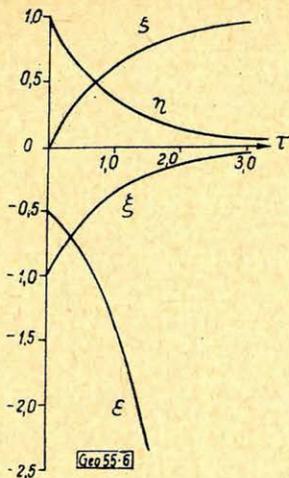
$$\tau = \frac{\dot{z}_0}{z_\infty} \quad (4d)$$

$$\text{Mit } \eta \frac{d\xi}{d\tau} \quad (5a)$$

$$\text{und } \xi = \frac{d\eta}{d\tau} \quad (5b)$$

und (4a)–(4d) erhält man schliesslich aus (3)

$$-\xi = \eta = 1 - \zeta = e^{-\tau} \quad (6)$$



6. ábra

Die Beziehungen (6) sind in *Bild 6* dargestellt. Die Verzögerung ξ und Geschwindigkeit η nehmen mit wachsendem τ ab, während die Verschiebung ζ zunimmt. Die mit ε bezeichnete Kurve ist die einer normierten Energie, für die man erhalten kann: $\varepsilon = \frac{1}{2\xi} = -\frac{1}{2}e^{-\tau}$ (6d). Es zeigte sich somit, dass das Abbremsgesetz von GRAMMEL auch für Körper mit ebener Stirnfläche gilt.

Die Kenntnis des dem Boden aufgeprägten Impulses erlaubt die Bestimmung der Übertragungsfunktion des Bodens zwischen dem Impulsgeber und dem Geophon. *Bild 7* möge die Verhältnisse veranschaulichen. Der Boden kann als Filter mit der Übertragungsfunktion $Y(f)$ angesehen werden. Ihm werde der Impuls, der als Zeitfunktion $g(t)$ dargestellt werden kann, aufgeprägt. Mit dem Geophon wird der durch $Y(f)$ verformte Impuls $g(t)$ aufgezeichnet. Die registrierte Zeitfunktion werde mit $h(t)$ bezeichnet. Eine Zeitfunktion und ihr Amplitudenspektrum kön-

nen durch Fouriertransformationen ineinander übergeführt werden, d. h.

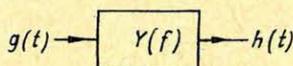
$$g(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} G(f)e^{j\omega t} df \quad (7)$$

und
$$G(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t)e^{-j\omega t} dt \quad (8)$$

wobei $G(f)$ das Amplitudenspektrum von $g(t)$ ist. Entsprechend ist $H(f)$ das Amplitudenspektrum von $h(t)$. Aus den Amplitudenspektren kann die Übertragungsfunktion $Y(f)$ bestimmt werden. Es ist

$$Y(f) = \frac{H(f)}{G(f)} \quad (9)$$

Mit Hilfe des Tonfrequenzanalysators FNA von Rohde und Schwarz kann $Y(f)$ leicht bestimmt werden. Send- und Empfangsimpuls werden dazu auf Magnetband registriert und mit Hilfe des Frequenzanalysators ihr Amplitudenspektrum bestimmt. Das Spektrogramm kann in logarithmischer Darstellung gewonnen werden. Die Differenz der Amplitudenspektren von Empfangs- und Sendepuls in logarithmischer Darstellung ist $\log Y(f)$, d. h. die Übertragungsfunktion im Dämpfungsmass. Einige

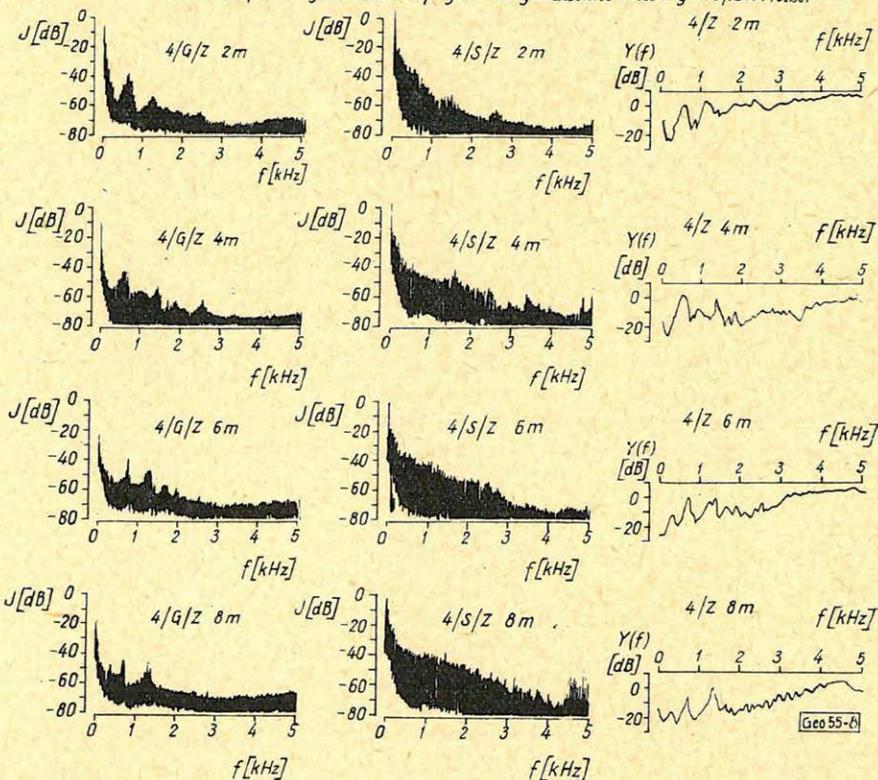


$$g(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} G(f)e^{j\omega t} df \quad h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} H(f)e^{j\omega t} df$$

$$G(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t)e^{-j\omega t} dt \quad H(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t)e^{-j\omega t} dt$$

$$Y(f) = \frac{H(f)}{G(f)} \quad \text{Geo 55-7}$$

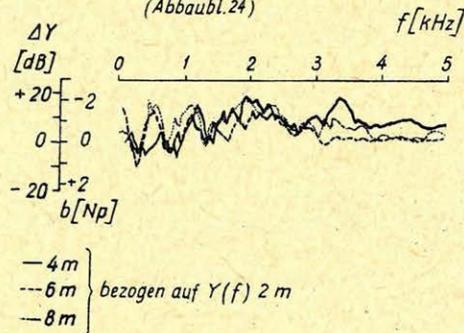
7. ábra



8. äbra

Frequenzcharakteristik (Gneis)

(Revier Halsbrücke, 250 m S, Drei Prinzenspat NW.
(Abbaubl. 24)



Institut für Angewandte Geophysik Bergakademie
Freiberg, Prof. Dr. Meißer [Geo 55-9]

9. äbra

Ergebnisse, die bei einer Untertage-
messung im Grubenrevier Halsbrücke
bei Freiberg auf der 250 m-Sohle ge-
wonnen wurden, sind auf Bild 8
dargestellt. Aus den Spektrogrammen
der Sendeimpulse ist wiederum zu
entnehmen, dass es sich um Rechte-
eckimpulse $\left(1. \text{ Nullstelle bei } \frac{2\pi}{T}, 2. \right.$

Nullstelle bei $\frac{4\pi}{T}$), handelt. Aus den

Spektren der empfangenen Impulse
ist bereits deutlich zu erkennen, dass
bestimmte Frequenzen durch den
Untergrund mehr, und bestimmte we-
niger gedämpft werden. Die Übertra-
gungsfunktionen besitzen im gros-

sen und ganzen den gleichen Verlauf. Charakteristisch ist der bevorzugte Durchlass bei 500–600 Hz, 1100 Hz und 2000 Hz. Die Spektrogramme wurden bei gleicher Aufnahme- und Wiedergabeverstärkung gewonnen. Um die unterschiedlichen Schlagintensitäten zu eliminieren, wurden alle Übertragungsfunktionen $Y(f)$ auf die bei 2 m bezogen. Das Ergebnis zeigt *Bild 9*. Auf der Ordinate ist hier zusätzlich die Übertragungsdämpfung b in Neper angegeben. Die Kurven weisen auf den Bandfiltercharakter des im Untersuchungsbereich anstehenden Gneises hin. Als Resonanzfrequenz kann 2,2 kHz abgelesen wer-

den. Auf die Deutung der Oberschwingungen soll in diesem Zusammenhang nicht eingegangen werden, da nur die sich durch die Registrierung der Abbremsvorgänge ergebenden neuen Möglichkeiten der Hammerschlagseismik angedeutet werden sollten.

Herrn Prof. Dr Meisser danke ich für seine Anregungen und die Genehmigung, diese Arbeit aus dem Institut für Angewandte Geophysik der Bergakademie Freiberg hier veröffentlichen zu dürfen.

Litteratur:

Grammel, R.: Das Abbremsen drehsymmetrischer Körper beim Fall auf Sand. Ing. Arch. 17 (1949), S. 219–222.

Néhány megjegyzés a nehézségi erő második deriváltjainak számítási képleteihez

Az előadás első része a második deriváltak azon számítási képleteinek általános levezetését mutatja be, melyeknél a második deriváltat koncentrikus körök mentén mért nehézségi értékek középértékének bizonyos együtthatókkal szorzott összegével képezik. Ilyen általános képletből a számításba kerülő körök számának, sugarának és együtthatójának különböző megválasztásával az irodalomból ismert és számos más formula kiadódik. E formulának alapján nyert értékeket az előadó összehasonlítja gömb és henger alakú testek hatásával.

A második részben az előadó az együtthatók határait adja meg, amikor a formulák kiszámítása Peters és Elkins mintája szerint a legkisebb négyzetek módszerével történik, miközben a súlyegyütthatókat változónak tekinti. Megmutatja, hogy az 1. táblázatban felsorolt 25 formula a súlyegyütthatók megfelelő megválasztásával nyerhető.

В первой части доклада рассматривается общий вывод формул для вычисления вторых производных, при помощи которых вторые производные получаются умноженной на определенные коэффициенты суммой средних величин силы тяжести, измеренных по концентрическим окружностям. Показано, каким образом получается ряд формул, известных из литературы, а также и некоторые другие формулы, путем соответствующего подбора количества, радиуса и коэффициентов используемых окружностей. Привод сопоставления величин, получаемых этими формулами, с эффектом сферических и цилиндрических тел.

Во второй части доклада определяются пределы коэффициентов для случаев, когда формулы выводятся методом наименьших квадратов по способу Петерса и Элькинса, а весовые коэффициенты принимаются переменными. Показано, что 25 формул, приведенных в таблице 1 можно получить соответствующим подбором весовых коэффициентов.