

## KIERUNKOWE WZBUDZANIE FAL W METODZIE REFRAKCYJNEJ

UKD 590.834.3

Poprawność i dokładność wykonywanych prac interpretacyjnych, a zatem i jakość uzyskanych wyników w metodzie refrakcyjnej zależy w dużej mierze od wyrazistości zarejestrowanych — w pierwszych impulsach — fal załamanych. W celu uzyskania takich fal prowadzi się rejestracje przy znacznych odległościach od punktu wzbudzenia, co pociąga za sobą konieczność stosowania dużych ładunków wybuchowych przekraczających niekiedy nawet 1 t. Ładunki są zwykle umieszczane w kilku otworach, przy czym optymalne odległości między otworami określa się według wzoru W. W. Majorowa (2).

$L_{opt.} = 3 \sqrt[3]{Q}$ , gdzie  $Q$  wielkość ładunku w pojedynczym otworze w kg.

Ze względów metodycznych, jak również z uwagi na przepisy górnicze wielkość ładunku w pojedynczym otworze nie może przekraczać 100 kg; stąd optymalne odległości między otworami wynoszą około 12—15 m. Najczęściej obecnie stosowane schematy rozmieszczenia otworów na punkcie strzałowym pokazano na ryc. 1.

Należy podkreślić, że jakkolwiek amplituda fali załamanej wzrasta z ilością grupowanych otworów, to jednak wzrost ten jest ograniczony. Zauważono, że w przypadku grupowania powyżej 10—14 otworów nie następuje zwiększanie amplitudy, lecz nawet jej zmniejszanie. Wywołane to jest prawdopodobnie niejednakowymi warunkami wzbudzenia, na co zresztą zwraca się uwagę również w pracy (4). Z tego też powodu odpalanie ładunków o wadze ponad 1 t wydaje się niecelowe. Z kolei nawet duże ładunki nie zawsze dostarczają dostatecznej ilości energii zapewniającej zarejestrowanie fali załamanej. Ze względu na charakter zabudowy Polski, ładunki rzadko kiedy mogą być odpalane, co w pewnym stopniu ogranicza obszar stosowania metody refrakcyjnej. Aby temu zapobiec autorzy niniejszego artykułu zaproponowali zastosowanie kierunkowego wzbudzenia fal w metodzie refrakcyjnej. Zakładano przy tym, że poprzez zastosowanie kierunkowego wzbudzenia można będzie wydatnie zmniejszyć wielkości ładunków, a ponadto zwiększyć rozdzielność fal refrakcyjnych.

Trzeba nadmienić, że problem rozdzielania fal występuje najczęściej wówczas, gdy celem badań objęte są utwory osadowe, posiadające granice załamujące blisko siebie położone i o podobnych prędkościach granicznych. Ponieważ w Polsce przed badaniami refrakcyjnymi stawia się najczęściej zadanie dostarczenia danych o zaleganiu skonsolidowanego

podłoża, rozdzielenie interferujących impulsów schodzi na plan drugi. Natomiast z przyczyn podanych wyżej bardzo istotny jest problem zmniejszenia wielkości ładunków i na niego też przede wszystkim zwrócimy uwagę.

Przypuszczenia nasze co do możliwości zmniejszenia ładunków poprzez zastosowanie kierunkowego wzbudzenia potwierdzone zostały bardzo przekonującymi wynikami prac polowych.

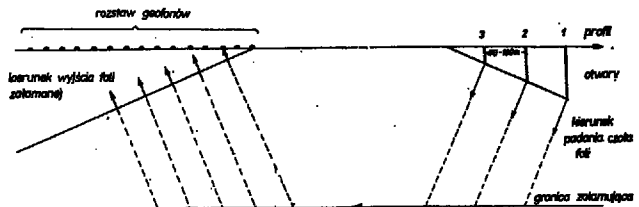
Celem artykułu jest zapoznanie szerszego ogółu geofizyków z niektórymi zagadnieniami związanymi z metodyką wykonywania prac polowych, a ponadto podano w nim przykłady uzyskanych wyników prac już przeprowadzonych z zastosowaniem kierunkowego wzbudzenia.

TEORETYCZNE ZAŁOŻENIA  
KIERUNKOWEGO WZBUDZANIA FAL

Regulowane kierunkowe wzbudzenie, a zwłaszcza regulowany odbiór kierunkowy fal znane są od dawna, z tym że miały one i nadal mają zastosowanie prawie wyłącznie w metodzie refleksyjnej (3, 5). Zastosowanie kierunkowego wzbudzenia fal w metodzie refrakcyjnej jest w jakimś stopniu nowością, przynajmniej w naszym kraju. Rozważmy go bardziej szczegółowo.

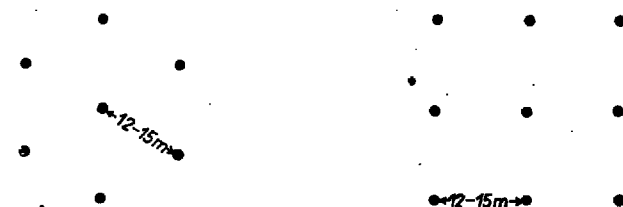
## Sposoby kierunkowego wzbudzenia fal załamanych

Kierunkowe wzbudzenie fal załamanych polega na odpaleniu ładunków w otworach, usytuowanych w linii prostej wzdłuż profilu, przy czym już w czasie wzbudzenia nadaje się określony kąt nachylenia czołu fali padającej. Nadanie czołu fali padającej odpowiedniego kąta i skierowanie jej w żądanym kierunku może odbywać się różnymi sposobami, przy czym najprostszym z nich to kolejne odpalanie ładunków na podobnej głębokości w poszczególnych otworach z pewnym zadanym opóźnieniem czasowym podawanym z maszyny strzałowej. Również ten sam efekt można osiągnąć poprzez zastosowanie zapalników elektrycznych detonujących z opóźnieniem lub innych środków inicjujących, dających możliwość regulacji czasu odpalania. Najmniej wygodny sposób polega na jednoczesnym odpaleniu ładunków w otworach znajdujących się na różnej głębokości, przy czym



Ryc. 2. Schemat usytuowania otworów o różnej głębokości umożliwiającym nadanie określonego kąta czołu fali padającej.

Fig. 2. Scheme of arrangement of boreholes differing in depth, making possible a certain orientation of falling wave.



Ryc. 1. Schematy powierzchniowego rozmieszczenia otworów na punkcie strzałowym dotychczas stosowane.

Fig. 1. Hitherto applied schemes of distribution of boreholes at shooting point.

Powyższe sposoby umożliwiają wysyłanie maksimum wzbudzonej energii w żądanym i wcześniej określonym kierunku, dzięki czemu uzyskuje się wzrost amplitud rejestrowanych fal załamanych. Jest oczywiste, że część wzbudzonej energii rozchodzi się również w innych kierunkach.

### Kierunkowe wzbudzanie fal układem interferencyjnym

Kierunkowe wzbudzanie fal w metodzie refrakcyjnej, zdaniem autorów, można rozpatrywać jako pewnego rodzaju układ interferencyjny, nastawiony na maksymalne wzmocnienie interesujących fal. W związku z tym należy uważać, że intensywność fali załamanej znajduje się w prostej zależności od długości bazy wzbudzania, ilości grupowanych otworów, odległości między nimi i kąta nachylenia czoła padającej fali. Wszystkie te parametry powinny być uwzględniane i odpowiednio dobierane zależnie od charakteru i parametrów fal będących przedmiotem zainteresowania.

Podstawy teoretyczne kierunkowego wzbudzania stosunkowo wyczerpująco zostały przedstawione w publikacji W. J. Benderskiego, L. D. Rajchera i J. J. Charaza (1), stąd wydaje się celowe zwrócenie uwagi tylko na niektóre parametry mające znaczenie dla poprawnego prowadzenia prac polowych przy zastosowaniu omawianego sposobu wzbudzania.

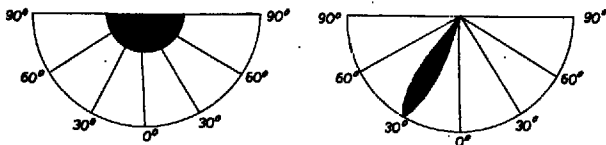
### Rozłożenie energii liniowych źródeł wzbudzania

Jak już wspomniano wyżej liniowe źródła drgań stosowane przy kierunkowym odpalaniu ładunków pozwalają na wysyłanie wzbudzonej energii w żądanym i wcześniej określonym kierunku. Ilość energii wysyłanej w danym kierunku wpływa na intensywność rejestrowanych fal załamanych, która z kolei zależy od współczynnika kierunkowego działania źródła energii. Charakterystyki kierunkowości dla przypadku powierzchniowego grupowania otworów i liniowego źródła wzbudzania wykreślone w układzie współrzędnych biegunowych, obliczone z uwzględnieniem współczynnika kierunkowego działania dla warunków, przy których wykonano prace polowe przedstawia ryc. 3.

Współczynnik kierunkowego działania przedstawia energetyczny zysk, określony stosunkiem kwadratu amplitudy liniowego źródła wzbudzania w danym kierunku do średniej (we wszystkich kierunkach) wartości kwadratu amplitudy.

Energetyczny zysk można wyrazić wzorem

$$E_z = \frac{A_k^2}{A_w^2}$$



Ryc. 3. Charakterystyki kierunkowości dla przypadku: a — jednoczesnego odpalania ładunków w otworach o jednakowej głębokości, usytuowanych wg schematu podanego na ryc. 1, b — odpalania ładunków w otworach usytuowanych co 50 m w linii równoległej do profilu.

Fig. 3. Characteristics of directive tendency when:

a — charges, uniform in size and situated at the same depth in boreholes arranged according to the scheme given in Fig. 1, b — charges in boreholes situated at 50 m intervals along a line parallel to the profile are successively fired.

gdzie  $A_k$  — amplituda fali dla założonego kierunku,  $A_w$  — amplituda fali rozchodzącej się we wszystkich kierunkach.

Przy zastosowaniu liniowych źródeł wzbudzania w metodzie refrakcyjnej ważne jest nakierowanie maksymalnej emisji energii w kierunku zgodnym z kątem wyjścia fali załamanej. Tak więc kąt padania fali na granicę załamującą powinien być równy kątowi wyjścia fali załamanej. Kąt ten najdokładniej można określić z hodografu zbieżnego uzyskanego na punkcie wzbudzania. Oczywiście jest, że kąt wyjścia badanych grup fal dla obszarów charakteryzujących się podobnym obrazem falowym można również określać na podstawie obliczeń teoretycznych, co znacznie ułatwia prowadzenie prac polowych. Trzeba nadmienić, że dla fali związanej z podłożem skonsolidowanym kąt wyjścia zmienia się nieznacznie. Zresztą w dalszej części artykułu przy omawianiu uzyskanych wyników pokazano, że nawet przy niezbyt korzystnym dla danej granicy załamującej nachyleniu czoła fali zarejestrowano intensywną falę załamaną.

### Wpływ długości bazy wzbudzania i odległości między otworami na intensywność fali załamanej

Wpływ długości bazy wzbudzania, z czym się wiąże odległość między otworami, nie został do końca wyjaśniony nawet w metodzie refleksyjnej i w tym zakresie istnieją pewne rozbieżności (3, 5). W metodzie refrakcyjnej zagadnienie to jest jeszcze bardziej złożone zwłaszcza, że nie nagromadzono zbyt wiele materiałów. Naszym zdaniem długość bazy powinna być ograniczona i nie należy stosować baz przekraczających 500—600 m, chociażby nawet z przyczyn technicznych wykonywania prac polowych. Poza tym na takiej bazie można odpalać w otworach co najmniej 600—700 kg materiału wybuchowego, zakładając że otwory usytuowane będą co 100 m i w każdym z nich umieszczony będzie 100 kg ładunek. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń można sądzić, że przy kierunkowym wzbudzaniu nie zaistnieje konieczność stosowania tak dużych ładunków.

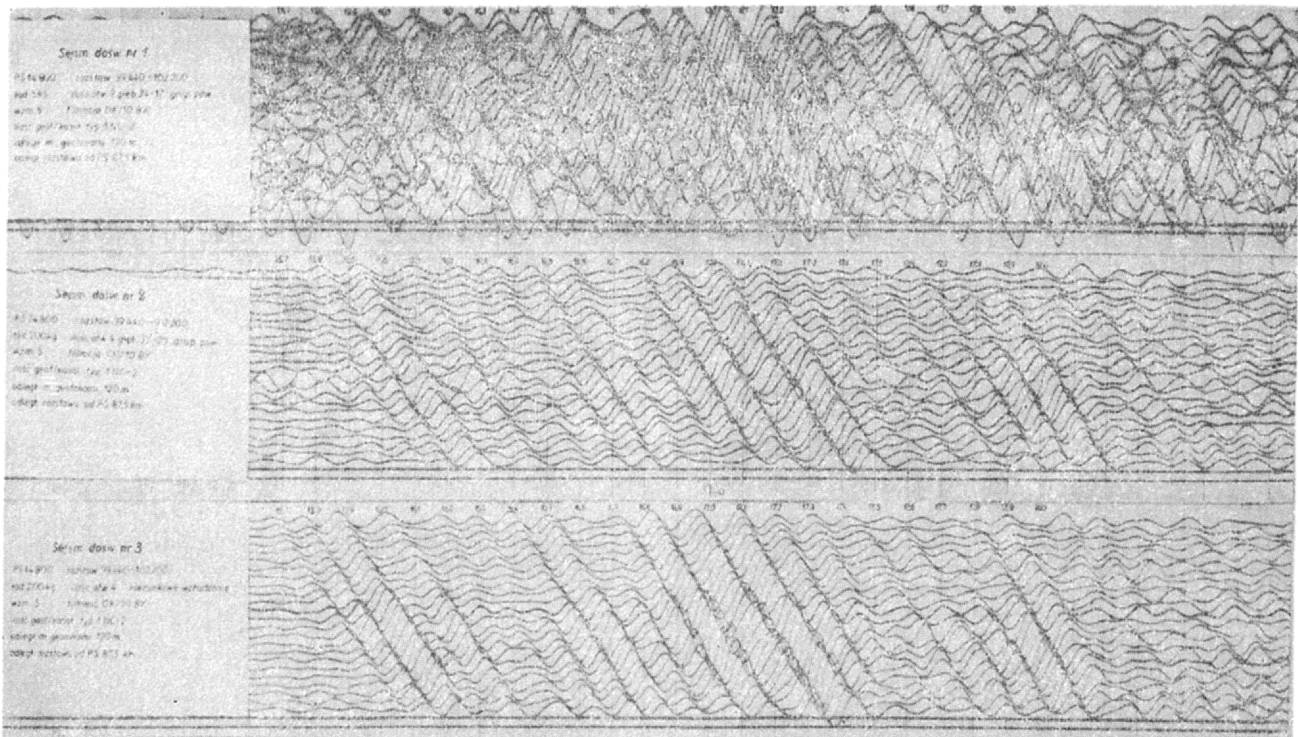
Następnym ważnym parametrem wpływającym na intensywność fali załamanej jest odległość między otworami. Tu również wychodząc z dotychczasowych doświadczeń i ze względów technicznych wykonawstwa prac należy przyjąć, że odległości między otworami nie powinny być mniejsze od 50 m i większe od 100 m, przy czym muszą być stałe przy danym strzale.

W publikacji (1) stwierdzono, że najkorzystniejsze jest sytuowanie otworów w odległości  $0,6\lambda$ , gdzie  $\lambda$  — długość fali. Do określenia  $\lambda$  przyjmuje się prędkość średnią na głębokości występowania granicy, na której następuje generacja fali załamanej w wyniku działania liniowych źródeł wzbudzania.

### Metodyka prac polowych i uzyskane wyniki

Doświadczalne prace polowe, z kierunkowym wzbudzaniem fal załamanych, wykonano na obszarze Lubelszczyzny oraz Pomorza Zachodniego, a więc w dwóch różnych regionach o odmiennej budowie geologicznej zarówno w głębinie, jak i przy powierzchni. Cel badań w obydwóch regionach był ten sam i dotyczył śledzenia horyzontu refrakcyjnego o  $V_g \approx 6000$  m/sek. W rejonach przeprowadzonych prac doświadczalnych fala refrakcyjna od wspomnianej granicy zaczyna śledzić się w pierwszych impulsach w odległości ok. 40 km od PS. Biorąc pod uwagę założenia teoretyczne i uwzględniając specyfikę obszaru badań jak również możliwości metodyczno-techniczne wykonano niżej opisane prace doświadczalne.

Dla nadania czołu fali padającej na śledzony horyzont żądanego kierunku zastosowano wzbudzanie energii w otworach strzałowych o różnej głębokości. Metoda ta jest dość kłopotliwa, jednakże wykonano ją ponieważ nie dysponowano maszynkami strzało-

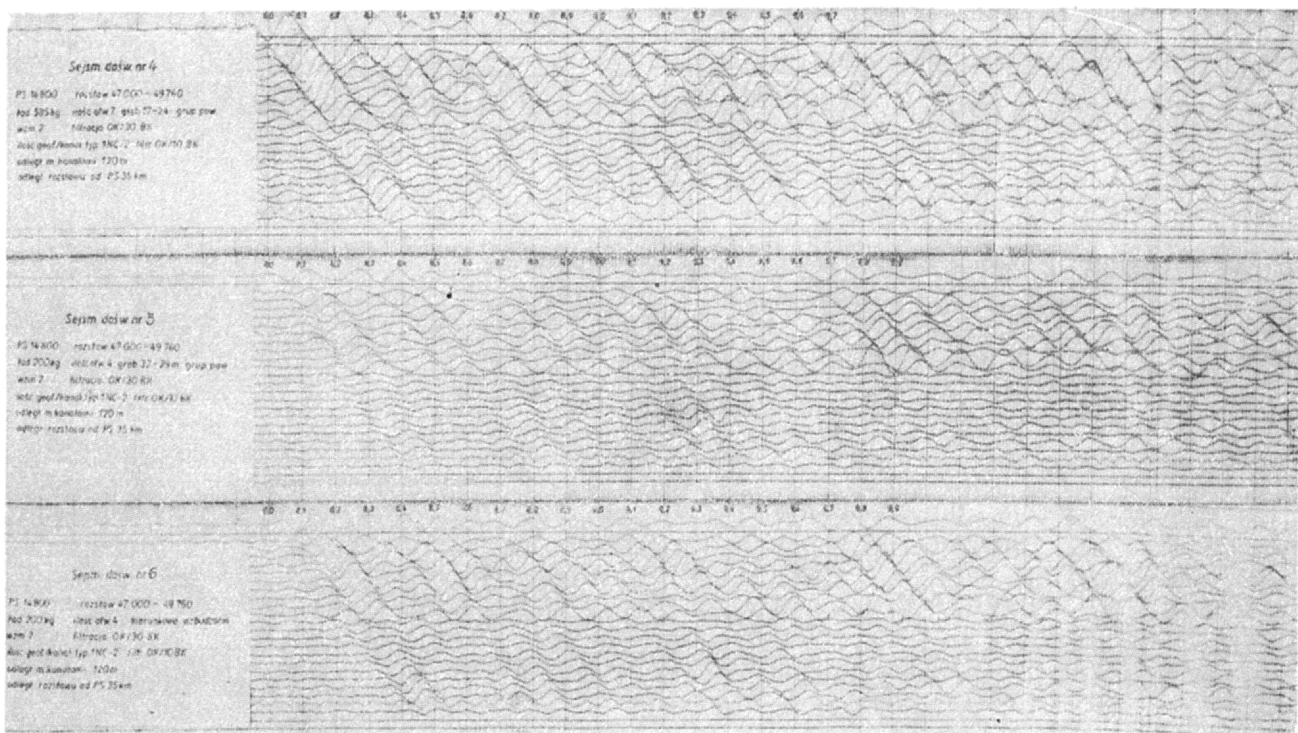


Ryc. 4. Zdjęcia sejsmogramów zarejestrowanych w odległości 87.5 km od PS na Lubelszczyźnie.

Sejsmogram nr 1 — ładunek 585 kg, nr 2 — 200 kg, nr 3 — 200 kg — kierunkowe wzbudzenie.

Fig. 4. Seismogram record made 87.5 km from the shooting point in the Lublin area.

Seismogram no. 1 — 585 kg charge, no. 2 — 200 kg charge, no. 3 — 200 kg charge but oriented induction.

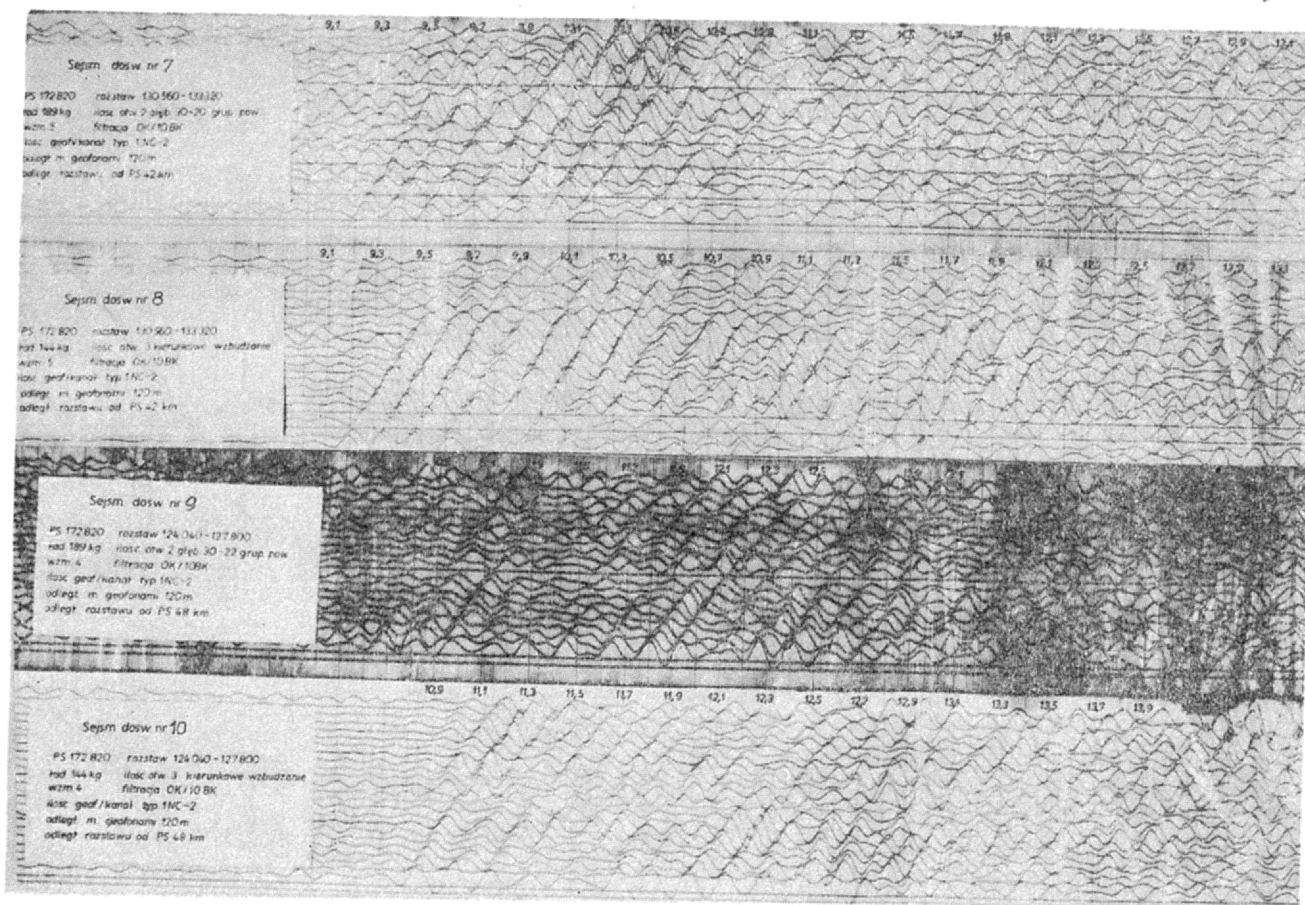


Ryc. 5. Zdjęcia sejsmogramów zarejestrowanych w odległości 35 km od PS na Lubelszczyźnie.

Sejsmogram nr 4 — ładunek 585, nr 5 — 200 kg, nr 6 — 200 kg — kierunkowe wzbudzenie.

Fig. 5. Seismogram records made 35 km from the shooting point in the Lublin area.

Seismogram no. 4 — 585 kg charge, no. 5 — 200 kg charge, no. 6 — 200 kg charge but oriented induction.



Ryc. 6. Zdjęcia sejsmogramów zarejestrowanych w odległości 38 i 48 km na Pomorzu Zachodnim.

Fig. 6. Seismograms from the Western Pomerania, recorded 38 and 48 km from the shooting point, respectively.

Sejsmogram nr 7 i 9 — ładunek 189 kg, nr 8 i 10 — 144 kg — kierunkowe wzbudzenie.

Seismograms no. 7 and 9 — 189 kg charge, no. 8 and 10 — 144 kg charge but oriented induction.

wymi o regulowanym czasie odpalania ani też innymi środkami inicjującymi, umożliwiającymi regulację czasu odpalania.

Pierwszą próbę wykonano na obszarze Lubelszczyzny, gdzie na punkcie strzałowym usytuowanym w dobrych warunkach energetycznych załadowano i odpalono serię trzech ładunków o wadze 585 kg i dwa razy po 200 kg. Każda detonacja była rejestrowana przez 4 aparaty rozstawione w odległości 35, 74, 87,5 i 95,5 km od PS. Przeprowadzone prace miały na celu (oprócz uzyskania informacji o efekcie wzbudzenia kierunkowego) również porównanie tego efektu z wynikami uzyskanymi przy tradycyjnym sposobie grupowania i odpalania ładunków. Ładunek o wadze 585 kg załadowano w 7 otworach rozmieszczonych powierzchniowo, których głębokość spodu ładunku wynosiła 24 m, a góra 17 m. Jeden z ładunków o 200 kg załadowano także w 4 otworach zgrupowanych powierzchniowo o głębokości 32—29 m. Drugi taki sam ładunek przygotowano do kierunkowego wzbudzenia i załadowano w 4 otworach usytuowanych wzdłuż linii równoległej do profilu. Odległości między otworami wynosiły 50 m, zaś głębokości otworów były różne: 14, 21, 28 i 34 m, przy czym otwór najpięty usytuowano najbliżej rozstawu. Należy tu podkreślić, że głębokość otworów obliczona teoretycznie powinna wynosić odpowiednio: 12, 28, 44 i 60 m. Ze względu jednak na trudności wynikłe w trakcie ładowania otworów nie udało się wypełnić tych optymalnych warunków. Każda aparaty zarejestrowała serię trzech sejsmogramów przy identycznych parametrach, co umożliwiło porównanie uzyskanych materiałów przedstawionych na załączonych fotokopiach.

Ryc. 4 obrazuje rejestracje wykonane w odległości 87,5 km od PS, na których widać, że największe amplitudy zarejestrowano przy odpalaniu ładunku o wadze 585 kg, jednak czytelność tego sejsmogramu nie jest najlepsza. Sejsmogram 2 uzyskany przy odpaleniu 200 kg ładunku metodą tradycyjną posiada niepewne pierwsze wejście impulsów i dopiero sejsmogram 3 uzyskany przy kierunkowym wzbudzeniu charakteryzuje się pewnym wejściem i uporządkowanym zapisem. Widzimy więc, że efekt kierunkowego wzbudzenia jest bardzo duży, mimo że nie zostały spełnione warunki załadowania ładunków na żądanej głębokości.

Ryc. 5 przedstawia sejsmogramy zarejestrowane w odległości 35 km od PS, a więc w interwale, w którym śledzi się fale 5700 m/sec, a nie 6000 m/sec, dla której przeprowadzono obliczenia, potwierdzające również efektywność kierunkowego strzelania, mimo że w tym przypadku kąt, pod jakim skierowano falę nie został dobrany optymalnie dla danej fali. Warto tu jeszcze podać, że na sejsmogramach zarejestrowanych w odległości 65 i 95 km od PS, których ze względu na szczupłość miejsca nie załączono, uzyskano również pozytywny efekt kierunkowego wzbudzenia.

Drugą serię prób przeprowadzono w odmiennych warunkach przypowierzchniowych i wgłębnym na obszarze Pomorza Zachodniego. Na punkcie strzałowym odpalono 2 ładunki: jeden o wadze 189 kg, zgrupowany w dwóch otworach o głębokości 30 m (góra ładunku 26 m) usytuowanych w odległości 12 m od siebie i drugi — mniejszy ładunek o wadze 144 kg zgrupowany w 3 otworach usytuowanych równolegle

do profilu w odległości 100 m od siebie, w których ładunek umieszczony był na głębokości 46, 30 i 14 m (ryc. 6). Aparatury dokonały rejestracji w odległości 38–48 km od PS. Załączone fotokopie obrazują uzyskane wyniki. Widać wyraźnie, że również w tym obszarze uzyskano zdecydowanie lepszy wynik przy zastosowaniu wzbudzania kierunkowego. Na sejsmogramach zarejestrowanych w trakcie wzbudzania kierunkowego uzyskano bardziej uporządkowany zapis, który wybijają się ponad tło zakłóceń oraz uzyskano większą amplitudę zarejestrowanych impulsów.

Sumując należy stwierdzić, że zarówno na obszarze Lubelszczyzny, jak i Pomorza Zachodniego zastosowanie kierunkowego wzbudzania fal refrakcyjnych dało pozytywne wyniki. Zarejestrowane przy tej metodzie wzbudzania sejsmogramy są bardziej czytelne niż pozostałe. Zapis na nich jest uporządkowany zaś impulsy pierwszych wstąpień są bardzo pewne i wyraźne.

Z przeprowadzonych w niewielkim zakresie prób wynika, że istnieje duża szansa zmniejszenia ładunków MW (przy pracach refrakcyjnych nawet 3-krotnie) z 600 kg do 200 kg, co z kolei umożliwi wykonywanie badań metodą refrakcyjną (sytuowanie PS) na obszarach gęsto zabudowanych i przyczyni się do zmniejszenia zużycia materiału wybuchowego. Po-

#### SUMMARY

Theoretical premises of directional induction of waves in the refractory method are briefly discussed. Methodology of field work and results obtained by means of this method from the areas of Lublin and Western Pomerania, differing both in deep structure and surface conditions, are given.

The results obtained demonstrate the possibility of both marked reduction of charge size and increase in distinctness and reliability of impulses recorded. The use of directional induction undoubtedly should cut the costs of studies and also facilitate conducting field work by means of refractory method over the building areas.

nadto z przytoczonych przykładów widać, że mimo zmniejszenia wagi ładunków jakość sejsmogramów nie ulega pogorszeniu, lecz wręcz przeciwnie — poprawie.

#### LITERATURA

1. Benderski W. Ja., Rajcher L. D., Charaz J. J. — O powyszeniu intensywności prętomlennych wóln pri ispolzowanii liniijnych uprawljajemych istocznikow kolebanii. Geofiziczeskij sbornik, nr 29.
2. Majorow W. W., Łowla S. A. — Riezierwy ekononii wzrywczatych wieszczestw i zatrat na burienije pri siejsmorazwiedkie KMPW. Nowoje w polewoj geofiziczeskoj razwiedkie na nieft i gaz. Moskwa, 1965.
3. Nomokonow W. P., Tjeplicki W. A. — Gruppirowanije wzrywow na dlinnych bazach w metodie otrazennyh wóln., Prikładnaja Geofizika, nr 40.
4. Praca zbiorowa — Głubinnije siejsmiczeskije zondirowanija. Leningrad, 1962.
5. Rajcher L. L., Wasiliew Ju. A., Charaz J. J. — Sposób uprawljajemogo płoskiego fronta pri siejsmorazwiedkie MOW. Prikładnaja Geofizika, nr 45.

#### РЕЗЮМЕ

В статье даны краткие теоретические основы управляемого линейного возбуждения волн в методе преломленных волн. Описана методика полевых работ и результаты работ, проведенных этим методом в Люблинском регионе и в Западном Поморье. Эти регионы характеризуются разными условиями глубинного строения и разной морфологией поверхности. Полученные результаты свидетельствуют о возможности значительного уменьшения величины зарядов при одновременном повышении четкости и достоверности регистрируемых импульсов. Применение управляемого линейного возбуждения несомненно снизит затраты на исследование и, кроме того, облегчит проведение полевых работ методом преломленных волн в застроенных районах.

Перевод автора