

Grzegorz MUTKE

Główny Instytut Górnictwa

PARAMETRY DYNAMICZNE WSTRZĄSÓW GÓROTWORU

W ASPEKTCIE ICH SZKODLIWEGO WPŁYWU

NA BUDOWLE I ŚRODOWISKO NATURALNE

Streszczenie. W artykule omówiono metodę określenia parametrów dynamicznych wstrząsów górotworu na powierzchni. Dla jednego rejonu badań obliczono spadek przyspieszenia drgań gruntu pochodzących od wstrząsów górotworu ze wzrostem odległości epicentralnej. Wskazano na konieczność zastosowania analizy widmowej do określenia dominującej częstotliwości zarejestrowanych zjawisk. W ostatnim rozdziale omówiono kierunki prac badawczych mające doprowadzić do określenia parametrów dynamicznych wstrząsów górotworu na całym obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.

1. WSTĘP

Jednym z najbardziej niebezpiecznych zagrożeń naturalnych w górnictwie węgla kamiennego jest występowanie wstrząsów górotworu i tępań.

Dotychczas podstawowym celem prowadzenia obserwacji mikrosejsmologicznych w GZW była kontrola stanu zagrożenia tępaniami w kopalniach. Obecnie doszedł jeszcze jeden problem dla sejsmologów do rozwiązania, a mianowicie określenie parametrów dynamicznych wstrząsów górotworu na powierzchni.

W ostatnich latach coraz więcej obiektów budowlanych ulega uszkodzeniu w wyniku oddziaływania wstrząsów. Jest to wynikiem wzrostu sejsmiczności w GZW (wzrasta ilość wstrząsów silnie energetycznych), jak również coraz częstszym prowadzeniem eksploatacji pod rejonami dużych aglomeracji miejskich. W związku z powyższym pilnym zadaniem dla geofizyków jest określenie parametrów dynamicznych drgań gruntu wywołanych wstrząsami górotworu. Parametry te są konieczne do rozeznania obciążeń sejsmicznych działających na obiekty budowlane. Znajomość obciążeń sejsmicznych pozwoli na prawidłowe zabezpieczenie przed wstrząsami górotworu nowo wznoszonych i już eksploatowanych obiektów budowlanych na terenie GZW.

2. PARAMETRY CHARAKTERYZUJĄCE DRGANIA POWIERZCHNI ZIEMI

Dynamiczny charakter pęknięcia górotworu stanowi źródło generacji drgań sprężystych, które w formie fal sejsmicznych rozchodzą się od miejsca zwanego ogniskiem wstrząsu w otaczającym go ośrodku. Tak więc w poszczegól-

nych punktach ośrodka, w tym również na powierzchni, w pewnym momencie występują drganie o określonej intensywności. Drgania te możemy rejestrować instrumentalnie. Ich intensywność zależy od:

- energii sejsmicznej wypromieniowanej z ogniska,
- typu mechanizmu ogniska,
- rodzaju gruntu w miejscu rejestracji,
- odległości ogniska od miejsca rejestracji.

Podstawowe parametry dynamiczne drgań gruntu, konieczne do określenia reakcji budynku, to:

- wartość maksymalnej wypadkowej amplitudy przemieszczenia gruntu \hat{A} , wypadkowej maksymalnej amplitudy prędkości drgań \hat{V} lub wypadkowej maksymalnej amplitudy przyspieszenia drgań \hat{a} :

$$\hat{A} = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \quad \max \quad (\text{m})$$

$$\hat{V} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \quad \max \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

$$\hat{a} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad \max \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$$

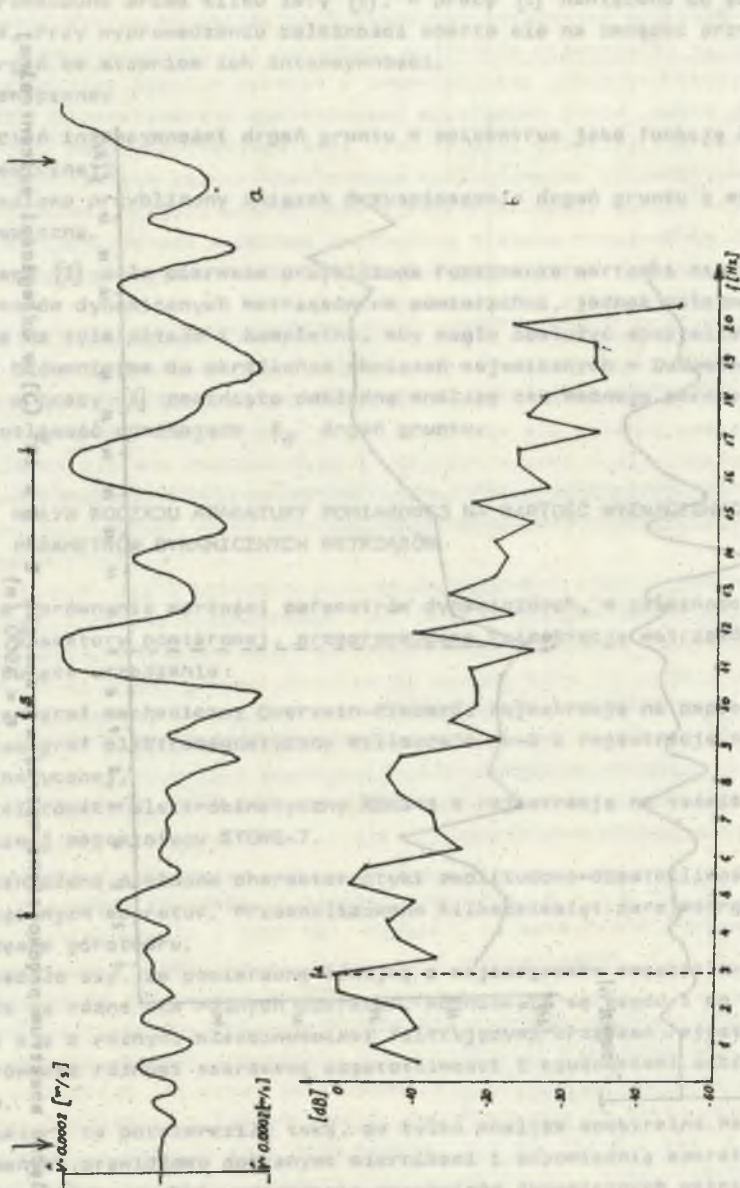
- odpowiadająca tym maksymalnym amplitudom, dominująca częstotliwość drgań f_d (s^{-1}).

Należy ponadto podkreślić, że fale sejsmiczne na swojej drodze od ogniska do punktu rejestracji poddane są działaniu szeregu procesów fizycznych np. tłumieniu, odbiciu, załamaniu, dyfrakcji), w związku z tym obraz faliowy drgań na powierzchni ziemi jest bardzo złożony i chaotyczny. Jako przykład mogą posłużyć typowe sejsmogramy przedstawione na rys. 1a i 2a. W większości przypadków określenie parametrów dynamicznych drgań bezpośrednio z zapisów na sejsmogramie nie daje zadowalającej dokładności. W tym celu do ich interpretacji należy zastosować analizę widmową.

3. PIERWSZE PRÓBY OKREŚLENIA PARAMETRÓW DYNAMICZNYCH WSTRZĄSÓW GÓROTWORU W GZW

Główny Instytut Górnictwa zainstalował w GZW w 1973 roku tzw. Mikro-sejsmologiczną Sieć Regionalną, składającą się z 16 stacji sejsmograficznych usytuowanych na dole w kopalniach oraz kilku stacji na powierzchni. Miernikami drgań są w niej sejsmografy Willmore'a MK-2, które mierzą prędkość drgań gruntu. Wstrząsy są zapisane na taśmie rejestratora magnetycznego angielskiej firmy Racal-Thermionic, w formie analogowej.

Aparatura ta była przeznaczona do celów związanych z badaniem stanu zagrożenia tąpnięciami, w związku z czym nie była dostosowana do pomiaru



Rys. 1. Względne spektrum prędkościowe wstrząsu o energii $E = 5 \times 10^7$ (J) w odległości epicentralnej $r = 3000$ (m)
 Fig. 1. Relative velocity spectrum of the tremor of energy $E = 5 \times 10^7$ (J) within the epicentral distance $r = 3000$ (m)

nych punktach stacji, w tym również w punkcie, w którym nastąpiło wywołanie drżenia o określonej intensywności. Drżenie to należy rejestrować instrumentalnie, lub intensywnością wykazywać:

1. charakterystyki czasowej wyprzedzonej z opóźnieniem, którego wielkość należy ustalić;
2. charakterystyki amplitudowej, której wielkość należy ustalić;
3. charakterystyki częstotliwościowej, której wielkość należy ustalić.

Ważnymi parametrami dynamicznymi organu gruntu, który jest przedmiotem badań, są:

1. częstotliwość drżenia (okres drżenia);
2. amplituda drżenia (wielkość przemieszczenia);
3. prędkość drżenia (wielkość prędkości przemieszczenia);
4. przyspieszenie drżenia (wielkość przyspieszenia).

Ważnymi parametrami dynamicznymi organu gruntu, który jest przedmiotem badań, są:

1. częstotliwość drżenia (okres drżenia);
2. amplituda drżenia (wielkość przemieszczenia);
3. prędkość drżenia (wielkość prędkości przemieszczenia);
4. przyspieszenie drżenia (wielkość przyspieszenia).

Ważnymi parametrami dynamicznymi organu gruntu, który jest przedmiotem badań, są:

1. częstotliwość drżenia (okres drżenia);
2. amplituda drżenia (wielkość przemieszczenia);
3. prędkość drżenia (wielkość prędkości przemieszczenia);
4. przyspieszenie drżenia (wielkość przyspieszenia).

Ważnymi parametrami dynamicznymi organu gruntu, który jest przedmiotem badań, są:

1. częstotliwość drżenia (okres drżenia);
2. amplituda drżenia (wielkość przemieszczenia);
3. prędkość drżenia (wielkość prędkości przemieszczenia);
4. przyspieszenie drżenia (wielkość przyspieszenia).

Ważnymi parametrami dynamicznymi organu gruntu, który jest przedmiotem badań, są:

1. częstotliwość drżenia (okres drżenia);
2. amplituda drżenia (wielkość przemieszczenia);
3. prędkość drżenia (wielkość prędkości przemieszczenia);
4. przyspieszenie drżenia (wielkość przyspieszenia).

Ważnymi parametrami dynamicznymi organu gruntu, który jest przedmiotem badań, są:

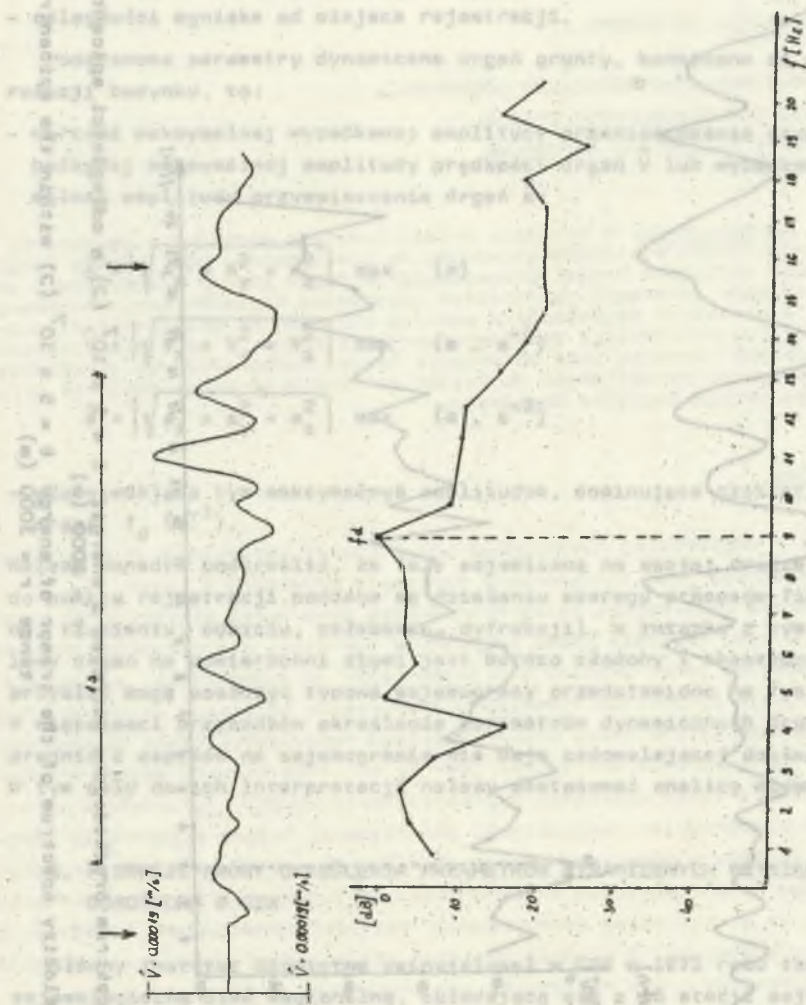
1. częstotliwość drżenia (okres drżenia);
2. amplituda drżenia (wielkość przemieszczenia);
3. prędkość drżenia (wielkość prędkości przemieszczenia);
4. przyspieszenie drżenia (wielkość przyspieszenia).

Ważnymi parametrami dynamicznymi organu gruntu, który jest przedmiotem badań, są:

1. częstotliwość drżenia (okres drżenia);
2. amplituda drżenia (wielkość przemieszczenia);
3. prędkość drżenia (wielkość prędkości przemieszczenia);
4. przyspieszenie drżenia (wielkość przyspieszenia).

Ważnymi parametrami dynamicznymi organu gruntu, który jest przedmiotem badań, są:

1. częstotliwość drżenia (okres drżenia);
2. amplituda drżenia (wielkość przemieszczenia);
3. prędkość drżenia (wielkość prędkości przemieszczenia);
4. przyspieszenie drżenia (wielkość przyspieszenia).



Rys. 2. Względne spektrum prędkościowe wstrząsu o energii $E = 5 \times 10^5$ (J) w odległości epicentralnej $r = 1900$ (m).
 Fig. 2. Relative velocity spectrum of the tremor of energy $E = 5 \times 10^7$ (J) within the epicentral distance $r = 1900$ (m).

parametrów drgań gruntu w ich pełnym wektorze. W pewnym ograniczonym stopniu można ją było jednak wykorzystać do tego celu. Pierwszą taką próbę przeprowadzono przed kilku laty [1]. W pracy [1] nawiązano do skali MSK-64. Przy wyprowadzaniu zależności oparto się na związku przyspieszenia drgań ze stopniem ich intensywności.

Wyznaczono:

- stopień intensywności drgań gruntu w epicentrum jako funkcję energii sejsmicznej,
- określono przybliżony związek przyspieszenia drgań gruntu z energią sejsmiczną.

Praca [1] dała pierwsze przybliżone rozeznanie wartości niektórych parametrów dynamicznych wstrząsów na powierzchni, jednak zależności te nie są na tyle ściśle i kompletne, aby mogły posłużyć specjalistom z zakresu budownictwa do określenia obciążeń sejsmicznych w budowlach. Ponadto w pracy [1] pominięto dokładną analizę tak ważnego parametru, jak częstotliwość dominująca f_d drgań gruntu.

4. WPŁYW RODZAJU APARATURY POMIAROWEJ NA WARTOŚĆ WYZNACZONYCH PARAMETRÓW DYNAMICZNYCH WSTRZĄSÓW

Dla porównania wartości parametrów dynamicznych, w zależności od rodzaju aparatury pomiarowej, przeprowadzono rejestrację wstrząsów przez następujące urządzenia:

- sejsmograf mechaniczny Quervain-Piccard, rejestracja na papierze,
- sejsmograf elektromagnetyczny Willmore'a Mk-2 z rejestracją na taśmie magnetycznej,
- akcelerometr elektrokinetyczny KB6341 z rejestracją na taśmie magnetycznej magnetofonu STORE-7.

Wyznaczono dokładne charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe poszczególnych aparatów. Przeanalizowano kilkadziesiąt zarejestrowanych wstrząsów górotworu.

Okazało się, że pomierzone linijkę z sejsmogramów częstotliwości dominujące są różne dla różnych aparatów. Różnice te są rzędu 1 do 3 Hz i wiążą się z różnymi właściwościami filtrującymi urządzeń rejestrujących, jak również różnymi zakresami częstotliwości i czułościami odbiorników drgań.

Pomiary te potwierdziły tezę, że tylko analiza spektralna rejestracji uzyskanych prawidłowo dobranymi miernikami i odpowiednią aparaturą może dać prawidłowe wyniki wyznaczenia parametrów dynamicznych wstrząsów.

5. WYNIKI BEZPOŚREDNICH POMIARÓW PRZYSPIESZENIA DRGAŃ GRUNTU

W dotychczasowych badaniach w GZW przyspieszenie drgań gruntu na powierzchni wywołane wstrząsami górotworu było obliczane metodą pośrednią, wykorzystując rejestracje mierników prędkości lub przemieszczenia.

W omawianym przypadku zainstalowano w rejonie Katowic aparaturę z odbiornikiem drgań, który rejestruje bezpośrednio przyspieszenia. Odbiornikiem tym był trójskładowy akcelerometr elektrokinetyczny typu KB6341.

Po skonstruowaniu odpowiedniego wzmacniacza zapisy rejestrowano na taśmie magnetycznej siedmiokanałowego magnetofonu STORE-7. Przed przystąpieniem do pomiarów została wyznaczona dokładna charakterystyka tak zbudowanego kanału. Rejestracje były odtwarzane z taśmy magnetycznej magnetofonu na mingografie galwanometrycznym.

Rejestracja odbywała się przez okres trzech miesięcy. Analizie poddano ponad 100 zapisów wstrząsów z różnych odległości epicentralnych i o różnych energiach. Określano maksymalną wypadkową wartość amplitud przyspieszeń w miejscu pomiaru dla wstrząsów o tej samej wartości energii E , w różnych odległościach epicentralnych. Przeprowadzono analizę korelacyjną za pomocą metody najmniejszych kwadratów, zakładając wyjściowe funkcje o postaci wykładniczej. Otrzymano zależność:

$$a_{p_r} = 1.032 \cdot a_{p_0} \cdot e^{-0.00064 r} \quad (1)$$

gdzie:

- r (m) - odległość epicentralna,
- a_{p_r} (m/s^2) - maksymalna amplituda przyspieszenia drgań gruntu w odległości epicentralnej r ,
- a_{p_0} (m/s^2) - maksymalna amplituda przyspieszeń drgań powierzchni w epicentrum wstrząsu.

W tabelicy 1 przedstawiono procentowy spadek maksymalnych amplitud przyspieszeń drgań ze wzrostem odległości epicentralnej obliczany z zależności (1).

Spadek przyspieszenia drgań gruntu z odległością jest bardzo szybki. Koniecznie trzeba przeprowadzić pomiary w innych rejonach GZW, może się bowiem okazać, że wstrząsy są groźne dla budowni i środowiska naturalnego tylko w najbliższym otoczeniu epicentrum, co w znacznym stopniu zmniejszyłoby obszar stref niebezpiecznych.

Należy mocno podkreślić, że zależność (1) jest słuszna tylko dla rejonu badań. Mierzone przyspieszenia będą inne dla innych warunków geologiczno-górnicych, szczególnie będą zależeć od rodzaju gruntów i zawodnienia.

Rejon GZW należy podzielić na obszary o podobnych warunkach gruntowych i określać zależności słuszne dla tych obszarów.

Tablica 1

Spadek przyspieszenia drgań gruntu ze wzrostem odległości epicentralnej

Lp.	r(m)	$\frac{a_{pr}}{a_{po}}$ (%)
1	0	100
2	200	90
3	400	80
4	650	70
5	900	60
6	1150	50
7	1450	40
8	1900	30

6. ZASTOSOWANIE ANALIZY WIDMOWEJ DO OKREŚLENIA PARAMETRÓW DYNAMICZNYCH DRGAŃ GRUNTU

Już w rozdziale 4 stwierdzono, że tylko analiza spektralna prawidłowo zarejestrowanych drgań pozwoli na wyznaczenie ich prawdziwych parametrów dynamicznych.

Na rys. 1 i 2 przedstawione są zapisy dwóch różnych wstrząsów oraz ich widma. Z zapisu sejsmogramów rys. 1a i 2a jest bardzo trudno prawidłowo wyznaczyć metodą "na oko" dominujące częstotliwości dla maksymalnych prędkości drgań gruntu. Wstrząs na sejsmogramie zapisuje się w sposób bardzo chaotyczny i składa się z ogromnej ilości nałożonych na siebie drgań o różnych częstotliwościach. Dopiero zastosowanie do obliczeń analizy spektralnej umożliwia wyodrębnienie częstotliwości dominujących f_d (rys. 1b, 2b). Należy tutaj podkreślić, że częstotliwość dominująca jest ogromnie istotnym parametrem dla obliczenia obciążeń sejsmicznych w budowlach.

Rysunek 1 przedstawia wstrząs o energii $E = 5 \times 10^6$ (J) z obszaru epicentralnego $r = 3000$ (m). Widzimy, że maksymalne prędkości drgań gruntu $V = 0.0002$ (m/s), dominująca częstotliwość $f_d = 2,9$ (Hz) zawierają się w grupie fal typu S.

Nieco inaczej wyglądają wyniki dla drugiego wstrząsu (rys. 2). Jest to wstrząs o energii mniejszej $E = 5 \times 10^5$ (J) i w odległości epicentralnej $r = 1900$ (m). Widzimy, że maksymalne prędkości są związane z grupą fal, które wystąpiły w falach typu S. Odpowiadająca im dominująca częstotliwość $f_d = 9$ (Hz) jest dużo wyższa, niż dla fal S z rys. 1.

Te dwa przykłady pokazują, jak skomplikowany jest problem określenia jednoznacznych zależności dla wyznaczenia parametrów dynamicznych drgań gruntu wywołanych wstrząsami górniczymi. Dla ich wyznaczenia konieczne jest przeprowadzenie analiz dla setek wstrząsów z różnych rejonów GZW.

Dalsze analizy spektrów wstrząsów prowadzone są w celu zbadania możliwości określenia związku prędkości lub przyspieszenia drgań gruntu i odpowiadającej im częstotliwości, z ilością wyzwalonej w ognisku energii sejsmicznej, dla różnych typów zjawisk. Ze względu na ograniczone możliwości techniczno-ekonomiczne pokrycia całego GZW dziesiątkami stanowisk rejestracyjnych, w celu określenia parametrów dynamicznych od każdego silnego wstrząsu należy ustanowić zależności między tymi parametrami a standardowo obliczаныmi wielkościami dla każdego wstrząsu, jak jego energia i współrzędne.

7. WNIOSKI

- W celu rozwiązania zagadnienia określenia parametrów dynamicznych wstrząsów górotworu na powierzchni konieczna jest budowa odpowiedniej aparatury pomiarowej. Urządzenie musi pracować w systemie ciągłym, rejestrować co najmniej trzy składowe drgań z jednego stanowiska. Zapis wstrząsu cyfrowy lub ewentualnie analogowy na taśmie magnetycznej umożliwi szybkie przeprowadzenie analiz widmowych.
- Dla dokładnego określenia maksymalnych prędkości bądź przyspieszenia drgań gruntu, a szczególnie odpowiadającej im częstotliwości dominującej, konieczne jest przeprowadzenie analizy spektralnej zapisanych wstrząsów górotworu.
- Ze względu na możliwości techniczne i ekonomiczne należy szukać zależności parametrów dynamicznych wstrząsów górotworu od standardowo dla nich określanych energii i lokalizacji; w tym celu należy przeprowadzić całą serię pomiarów przy zastosowaniu specjalistycznej aparatury.
- Prędkości i przyspieszenia drgań ze wzrostem odległości epicentralnej maleją bardzo szybko. Jest to bardzo cenna informacja pozwalająca znacznie ograniczyć strefy szkodliwego oddziaływania wstrząsów na obiekty powierzchniowe. Badania sondażu prędkości bądź przyspieszenia drgań z odległością należy przeprowadzić dla całego obszaru GZW i dla różnych typów wstrząsów.
- Parametry dynamiczne wstrząsów górotworu na powierzchni bardzo silnie zależą od budowy geologicznej ośrodka, a szczególnie rodzajów gruntów i zawodnienia. Należy więc podzielić obszar GZW na rejony o podobnej budowie geologicznej podłoża i dla każdego wydzielonego rejonu określić zależności.
- Znajomość dynamicznych parametrów drgań gruntu jest niezbędna dla określenia obciążeń sejsmicznych budowli spowodowanych wstrząsami.

LITERATURA

- [1] Dubiński J., Gerlach Z.: Ocena oddziaływania górniczych wstrząsów górotworu na środowisko naturalne. Przegląd Górniczy 1983, nr 3, s. 135-141.
- [2] Ledwoń J.A.: Budownictwo na terenach górniczych. Wyd. I, Arkady, Warszawa 1983, s. 28-34.
- [3] Bath M.: Introduction to seismology. Birkhauser Verlag Basel and Stuttgart 1973.
- [4] Baule H., Hinzen K.G.: Erfassung und Deutung von Erderschütterungen, insbesondere zur Ortung von Gebirgsschlagen. Ruhr-Universität Sochum 1981, s. 25-27, 106-112.
- [5] Otnes R.K., Enochson L.: Analiza numeryczna szeregów czasowych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1978.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Fajkiewicz

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СОТЯСЕНИЙ ГОРООБРАЗОВАНИЯ В АСПЕКТЕ
ИХ ВРЕДНОГО ВЛИЯНИЯ НА ЗАСТРОЙКИ И ЕСТЕСТВЕННУЮ СРЕДУ

Резюме

В статье оговорен метод определения динамических параметров сотрясений горообразования на поверхности. Для одного района исследований рассчитано ускорения колебаний грунта в следствии сотрясений горообразования, с ростом расстояния от эпицентра. Указано на необходимость применения спектрального анализа для определения доминирующей частоты зарегистрированных явлений.

В последней главе оговорены направления исследовательских работ, позволяющие на определение динамических параметров сотрясений горообразования на всей территории ГУБ.

DYNAMIC PARAMETERS OF ROCK - MASS TREMORS IN VIEW OF THEIR
DETRIMENTAL EFFECT ON BUILDINGS AND NATURAL ENVIRONMENT

Summary

Method of determining the dynamic parameters of rock - mass tremors on the surface has been discussed. A drop in the acceleration of ground vibrations originating from rock - mass tremors with the increase of epicentral distance, has been calculated for one region of studies. The necessity of applying spectrum analysis for the determination of the dominant frequency of the registered phenomena has been pointed out. In the last chapter, the trends in research work which are to result in the determination of the dynamic parameters of rock - mass tremors over the whole of the Upper Silesia Coal Basin have been discussed.