

Zbigniew FAJKLEWICZ

Marek KRZESZOWIEC

Waldemar POLKOWSKI

Janusz RADOMIŃSKI

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

IGA-TED MIKROGRAWIMETRYCZNY KOMPUTEROWY SYSTEM PROGNOZOWANIA MOŻLIWOŚCI WYSTĄPIENIA EMISJI ENERGII SEJSMICZNEJ Z GÓROTWORU

Streszczenie. W pracy omawia się system komputerowy IGA-TED, który powstał jako nowoczesne narzędzie dla potrzeb prognozowania możliwości wystąpienia emisji energii sejsmicznej z górotworu metodą mikrograwimetryczną.

Przedstawiono zostały założenie konstrukcyjne systemu, wynikające ze stworzonej w Międzyresortowym Instytucie Geofizyki AGH nowej metody badawczej, umożliwiającej śledzenie zmian naprężeń w górotworze. Metoda wykorzystuje wyniki odpowiednio zaprojektowanych i wykonanych pomiarów mikrograwimetrycznych w rejonie zagrożonym.

W pracy przedstawiono przykład zastosowania systemu do monitorowania chwilowych stanów naprężeń w eksploatowanym górotworze.

1. WSTĘP

Opracowany został zintegrowany pakiet programów komputerowych oznaczony symbolem IGA-TED. Tworzy on całościowy system interakcyjny dla potrzeb prognozowania możliwości wystąpień chwilowych emisji energii sejsmicznej z eksploatowanego górotworu na podstawie badań mikrograwimetrycznych.

Przy tworzeniu systemu oparto się na opracowanej w ostatnich latach w Międzyresortowym Instytucie Geofizyki AGH nowej metodzie prognozowania wstrząsów górniczych i tępań na podstawie pomiarów mikrograwimetrycznych. Duży postęp w tej dziedzinie osiągnięto w ramach realizacji programu CPBP 03.01. 8. Podane tam zasady metodyki pomiarów grawimetrycznych i geodezyjnych, obliczeń jak i algorytmy interpretacyjne stanowiły podstawę konstrukcji systemu i stworzonych dla jego potrzeb programów pomocniczych.

Przyjęto zasadę takiej realizacji prac projektowych i programowania, by na każdym ich etapie można było praktycznie wykorzystać nowe elementy systemu. Bieżące wdrażanie systemu zmuszało do stałej modyfikacji pierwotnego projektu, a jednocześnie dawało narzędzie umożliwiające

szybki rozwój metody. Niniejsza praca ma na celu przedstawienie systemu IGA-TED, ilustrujący jego działanie przykład uwidacznia korzyści płynące z jego zastosowania.

System komputerowy zawiera programy służące do obliczenia wartości siły ciężkości, obserwowanych w punktach pomiarowych, wprowadzenia do nich niezbędnych poprawek i redukcji, obliczenia mikroanomali siły ciężkości i ich czasowych zmian RBGA. Daje to w efekcie możliwość prognozowania aproksymacją stochastyczną, chwilowych emisji energii sejsmicznej E_0 na podstawie wcześniej wyznaczonej wartości amplitudy AMP czasowo zmiennych trendów anomalii różnicowych RBGA.

Jednocześnie system ma wbudowany pakiet do analizy rzeczywistej emisji sejsmicznej w funkcji czasu, jej energii i obszaru występowania. Daje to możliwość uściślenia interpretacji grawimetrycznej.

Zintegrowany pakiet programów IGA-TED tworzy system dostępny użytkownikom komputerów klasy IBM PC i kompatybilnych.

2. PODSTAWY FIZYCZNE METODY

U podstaw metody leży zjawisko dylatacji skały. W przypadku przyłożenia do próbki skalnej wzrastającego naprężenia trójosiowego od pewnej jego wartości następuje wolniejsze zmniejszanie się objętości skały, niż to wynika z prawa Hooke'a [1]. Po przekroczeniu naprężenia krytycznego, działającego w długim czasie, objętość skały gwałtownie wzrasta - w końcu tego etapu następuje zniszczenie struktury skały. Przebieg tego zjawiska wskazuje, że przyrostowi objętości skały długo przed wstrząsem towarzyszy zmniejszanie się jej gęstości, a więc zmniejszanie się wartości mikroanomali siły ciężkości [2]. Osiągają one

ekstremum ujemne w momencie wstrząsu lub w pewnym czasie przed jego wystąpieniem. Ta współzależność uwarunkowana jest przebiegiem analizowanego zjawiska i jego ewentualnej zgodności z istniejącymi modelami [2], [9], [10]. W celu wykrycia omówionej wyżej współzależności, w rejonach zagrożonych w kopalniach wykonuje się pomiary czasowych zmian mikroanomalii siły ciężkości [2], [4]. Analizie poddaje się różnicowe mikroanomalie siły ciężkości oznaczone symbolem RBGA - Rock Burst Gravity Anomalies. Badane są różnice: $\Delta g_{i+1} - \Delta g_i$ oraz $\Delta g_{i+1} - \Delta g_i$, gdzie, $i = 1, \dots, n$; $a\Delta g_i$ jest i -tą serią pomiarową.

3. ZASADY POMIARÓW I ICH INTERPRETACJI

W następujących po sobie cyklach (seriach) pomiarowych, za pomocą grawimetru, mierzy się w profilach usytuowanych wzdłuż podziemnych wyrobisk górniczych w rejonie zagrożonym czasowe zmiany mikroanomalii siły ciężkości RBGA.

Wszystkie obserwacje, po uwzględnieniu dryftu za pomocą podwójnej redukcji Bouguera, sprowadza się do przyjętego poziomu odniesienia. Wprowadza się również poprawkę wólnopowietrzną eliminującą wpływ wysokości statywu grawimetru na jego wskazania oraz, w zależności od potrzeb, poprawkę siły ciężkości na przestrzenie wybrane występujące w otoczeniu punktów pomiarowych.

W zbiorach danych RBGA ujawniają się jako funkcje czasu rozkłady lokalne i regionalne [4], [5], [10]. Z wieloletniego doświadczenia wynika, że pierwsze z nich mają niewątpliwą związek z lokalnymi strefami występowania zagrożeń dynamicznego zniszczenia skały. Obserwacje tych zależności stanowią podstawę sporządzania prognoz rozwoju procesów destabilizacyjnych w sensie lokalnym, tj. obejmującym obszar o promieniu do około 100 m.

Zjawiska czasowych zmian wartości RBGA w sensie regionalnym są wynikiem procesów fizycznych dążących do dynamicznego zniszczenia skał w obszarze dylatacyjnym. Ich przebieg w pewnym tylko stopniu zależny jest od bieżącej aktywności eksploatacyjnej. Zauważono prostą proporcjonalność pomiędzy wielkością amplitudy AMP składowej prostoliniowej czasowozmiennego [trendu mikroanomalii siły ciężkości, a wielkością emitowanej energii sejsmicznej z ośrodka skalnego obszaru dylatacji [6].

Liniowy trend krzywej RBGA wzdłuż profilu charakteryzuje amplituda AMP. Aproksymacja stochastyczna dostarcza liniowej zależności pomiędzy skumulowaną wartością emitowanej energii sejsmicznej $E_{e,s}$ z górotworu a skumulowaną wartością $AMP_{e,s}$. Z przebiegu tego procesu stochastycznego, na podstawie chwilowej wartości AMP w teraźniejszości, można przewidzieć wartość chwilowej emisji energii sejsmicznej w przyszłości, czyli można ją prognozować. Rezydium tego procesu w danym przypadku dostarcza również informacji o chwilowych stanach pola siły ciężkości, poprzedzających chwilowe emisje energii sejsmicznej z górotworu.

4. KOMPUTEROWY SYSTEM PROGNOZOWANIA IGA-TED

Możliwość wyeliminowania subiektywnego wpływu na wynik prognozy uzyskano opracowując komputerowy system prognozowania IGA-TED oparty na analizie mikroanomalii siły ciężkości RBGA.

Poszczególne pakiety i segmenty systemu IGA-TED napisano w systemie konwersacyjnym, stosując dwa języki programowania Pascal i Clipper. Zgodnie z założeniami wstępnymi przystosowany jest do pracy z wykorzystaniem komputera IBM PC/XT,AT, drukarki mozaikowej i opcjonalnie plotera.

Przy budowaniu systemu wykonano:

- konstrukcję zbiorów i tablic w pamięci masowej,
- zapis algorytmów matematycznych,
- programy procedur graficznych,
- formę i zawartość dokumentów końcowych.

System działa w wersji konwersacyjnej, co daje możliwość wygodnego i szybkiego przechodzenia w czasie obsługi do żądanych segmentów.

System pozwala na:

- 1-wprowadzenie danych grawimetrycznych, geodezyjnych i sejsmologicznych, oraz geometrii wyrobisk,
- 2-wykreślenie krzywych RBGA,
- 3-aproksymację [składowej] [prostoliniowej] czasowozmiennego trendu różnicowych mikroanomali i na tej podstawie wyznaczenia wartości AMP,
- 4-wykreślenie przez komputer krzywych AMP i pomocniczych w interpretacji krzywych estymatorów A i B prostej regresji (trendu),
- 5-dane dotyczące badań mikrograwimetrycznych komputer zestawia w tabeli "dane dotyczące pomiarów".
- 6-korzystanie z katalogu wstrząsów, zawierających pełną informację z rejonu badań o miejscu, czasie i energii zarejestrowanych zjawisk,
- 7-śledzenie zmiany geometrii wyrobisk górniczych w funkcji eksploatacji.

Dla oceny rozwoju lokalnych procesów destabilizacyjnych w górotworze komputer wykonuje następujące czynności:

- 1.Podaje wartości anomalii rezydualnych, będących różnicą w każdym punkcie pomiędzy wartością RBGA a wartością trendu. Proces ten powtarza się przy uwzględnieniu pomiarów ze wszystkich serii i komputer drukuje je w postaci tabeli.

2. Na podstawie obliczenia średnich błędów kwadratowych M każdej serii, błędu standardowego przyrządu i średniego błędu kwadratowego różnic poszczególnych serii pomiarowych komputer ocenia poziom szumu i odrzuca wartości rezydualne RBGA mniejsze, równe lub stanowiące żadaną krotność poziomu szumu.
3. Bez względu na wartości rezydualne RBGA, wyższe od poziomu szumów w module graficznym komputer podaje zgodnie z ich znakiem. Obszary dodatnich i ujemnych wartości stanowią podstawę prognozowania tworzenia się lokalnych stref naprężeń i stref odprężonych w masywie skalnym.
4. Zgodnie z lokalizacją rejonu badań i czasu ich realizacji użytkownik systemu otrzymuje graficzne lub liczbowe porównanie wyników badań grawimetrycznych i danych sejsmologicznych. Ta funkcja systemu jest realizowana opcjonalnie, z pełnym zabezpieczeniem doboru warunków ograniczających zestaw danych.

5. PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ

W tabeli 1 podane są zbiorcze wyniki z interpretacji przy pomocy systemu IGA-TED trzynastu mikrograwimetrycznych serii pomiarowych. Wykonane one zostały w KWK Staszic w latach 1986-87 w przekopie ASEA i chodniku głównym w p.501 na poz.720 m [7]. Celem badań było śledzenie zmian naprężeń w górotworze będących efektem eksploatacji ścian 407 i 408 w pokładzie 510.

Gwałtowny wzrost AMP w serii ósmej dał możliwość prognozowania chwilowej zwiększonej emisji energii sejsmicznej z górotworu. Jak widać, w kolumnie E w następstwie miał miejsce ze skutkami na ścianie wstrząs o energii $8 \cdot 10^7$.

TABELA 1

DANE DOTYCZĄCE PROGNOZY

seria i	data	M μGal	A	B μGal	AMP μGal	R μGal	*	Es J
1	860810	8	0.00000	0	0	0		0.0 10 ⁶
2	860928	13	-0.02047	-1	-20	11	*	0.0 10 ⁶
3	870118	12	-0.01223	-8	-12	15		1.1 10 ⁶
4	870214	12	-0.00275	-19	-3	11		6.0 10 ⁵
5	870314	13	-0.01832	9	-18	13	*	2.0 10 ⁵
6	870426	13	0.02606	-10	26	8	*	8.0 10 ⁵
7	870530	11	0.01603	3	16	8	*	2.7 10 ⁶
8	870704	8	0.06345	-19	63	15	*	1.3 10 ⁶
9	870808	12	0.04428	3	44	14	*	8.1 10 ⁷
10	870905	8	0.01767	-5	18	16	*	1.0 10 ⁶
11	870921	12	-0.00454	8	-5	25		2.0 10 ⁷
12	871003	11	0.03908	-10	39	10	*	1.0 10 ⁵
13	871024	8	0.01381	-21	14	10	*	1.0 10 ⁵

A,B - estymatory prostej regresji (trendu)

AMP - amplituda trendu

R - rozproszenie wyników

M - różnicowy błąd średni kwadratowy

* - gdy $|AMP| > |R|$

Es - wartość emitowanej energii sejsmicznej

między kolejnymi seriami pomiarów

mikrograwimetrycznych.

LITERATURA

- [1] Brace W.F., Paulding B.W./Jr/, Scholz C., 1966. Dilatancy in the fracture of crystalline rocks. *Journal of Geophysical Research*, vol.71, No 16, s. 3939-3953.
- [2] Fajkiewicz Z., 1983-Rock-Burst Forecasting and Genetic Research in Coal-Mines by Microgravity Methody. *Geophysical Prospecting*, v.31 no5 pp.748-765.
- [3] Fajkiewicz Z., Czarnecki J., Jakiel K., Radomiński J., Syrek B., 1988-Wyniki mikrograwimetrycznego prognozowania wzmożonego zagrożenia wstrząsami ścian 407 i 408 w pokładzie 510 w KWK "Staszic", *Bezpieczeństwo Pracy w Górnictwie* nr 4(81), Rok XX,
- [4] Fajkiewicz Z., Jakiel K., 1986 - Prognozowanie metodą mikrograwimetryczną zagrożeń wstrząsami górniczymi w KWK "Pstrowski". *Publs.Inst.Geophys.Acad.Sc.*, 1-8 /191/, strony 103-124.
- [5] Fajkiewicz Z., Jakiel K., Radomiński J., 1986 - Związek energii sejsmicznej z mikroanomaliami siły ciężkości jako nowa możliwość prognozowania stanów napreżeń w górotworze. I Konferencja nt.Postęp naukowy w geologii górniczej węgla kamiennego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej* nr 900, seria:Górnictwo, z.149, strony 197-206.
- [6] Fajkiewicz Z., Jakiel K., Radomiński J., 1988-Badania metodą mikrograwimetryczną procesów dynamicznych zachodzących w eksploatowanym górotworze. *Zeszyty Naukowe AGH* nr 1218, *Geofizyka Stosowana* z.1, Wyd. AGH Kraków, s.421-433.

- [7] Fajkiewicz Z., Jakiel K., Radomiński J., 1988 - Problem naprężeń w eksploatowanym górotworze w obrazie mikroanomalii siły ciężkości w KWK Staszic. II Konferencja nt. Postęp Naukowy i Techniczny w Geologii Górniczej Węgla Kamiennego, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo, z.172 Gliwice, s.179-187.
- [8] Fajkiewicz Z., z Zespołem, 1986, Analiza podstaw teoretycznych prognozowania procesów destabilizacyjnych w górotworze metodą mikrograwimetryczną - pomiary doświadczalne - sprawozdanie etapowe. CPBP 03.01.
- [9] Mjachkin V.I., Brace W.F., Sobolew G.A., Dietrich J.H., 1975-Two models for earthquake forerunners."Pure and Applied Geophysics":113,s.169-181.
- [10] Zuberek W.,1980- Modele procesu tąpnięcia. Symposium "Geofizyka dla potrzeb regionu górnośląskiego". Międzybrodzie Żywieckie 9-11 października 1980; referat 7, s.1-20.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Antoni Goszcz

**МИКРОГРАВИМЕТРИЧЕСКАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА
ПРЕДСКАЗЫВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫСТУПАНИЯ ЭМИССИИ
СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ИЗ ГОРНОГО МАССИВА**

Резюме

В работе обсуждена компьютерная система IGA-TED, которая является современным орудием для предсказания возможности выступления эмиссии сейсмической энергии из горного массива микрогравиметрическим методом.

Представлены конструктивные основы системы, вытекающие из созданного Институтом Геофизики ГМА нового исследовательского метода, который дает возможность слежения за изменением напряжений в горном

массиве. Метод пользуется результатами соответствующим образом спроектированных и выполненных микрогравиметрических измерений в опасном районе.

В работе представлен пример использования системы для укаивания временных состояний напряжений в разрабатываемом горном массиве.

IGA-TED MICROGRAVIMETRIC COMPUTER SYSTEM FOR PREDICTION OF SEISMIC ENERGY EMITTED FROM ROCKMASS

S u m m a r y

The Basis of Computer System-Induced Gravity Anomalies and Trend-Energy Dependence (IGA-TED) is presented

The relationship between the time-dependent trend of the gravity anomalies and the instant amount of the seismic energy emitted from the exploited zone is applied.

This relation is treated as a stochastic process, and serves as the basis for prediction of mine tremors, rock bursts and state of stress in the rockmass.

The results from the Staszic coal mine are presented.