

BADANIA PROCESÓW DYNAMICZNYCH ZA POMOCĄ TECHNIKI FILMOWEJ

Mieczysław Hobler

Instytut Projektowania i Budowy Kopalń AGH w Krakowie

Wstęp

Obecnie mimo bardzo znacznego postępu mechanizacji urabiania kopalnin użytecznych w dalszym ciągu urabianie tych kopalnin w świecie dokonuje się w ponad 70% energią wybuchu materiałów wybuchowych. Dlatego też bardzo ważnym zagadnieniem jest podwyższenie efektywności robót wiertniczo-strzelniczych w kopalniach węgla, rud, soli i innych kopalnin użytecznych, co jest bardzo aktualnym zadaniem przemysłu górniczego.

Efektywność robót wiertniczo-strzelniczych w kopalniach podziemnych i odkrywkowych określa się kosztami na wiercenie, strzelanie, ładowanie, transport i rozdrobnienie skał. Głównymi sposobami podwyższenia efektywności wykorzystania energii wybuchu materiałów wybuchowych są:

- 1) kierowanie detonacją materiału wybuchowego,
- 2) racjonalizacja przestrzennego rozmieszczenia ładunków materiałów wybuchowych w masywie skalnym,
- 3) wykorzystanie w technologii odstrzeliwania racjonalnej kolejności detonacji ładunków materiałów wybuchowych w czasie i w przestrzeni oraz kierunku rozprzestrzeniania się oddziaływania detonacji ładunku.

W praktyce górnictwa i budownictwa przy rozsadzaniu skał za pomocą udaru i wybuchu, drążenia wyrobisk podziemnych i odkrywkowych, a także przy zapobieganiu osiadania masywów skalnych i rozwiązywaniu całego szeregu innych zagadnień geotechnicznych należy prognozować zachowanie się skał pod działaniem obciążeń dynamicznych, których parametry czasowe mogą zmieniać się w szerokich granicach. Na podstawie przebadania i opracowania wzajemnych zależności zasadniczych własności geotechnicznych skał i czasowych charakterystyk obciążenia można stwierdzić, że czas jest aktywnym czynnikiem pozwalającym kierować rozwojem procesów odkształca-

nia i rozpadu skał przy obciążeniach dynamicznych. Przy projektowaniu, konstruowaniu, tworzeniu i udoskonalaniu środków i metod impulsywnego oddziaływania na masyw skalny, opracowaniu nowych modeli techniki wiertniczej, optymalizacji robót wiertniczych, udoskonalaniu i ulepszaniu konstrukcji maszyn udarowych itp. należy uwzględniać czas jako czynnik prowadzący do obniżenia energochłonności i podwyższenia efektywności impulsywnych metod urabiania masywu skalnego [7, 8].

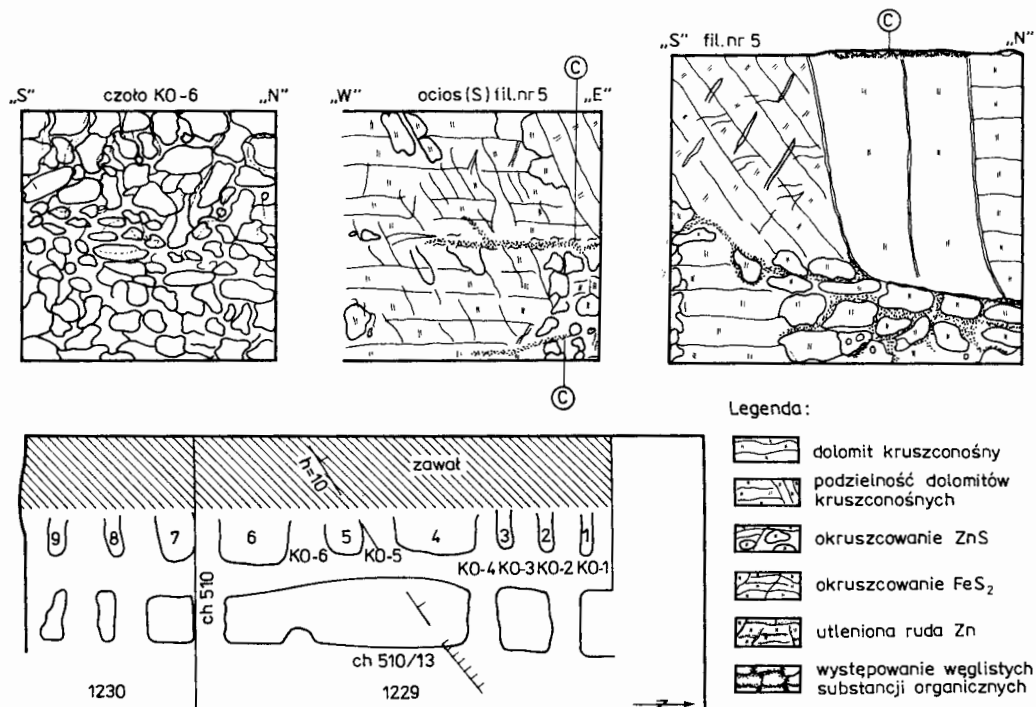
W tym przypadku przy szybko przebiegających procesach, gdzie czas przebiegu procesu jest bardzo krótki, rejestracja filmowa należy do najbardziej efektywnych metod badań, stosowanych do rozwiązania wielu zagadnień naukowych i praktycznych umożliwiających postęp techniczny. Obecnie technika fotograficzna i filmowa umożliwia rejestrację nie tylko statycznej charakterystyki zjawisk, lecz również coraz bardziej skomplikowanych zjawisk kinematycznych i dynamicznych. Filmowanie wybuchów, rozsadzania, rozpadu skał i innych procesów i zjawisk przebiegających dynamicznie jest na obecnym etapie rozwoju techniki jedynym sposobem umożliwiającym przebadanie zachodzących procesów na podstawie analizy jakościowej i ilościowej materiału filmowego.

Na podstawie znajomości własności materiału wybuchowego, skał i masywów skalnych oraz mechanizmów ich rozsadzania przeprowadza się na elektronicznych maszynach cyfrowych matematyczne modelowanie procesu rozsadzania skał. W algorytmie programu uwzględnia się działanie wybuchu ładunku materiału wybuchowego, rozmieszczenie i kolejność odstrzeliwania otworów strzałowych, ustala się ilość wytworzonych od wybuchu szczelin i chronologię ich rozwoju oraz oblicza się objętość i masę odstrzelonych skał. Takie modelowanie umożliwia wyznaczenie i ocenę kosztów na rozsądzenie jednostkowej objętości i masy masywu skalnego oraz określenie zmiany lub nowego projektu rozsadzania, tj. metrykę strzałową, którą należy tak zaprojektować, aby uzyskać optymalizację rozsadzania.

#### Niektóre przykłady stosowania techniki zdjęć szybkich i ultraszybkich przy badaniu procesów dynamicznych

Ostatnio kamerami do zdjęć szybkich i ultraszybkich przeprowadza się badania filmowania wybuchu oraz powstawania, propagacji i zanikania szczelin zarówno na materiałach ekwiwalentnych, jak i w masywie skalnym. Bada się również czas wyrzucania różnych rodzajów przybitek z otworów strzałowych, co umożliwia wyznaczenie optymalnych długości przybitek. Poniżej podaje się niektóre przykłady badań procesów dynamicznych kamerami do zdjęć szybkich i ultraszybkich.

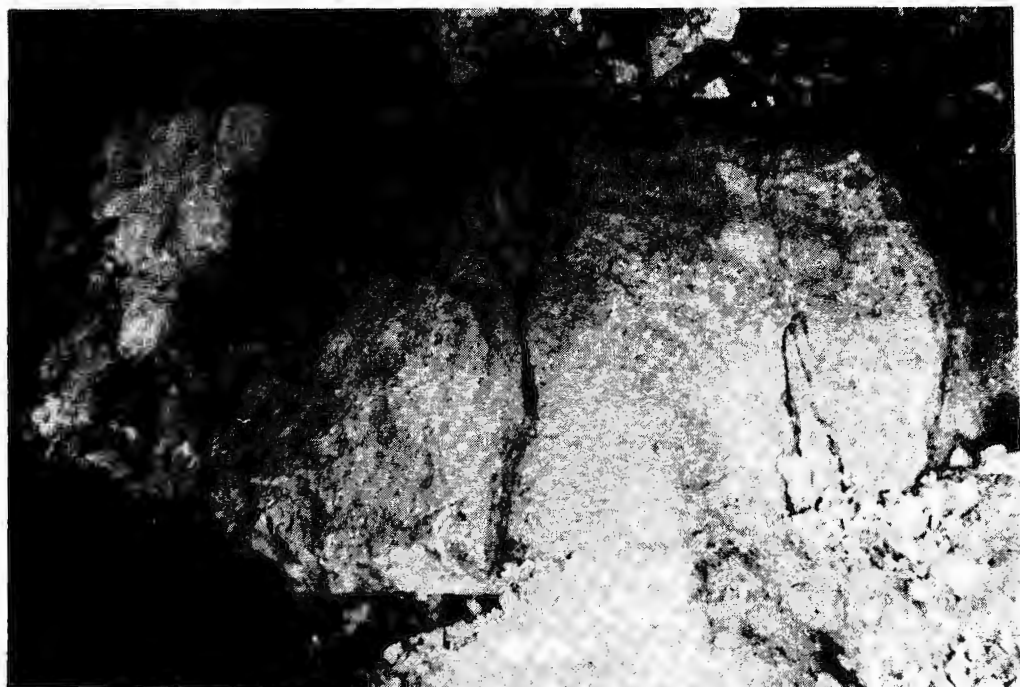
W oddziale mechaniki wybuchu IGTM AN USRR opracowano kompleksową metodykę badania działania wybuchu opartą na równoczesnym pomiarze stanu naprężeń rozsazanego ośrodka, prędkości przemieszczenia i rozrzutu odłamków [9]. Naprężenia mie-



Rys. 1. Profil geologiczny czoła komory nr 6 (KO-6) strona "S"- "N" i filara nr 5 strona "W"- "E" i strona "S"- "N" - przeznaczonych do odstrzelenia zawałowego w kopalni "Pomorzany" Oddział A,B,C,D

rzy się albo bezpośrednio przez zastosowanie czujników pojemnościowych albo drogą pośrednią przez określenie masowych prędkości za pomocą aparatury elektromagnetycznej. Kinematyczne charakterystyki procesu rozsadzania dla zakresu milisekundowego są rejestrowane kamerą do zdjęć szybkich SKS-1 m, a dla zakresu mikrosekundowego urządzeniem do zdjęć ultraszybkich SFR-2 m.

Ostatnio urządzenie SFR ulegało modernizacji, w wyniku czego wyprodukowano ultraszybkie urządzenie fotorejestrujące WFU-1, które ma szereg dodatkowych wariantów pracy [10]. Urządzenie WFU-1 ma następujące warianty pracy: 1) fotorejestратор, 2) mikrofotorejestратор, 3) spektrofotograf, 4) wariant ze zwykłym filmowaniem w klatkach, 5) filmowanie stereoskopowe, 6) zdjęcia mikrofilmowe, 7) spektrograf filmowy. Częstotliwość filmowania z dwuszeregową wstawką obiektywową wynosi od 25 000 do 625 000 kl. s<sup>-1</sup>, a z czteroszeregową od 50 000 do 2 500 000 kl. s<sup>-1</sup>. Filmowanie stereoskopowe procesów wybuchowych ma dużą zaletę, gdyż umożliwia otrzymanie w oddzielnych momentach czasu przestrzenny obraz wybuchu, określenie jego współrzędnych i wyznaczenie torów przebiegu oddzielnych czę-



Rys. 2. Filar nr 5, ocios N, strona "E"-"W"

stek skał lub innych materiałów. Oprócz tego obraz stereoskopowy umożliwia znacznie większą dokładność odczytywania szczegółów aniżeli obraz płaski.

Do rejestracji procesów wybuchu w warunkach laboratoryjnych i polowych służą kamery FK-1 i FK-4 [2]. Kamera FK-1 ma pięć częstotliwości filmowania, tj. 1250, 2500, 5000, 10 000 i 20 000  $\text{kl}\cdot\text{s}^{-1}$ . Wymiary klatki wynoszą 7,5 x 10,5 mm, liczba klatek 260 i ogólny czas trwania filmowania od 200 do 13 ms. Kamera FK-4 ma dwa rodzaje wstawek obiektywowych. Jeden rodzaj - jednorzędowy - umożliwia otrzymanie 50 klatek o wymiarach 16 x 22 mm przy częstotliwościach filmowania 23, 46, 92 i 184 tysięcy klatek na sekundę. Drugi rodzaj - dwurzędowy - pozwala otrzymać 150 klatek o wymiarach 7,5 x 10,5 mm przy częstotliwościach filmowania 74, 148, 296 i 592 tysięcy klatek na sekundę.

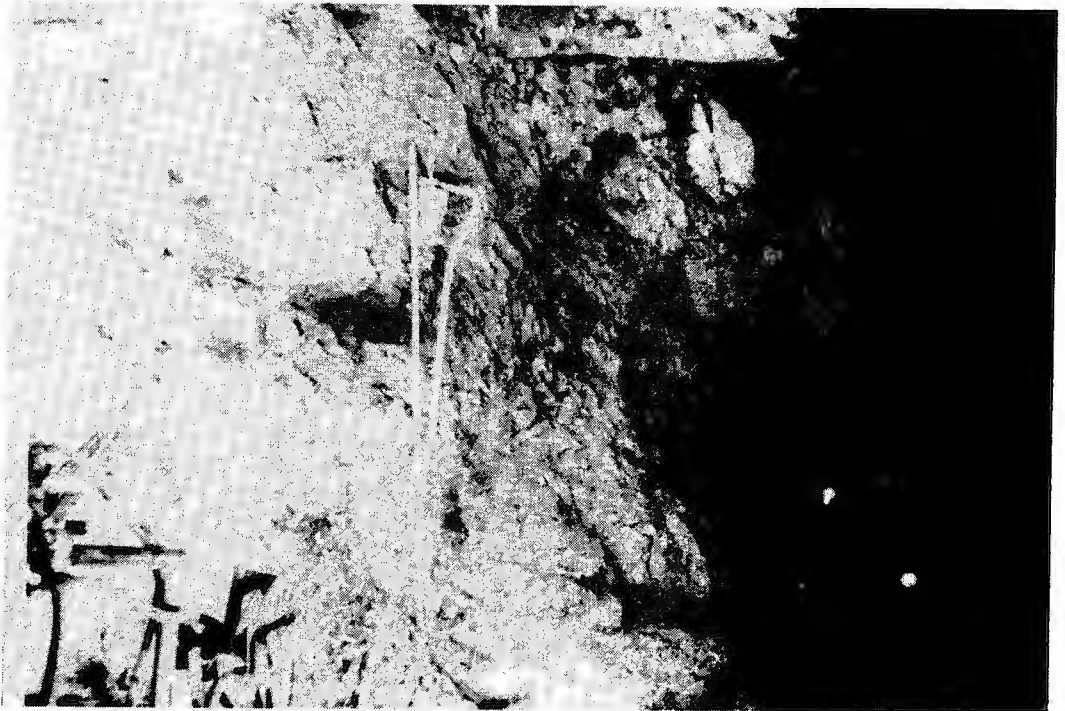
Autor stosuje technikę fotograficzną i filmową do rejestracji i badań zjawisk w górnictwie od 28 lat. Przy fotografowaniu charakterystycznego usytuowania skał, np. po zawale, fotografowaniu powierzchni szczelin pierwotnych i wtórnych, przegród w węglu itp. autor stosował w kopalniach gazowych specjalną lampę błyskową firmy Braun Standard 1/1000 s, dopuszczoną do użycia w warunkach gazowych. Dla wyznaczenia prędkości oderwania się próbek oraz obliczenia prędkości przemieszczania się i maksymalnych naprężeń promieniowych próbek węglowych w stanie powietrz-



Rys. 3. Filar nr 5, ocios E, strona "S"-"N"

no-suchym i próbek nawilgoconych autor przeprowadził badania laboratoryjne [7]. Badania prędkości fali podłużnej przeprowadzono ultradźwiękowym przyrządem do pomiaru prędkości typu UZIS-ŁETI. W próbkach węgla o wymiarach 50 x 50 x 50 mm przewiercono na wylot otworek o średnicy 3 mm i wkładano do niego ładunek pentrytu o masie 20 kg, zapakowany w bibuškę. Jako inicjator zastosowano kropelkę azydku ołowiu o masie 3 mg, wtopioną na końcach przewodów. Otworek uszczelniono z obu stron plasteliną, która odgrywała rolę przybitki. Przed filmowaniem do powyższych próbek węgla przytwierdzono próbki węgla o wymiarach 10 x 10 x 10 mm. Przebieg rozpadu próbki filmowano kamerą do zdjęć szybkich typu SKS-1 m z częstotliwością 1800 kl · s<sup>-1</sup>. Pomiary przemieszczania się małych próbek przeprowadzono metodą fotogrametryczną za pomocą stereokomparatora firmy Carl Zeiss Jena.

Badania kompleksowe w badawczym chodniku węglowym przeprowadzone przez autora stanowiły kontynuację laboratoryjnych; symulowały odstrzeliwanie w podwębionej ścianie lub zabierce węglowej oraz umożliwiały rozsadzanie w warunkach naturalnych stosowanych w górnictwie podziemnym [4, 5, 6, 7]. Badania przeprowadzone w kopalni „Janina” według opracowanej przez autora metodyki badań nad urabianiem materiałem wybuchowym, stosowanym obecnie w polskim górnictwie węglowym, przy użyciu różnych rodzajów przybitek oraz przy zastosowaniu zapalników elektrycznych



Rys. 4. Filar nr 5, ocios S, strona "W"- "E"

momentalnych i milisekundowych. W trakcie badań sprawdzono wpływ przybitki na wychód sortymentów węgla, na masę odstrzelonego urobku oraz na wartość jednej tony urobionego węgla. Badania za pomocą kamery do zdjęć szybkich Pantazet-16 z częstotliwością 300, 600 i 1000  $\text{kl} \cdot \text{s}^{-1}$  określiły przebieg rozsadzania i umożliwiły ocenę i porównanie oderwania i przemieszczania się próbek oraz maksymalnych naprężeń promieniowych.

W kopalni cynku i ołowiu „Olkusz” autor przeprowadził odstrzeliwanie komory metodą otworów obrysowych (metodą gładkościenną) po uprzednim odstrzeleniu otworów włomowych, pomocniczych i urabiających i po wybraniu odstrzelonego urobku. Odstrzał filmowano kamerą do zdjęć szybkich Pentazet-16 z częstotliwością 600  $\text{kl} \cdot \text{s}^{-1}$ . Filmowanie umożliwiło dokładne określenie przebiegu przedarcia się i wylotu oraz rozprzestrzeniania się produktów wybuchu. Czoło przodka oświetlano naświetlaczami konstrukcji autora [3].

Badania nad procesem rozsadzania uwarstwionych modeli ze szkła, celluloidu i pleksiglasu o wymiarach 400 x 400 x 8 mm przedstawiono w pracy [11]. Wymiary modeli były zmniejszone w porównaniu z wymiarami naturalnymi 100-krotnie. Na tak wykonanych modelach badano wpływ ukierunkowania szczelinowatości i uwarstwienia na sam przebieg rozsadzania. Dla zachowania warunków modelowania uwzględniono następujące parametry: długość, czas, gęstość, prędkość przemieszczeń sprężystych i



Rys. 5. Komora nr 6, czoło E, strona "S"- "N"

stałe mechaniczne. W modelach przewiercano otworki o średnicy 2 mm dla umieszczenia ładunku pentrytu o długości 80 mm i masie 300 mg i przybitki o długości 60 mm. Pentryt inicjowano azydkiem ołowiu o masie od 10 do 220 mg. Filmowanie przeprowadzono kamerą do zdjęć ultraszybkich SFR-Ł, umożliwiającą rejestrację z częstotliwością 2,5 miliona klatek na sekundę. Na podstawie analizy filmów przy badaniu modeli z naruszoną ciągłością stwierdzono, że następuje zmiana zarówno w samym procesie rozsadzania, jak i w końcowych wynikach rozsadzania. Obniża się prędkość rozprzestrzeniania się szczelin radialnych i następuje zmniejszenie strefy rozsadzania od działania odbitej fali naprężeń od powierzchni odsłoniętej.

W pracy [1] przedstawiono badania nad inicjacją azydku ołowiu metodami: elektryczną, udarową i laserową z zastosowaniem filmowania kamerą Imacon do zdjęć ultraszybkich rejestrującą z częstotliwością 10 milionów klatek na sekundę.

Kamery do zdjęć szybkich i ultraszybkich znajdują również zastosowanie przy filmowaniu wybuchów dużej mocy i do innych procesów dynamicznych.

Autor ostatnio przeprowadził badania nad doskonaleniem strzelania w komorach i strzelania zawałowego w kopalniach cynku i ołowiu „Bolesław” i „Olkusz-Pomorzan”. Z uwagi na nierównomierne zaleganie złoża i skał otaczających oraz nierównomierną szczelinowatość i uwarstwienie przeprowadza się identyfikację masywu skal-

nego. Identyfikacja polega na zsynchronizowaniu danych geologicznych, danych fizykomechanicznych i danych z barwnych fotografii dla umożliwienia właściwej dynamiki rozsadzania i optymalnego doboru parametrów wiertniczo-strzelniczych. Na rys. 1 przedstawiono profil geologiczny komory i filarów przeznaczonych do rozsadzania w ramach strzelania zawałowego, a na rys. 2, 3, 4 i 5 fotografie filaru i komory. Należy podkreślić, że fotografie dostarczyły bardzo bogatego materiału interpretacyjnego.

#### Wnioski

1. Na podstawie przeprowadzonych badań z zastosowaniem zdjęć szybkich i ultraszybkich można stwierdzić, że czas jest aktywnym czynnikiem pozwalającym kierować rozwojem procesów odkształcenia i rozpadu skał przy obciążeniach dynamicznych.

2. Przy projektowaniu, tworzeniu i udoskonalaniu środków i metod impulsywnego oddziaływania na masyw skalny oraz przy optymalizacji robót wiertniczo-strzelniczych czas jest czynnikiem prowadzącym do obniżenia energochłonności i podwyższenia efektywności impulsywnych metod urabiania masywu skalnego.

3. Ostatnie badania kamerami do zdjęć szybkich i ultraszybkich umożliwiają ocenę zasadniczych parametrów wybuchu w różnych etapach jego rozwoju. Badania te umożliwiają najbardziej racjonalne zastosowanie materiałów wybuchowych w różnych gałęziach techniki.

#### Literatura

1. Chaudhri M. M. i in.: Application of high-speed photography to explosives research. [W]: High speed photography. Chapman and Hall, London 1975.
2. Daragan A. C. i in.: Pribory dla fotograficzekoj registracjii wzywnych procesow. [W]: Wzrywnoje dieło, Sbornik Nr 83/40. Metodiki izmierienija i apparatura dla issledowanija dejstwija wzywa. Izd. „Niedra”, Moskwa 1982.
3. Hobler M.: Urządzenie zabezpieczające zespół reflektorów. Wzór użytkowy nr 25241, 1976.
4. Hobler M.: Badania fizykomechanicznych własności skał. PWN, Warszawa 1977.
5. Hobler M.: Investigations on the rock burst process by blasting with the simultaneous film recording, using a high-speed camera. Research Film 3, Göttingen-Paris 1977.
6. Hobler M.: Projektowanie i wykonywanie robót strzelniczych w górnictwie podziemnym. Wyd. „Śląsk”, Katowice 1982.
7. Hobler M.: Badania nad efektywnością strzelania w kopalniach węgla, i rud oraz w kopalnictwie naftowym. Zesz. Nauk. Akademii Górniczo-Hutniczej, Górnictwo z. 116, Kraków 1982.
8. Hobler M. i in.: Wpływ czynnika czasu na własności geotechniczne skał przy obciążeniach dynamicznych. Cuprum 6, 1979.
9. Jefriemov E. I. i in.: K kompleksnoj metodike issledowanija dejstwija wzywa na modelach. [W]: Wzrywnoe dieło, Sbornik Nr 83/40. Metodiki izmierienija i apparatura dla issledowanija dejstwija wzywa. Izd. „Niedra”, Moskwa 1982.



10. Sicinskaja N. M. i in.: Wysokoskorostnaja fotoriegitrujuščaja ustanowka VFU-1 i jego primienienije pri issledowanii wzrywnych processow. [W]: Wzrywnoe dieło, Sbornik Nr 83/40. Metodiki i izmierienija i apparatura dla issledowanija diejstwija wzrywa. Izd. „Niedra”, Moskwa 1982.
11. Vovk A. A., Tkačuk K. N., Hobler M.: Wzrywnye raboty w słożnych gornogeołogicznych usłowijach. Izd. „Naukowa Dumka”, Kijew 1980.

М. Хоблер

## ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КИНОТЕХНИКИ

### Р е з ю м е

В статье рассматриваются выбранные исследования автора по повышению эффективности бурово-взрывчатных работ в подземных угольных шахтах и по использованию фотографической и фильмовой техники в указанных исследованиях. Рассматриваются возможности использования этих техник, а особенно кинокамер для скорых и сверхскорых съемок с целью решения научных проблем и практических вопросов связанных с добычей с помощью взрывчаток. Для съемок в газовых шахтах использовали специальную допустимую в данных условиях фотовспышку. Фильмовали ход взрывания и распада скал в подземных угольных шахтах, при использовании специальной конструкции прожекторов (модели используемой в Польше), специальных защит, сеток и т.п.

Исследования с использованием кинокамеры для скорых и сверхскорых съемок позволили получить качественные и количественные данные характеризующие действительную скальную среду подвергнутую очень сильным динамическим нагрузкам. Были разработаны и внедрены методы и методики для исследований по образованию и распространению щелей и трещин и связанным с этим раздроблением скального массива, позволяющие управлять процессами отображения и распада скал. Исследования позволили улучшить выход грубых сортиментов угля, сократить энергоемкость и повысить эффективность импульсивных методов добычи, а также модернизировать применяемые в горнопромышленном деле технологии.

M. Hobler

## INVESTIGATIONS ON DYNAMICAL PROCESSES WITH THE USE OF THE FILM TECHNIQUE

### S u m m a r y

Selected investigations of the author on increase of the efficiency of drilling-blowing works in the underground mines of coal and ore at application of the photographic and film technique are presented. Possibilities of application of the above techniques, and particularly quick- and ultra-quick shot cameras for solution of scientific and practical problems connected with winning with the use of explosives are presented. For taking photographs in gas mines a special flashlamp adapted to these conditions was used. Filming of the course of blowing and breakage of rocks in underground mines was performed with the use of special floodlights (of the used Polish standard), special construction of covers, networks etc.

Investigations using film cameras for quick- and ultraquick shots allowed to obtain qualitative and quantitative data characterizing the real rocky environment subjected to very heavy dynamical loads. Methods and methodics used in the investigations on forming and widening of fissures and cracks and on disintegration of the rocky massif allowing to control the processes of deformation and disintegration of rocks were worked out and extended. The investigations contributed to an improvement of winning coarse assortments of coal, less energy use and increase of the efficiency of impulsive methods of winning as well as to the modernization of the technologies applied in the mining.