ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1980

Seria: GÓRNICTWO z. 104 Nr kol. 640

Antoni CZEKAJ
Stanisław ŚPIEWAKOWSKI

OKREŚLENIE WPŁYWU EKSPLOATACJI ZAWAŁOWEJ NA POWIERZCHNIĘ TERENU ZA POMOCĄ METODY ELEKTROOPOROWEJ

Streszczenie. Śledzenie procesu deformowania się górotworu i powierzchni terenu na skutek prowadzonej eksploatacji ma duże znaczenie praktyczne i teoretyczne. Coraz częściej do tych celów używa się metod geofizycznych, a wśród nich metody elektrooporowej. Badając intensywność zmian parametrów fizycznych podłoża nad eksploatowanym pokładem można uzyskać jakościową ocenę wpływu eksploatacji na nadległe warstwy górotworu.

1. WSTĘP

Podstawową metodą wykorzystywaną do badania wpływu robót górniczych na powierzchnię terenu są obserwacje geodezyjne. Pomiar geodezyjny pozwala na obliczenie bezwzględnych wielkości podstawowych parametrów, charakteryzujących wpływ robót górniczych na powierzchnię i praktycznie przy obecnym rozwoju metod badawczych dla ważnych problemów ochrony powierzchni jest niezastąpiony. Pomiar ten jest jednak pracochłonny i wymaga dużego zaangażowania ludzi i środków przy przygotowaniu linii obserwacyjnej, wykonywaniu pomiarów i obliczaniu rezultatów. Dlatego też wykonywanie tych obserwacji z przyczyn oczywistych ogranicza się do minimum, stosując je głównie do zagadnień o kluczowym znaczeniu.

Istnieje jednak cała gama pozornie drugorzędnych zagadnień, w których metod geodezyjnych nie stosuje się. Wówczas deformacje terenu określa się na podstawie obliczeń. Postępowanie takie pozwala ocenić stan najbardziej prawdopodobny, który winien mieć miejsce, jeżeli założenia przyjęte w obliczeniach będą spełnione. W rzeczywistości jednak, w górotworze rzeczywistym, w którym obserwuje się makro- i mikroanizotropię, powierzchnie nieciągłości oraz inne niejednorodności, przyjęte założenia często nie są spełnione. Może to prowadzić do znacznych odchyleń od obliczonych wartości, powodując istotne komplikacje w dążeniu do minimalizacji wpływów robót górniczych na powierzchnię.

W ostatnich latach w badaniach z zakresu mechaniki górotworu rozpoczęto stosować metody geofizyczne, a wśród nich metodę elektrooporową. Ogól-

nie można powiedzieć, że pomiar geofizyczny sprowadza się do określenia wartości fizycznych skał. Niektóre z tych parametrów zmieniają się w trakcie eksploatacji górniczej.

Celem sprawdzenia przydatności metody elektrooporowej dla badania deformacji terenu powodowanych eksploatacją podziemną wykonano serię obserwacji na obszarze górniczym KWK "Czerwona Gwardia".

2. CHARAKTERYSTYKA REJONU BADAŃ I SPOSÓB PRZYGOTOWANIA STANOWISKA POMIAROWEGO

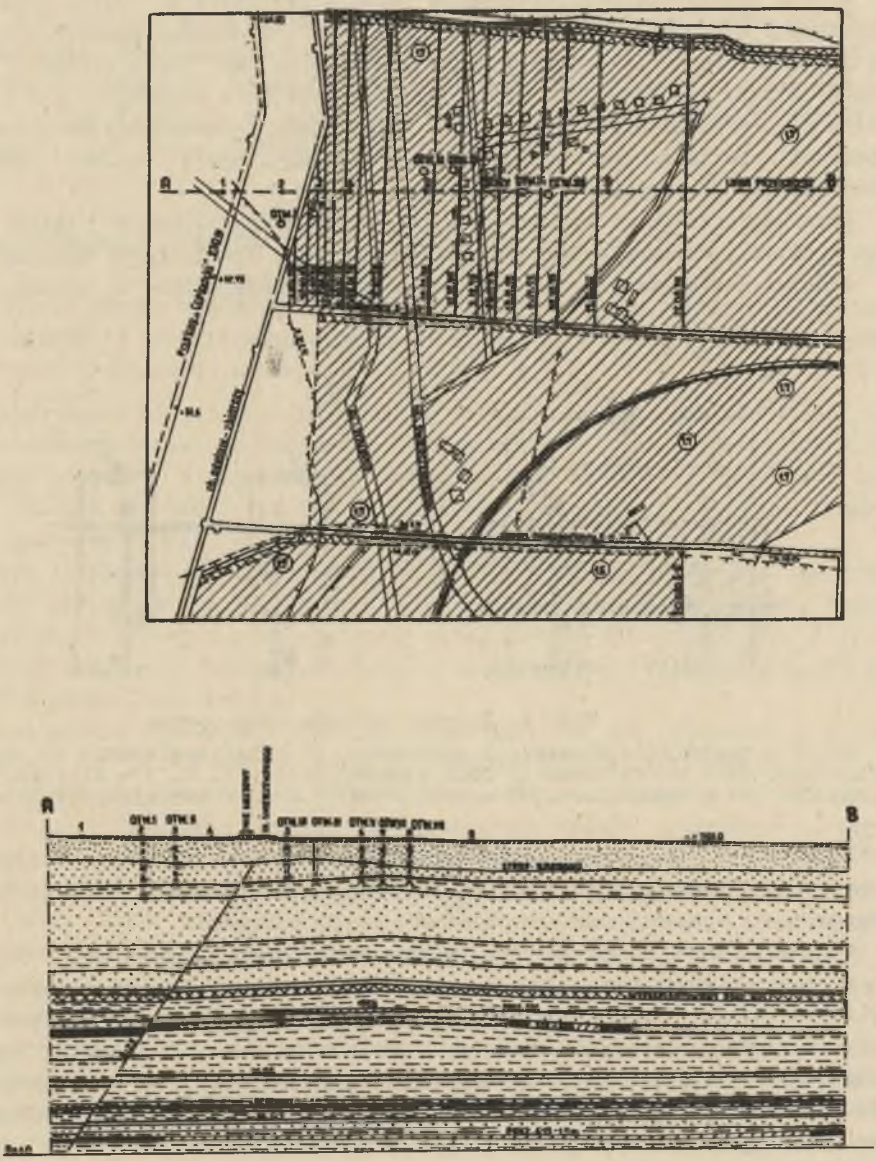
Jako rejon badań wybrano obszar położony w północno-wschodniej części Bosnowca w pobliżu granicy z miastem Czeladź. Pod obszarem tym prowadzono eksploatację pokładu 615. Powierzchnię terenu stanowią grunty orne i nieużytki.

Sytuację pomiarową oraz schematyczny przekrój warstw przedstawiono na rysunku 1.

Pokład 615 w rejonie badań zalega pod serią wyeksploatowanych pokładów siodłowych. Eksploatacja prowadzona była systemem ścianowym podłużnym z zawałem stropu.

W celu prześledzenia procesu deformacji powierzchni i warstw górotworu bezpośrednio pod powierzchnię metodami geodezyjnymi wytyczono linię prostopadłą (AB) do linii frontu ściany 2 w pokładzie 615 (rys. 1). Po uwzględnieniu lokalnych warunków terenowych punkty obserwacji wyznaczono w miejscach: I, II .... VII, przy czym punkty te z uwagi na konieczność odwiercenia w nich płytkich otworów wiertniczych nie mogły być zlokalizowane ściśle na wyznaczonej linii. Wykonane otwory przewierciły w tym przypadku nadkład czwartorzędowy oraz przystropową część piaskowców dolnorudzkich. Następnie do otworów zapuszczone zostały specjalnie wcześniej przygotowane sondy. Na sondach w odpowiednich odległościach (około 20 m) zastabilizowano elektrody pomiarowe. Kable od elektrod wyprowadzone zostały na powierzchnię i odpowiednio poznakowane. Po zapuszczeniu sond otwory zostały zasypane i zabezpieczone od góry przed uszkodzeniem mechanicznym kabli.

Równocześnie z badaniami geofizycznymi prowadzone były obserwacje geodezyjne. Wzdłuż linii pomiarowej A-B zastabilizowano łącznie dziewięć reperów (rys. 1). Obniżenie tych reperów w miarę przesuwania się frontu ściany 2 w pokładzie 615 wykonywano okresową niwelacją. Ze względu na przeszkody terenowe zrezygnowano z pomiaru odkształceń.



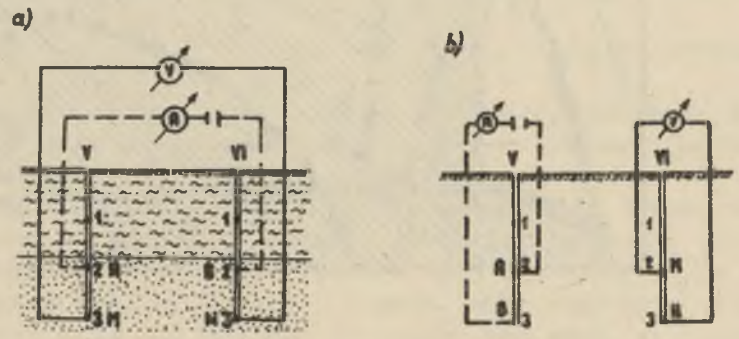
Rys. 1. Sytuacja pomiarowa oraz schematyczny przekrój warstw; 1, 2, 3 ... 9 - repery geodezyjne OTW I, OTW II ... OTW VII otwory wiertnicze, x - elektrody pomiarowe

3. BADANIA ELEKTRYCZNEGO OPORU POZORNEGO PODŁOŻA W MIARĘ PRZESUWANIA SIĘ FRONTU ŚCIANY

Metoda elektrooporowa, stanowiąca jedną z podstawowych metod geoelektrycznych, stosowana jest od wielu lat w geofizyce poszukiwawczej. Opisana jest w wielu publikacjach z zakresu geofizyki (np. Zb.Fajklewicz - "Zarys geofizyji stosowanej", Wydawnictwa Geologiczne - Warszawa, 1972 r.) i bliższe opisywanie mija się z celem. Należy jednak zaznaczyć, że mierzone wielkości elektrycznego oporu pozornego ośrodka ulegają silnym zmianom przy zmianie porowatości i szczelinowatości.

Obserwacje zmian elektrycznego oporu podłoża prowadzono w czasie pięciu miesięcy, w miarę przemieszczania się frontu eksploatacji pokładu.

Schemat zastosowanych układów pomiarowych przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat układów pomiarowych

a) układ pomiarowy do obserwacji poziomych, b) układ pomiarowy do obserwacji pionowych zmian rozkładu pola elektrycznego, 1, 2, 3 - elektrody pomiarowe (AB - zasilające, MN - odbiorcze) V i VI - otwory wiertnicze

Lokalizacja otworów umożliwiła wykonywanie obserwacji zmian elektrycznego oporu w kierunku zbliżonym do poziomego oraz pionowym. Ze względu na różniące się wyniki badania te interpretowano odrębnie.

W okresie badań front ściany 2 w pokładzie 615 przesunął się o 320 m. Ze względu na usytuowanie punktów pomiarowych obserwacje możliwe były do wykonywania, gdy linia frontu znajdowała się w odległości 320 m przed otworami (dodatnie wartości odciętej x na rys. 3). a zakończone gdy znajdowała się w odległości 200 m za otworami (ujemne wartości x). Uspokojenie się ruchów górotworu, na skutek dokonanej eksploatacji, badano w odstępie czasu trwającym około pięć miesięcy.

Pomiary elektrooporowe wykonywano miernikiem geoelektrycznym typu PLH produkcji krajowej, pozwalającym na wykonywanie pomiarów w warunkach silnych zakłóceń prądami przemysłowymi i innymi o nieustalonych przebiegach.

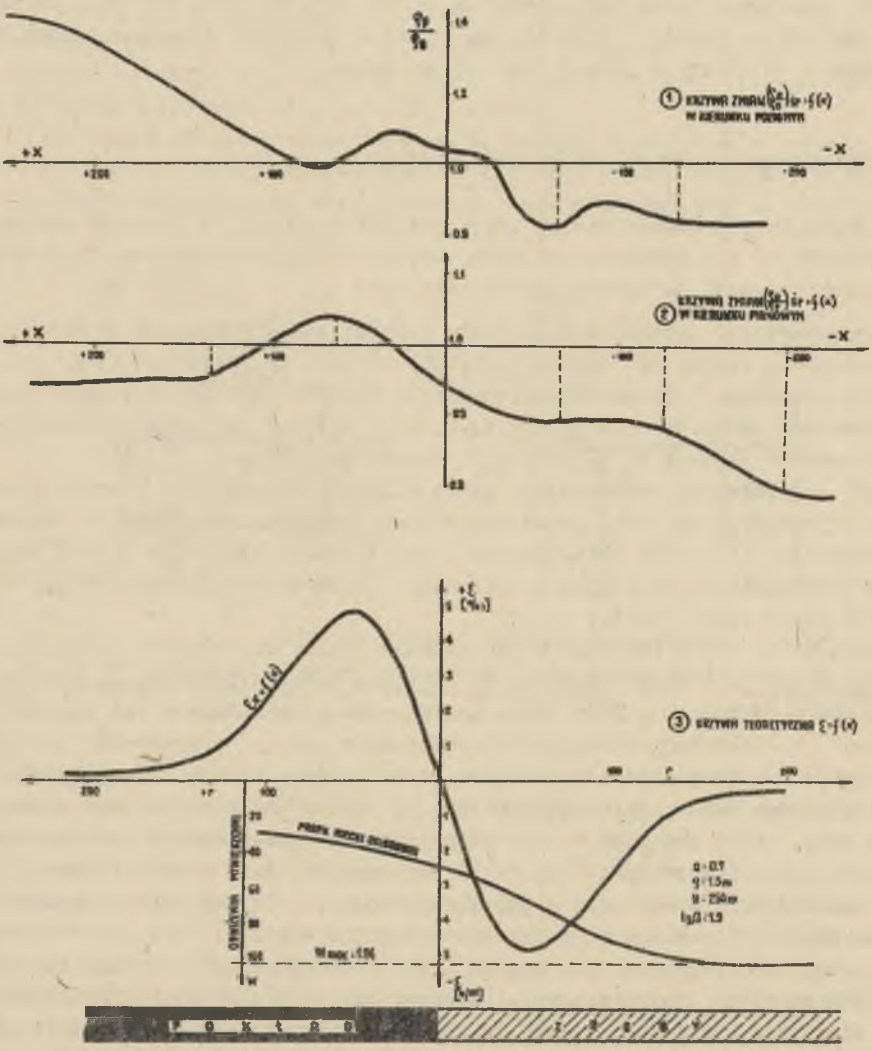
Wyniki uzyskiwane na poszczególnych stanowiskach pomiarowych w tych samych dniach zestawiono początkowo w formie tabelarycznej, a następnie w

formie tzw. profili elektrooporowych. Na ich podstawie uzyskano dwie krzywe uśrednione, których wartości stanowią średnie arytmetyczne wartości ϱ_p/ϱ_o (gdzie: ϱ_p - wartość oporu pozornego właściwego, pomierzona w danym dniu obserwacji, ϱ_o - wartość oporu pozornego właściwego, pomierzona przed rozpoczęciem eksploatacji ściany). Krzywe te w sposób najwierniejszy ilustrują przebiegi zmian oporu ośrodka, a przy tym są wolne od przypadkowych oscylacji. Należy nadmienić, że krzywa 1 bardziej obrazuje zmiany w nadkładzie, a krzywa 2 zmiany oporu w karbonie.

4. INTERPRETACJA GÓRNICZA UZYSKANYCH WYNIKÓW

Obydwie krzywe uśrednione, ilustrujące zmiany ϱ_p/ϱ_o w kierunku poziomym (krzywa 1) i w kierunku pionowym (krzywa 2) pokazano na rys. 3. Porównanie ich prowadzi do następujących wniosków:

- zmiany wartości elektrycznego oporu warstw znajdujących się w pobliżu powierzchni terenu są znacznie większe w kierunku poziomym niż w kierunku pionowym. W kierunku poziomym pierwotna wartość elektrycznego oporu zmienia się około 1,4 do 1,6 tj. o 60%, podczas gdy zmiany w kierunku pionowym wynoszą od 1,00 do 0,8, tj. o około 27%;
- wpływ eksploatacji zaznacza się już w odległości około 220 m przed frontem i przejawia się jako powstawanie drobnych szczelin pionowych, które wypełniają się wodą z zalegających wyżej warstw. Świadczy o tym z jednej strony spadek krzywej 2 i minimalny wzrost krzywej 2 na odcinku do 135 m przed linią frontu,
- w odległości 135 m rozpoczyna się rozwarstwianie się górotworu, przejawiające się jako wzrost krzywej 2. Maksimum krzywej przypada na odciętą x = +63 m. Jednocześnie na krzywej 1 obserwuje się minimum na odciętej x = +70 m. Stan ten wskazuje, że powstawanie pęknięć pionowych osiąga tu swoje maksimum i strefę tę można określić jako strefę maksymalnych wartości naprężeń rozciągających ($+E_{max}$). Szczeliny pionowe są drożne dla wody, która przenika w głąb górotworu do rozwarstwień poziomych. Ubytek wody w szczelinach pionowych zaznacza się jako wzrost krzywej 1 na odcinku od x = +70 do x = -15 m oraz jako sukcesywny spadek krzywej 2 na prawo od maksimum w punkcie o odciętej x = +63,
- po przejściu frontu zarówno krzywa 1 jak i krzywa 2 maleje. Malenie to jednak ma nieco inny charakter. Podczas, gdy krzywa 2 regularnie spada do miejsca o odciętej x = -64, to krzywa 1 osiąga minimum w punkcie o odciętej x = -62 m. Zbieżność odciętych jest bardzo duża i zjawisko to należy tłumaczyć jako występowanie strefy maksymalnych naprężeń ściskających ($-E_{max}$),
- w odległości około 130 m krzywa 2 przechodzi w linię prostą równoległą do osi odciętych. Odpowiada to strefie, w której w kierunku poziomym nie ma żadnych deformacji. Krzywa 2 wykazuje jednak waryźne tendencje spad-



Rys. 3. Zestawienie wyników badań

kowe. Wytłumaczyć to można łatwo, uwzględniając postępujący proces nawadniania spękanego górotworu i podnoszenia się lustra wód gruntowych nad niecką osiadania.

W świetle podanej wyżej analizy, na podstawie badań elektrooporowych można określić następujące parametry deformacji powierzchni:

- zasięg wpływów pośrednich (hydrogeologicznych) około 220 m przed i za ścianą,
- zasięg wpływów bezpośrednich "r" = 130 m,
- położenie strefy maksymalnych deformacji przed frontem ściany ($+E_{max}$), 67 m. Odpowiada to wartości 0,52 r, co nie odbiega dużo od obliczeń teoretycznych podanych w teorii Budryka - Knothego, tym bardziej, że w górotworze "rozluźnionym" wcześniejszą eksploatacją deformacje maksymalne muszą wystąpić wcześniej, ze względu na mniejszą wytrzymałość skał,
- położenie strefy maksymalnych naprężeń ściskających około 65 m za linią frontu,
- kąt zasięgu wpływów głównych:

$$tg\beta = \frac{250}{130} = 1,92$$

$$\beta = 62^{o}30'$$

Wykorzystując dane uzyskane z pomiarów elektrooporowych można wyznaczyć nachylenie terenu "T" i maksymalne odkształcenie poziome właściwe "E_{max}".

Przyjmując:

$$W_{max} = 0,7 \cdot 1,5 = 1,05 \text{ m}$$

i wykorzystując znane wzory:

$$T = \frac{W_{max}}{r} = \frac{1,05}{130} = 0,008$$

$$E_{max} = 0,6 \cdot 0,008 = 0,0048 \approx 5 \text{ mm/m}.$$

Dla porównania uzyskanych wyników z teorią Budryka - Knothego na rys. 3 pokazano wykres odkształceń poziomych właściwych, obliczony na podstawie wzorów wynikających z tej teorii.

Na rys. 3 pokazano również profil niecki osiadania wyznaczony na podstawie obserwacji geodezyjnych.

Biorąc pod uwagę wykres E = f(x), uzyskany na drodze rozważań teoretycznych, dla określonych warunków brzegowych w strefie naprężeń rozciągających dostrzega się duże podobieństwo z wykresem zmian oporu pozornego w kierunku pionowym (krzywa 2). Dla strefy naprężeń ściskających (ujemne wartości x) lepszą korelację z krzywą E = f(x), uzyskano dla krzywej 1. Zja-

wisko to jest oczywiste, jeżeli uwzględni się wpływ wody gruntowej. W zawodnionych warstwach karbońskich, w strefie rozciągań, musi nastąpić zwyżka elektrycznego oporu ośrodka. Powstają tu spękania i szczeliny o dużym zasięgu, którymi woda odpływa w dół do głębszych partii górotworu.

W strefie naprężeń ściskających krzywa 1 lepiej koreluje się z krzywą teoretyczną. Wynika to stąd, że naprężenia ściskające dążą do zagęszczenia zawodnionego ośrodka, obniżając w efekcie jego opór elektryczny.

5. ZMIANY ELEKTRYCZNEGO OPORU PODŁOŻA W CZASIE, JAKI UPŁYWAŁ OD ZAKOŃCZENIA EKSPLOATACJI

Równolegle z pomiarem zmian oporu elektrycznego podłoża, w miarę przesuwania się frontu ściany 2 w pokładzie 615, rejestrowano zmiany ϱ_p/ϱ_o w czasie, jaki upłynął od zakończenia eksploatacji (przejścia frontu). Pomiary takie prowadzono we wszystkich otworach, niemniej rozpatrywano tylko otwory V, VI i VII, dla których czas obserwacji był wystarczająco długi. W otworach tych można było prowadzić badania przez pięć miesięcy od zakończenia eksploatacji. Jak się okazało, czas ten był wystarczająco długi dla uspokojenia się ruchów górotworu. Podobnie jak poprzednio, obserwacje zmian oporu prowadzono w kierunku poziomym i pionowym.

Przyjmując wartość najbardziej niekorzystną, czas uspokojenia ruchów górotworu wynosił trzy miesiące. Wykorzystując obserwacje, obliczono współczynnik osiadania "c", mający duże znaczenie w prognozowaniu wpływu robót górniczych na powierzchnię. Jeżeli założy się, że po upływie trzech miesięcy, tj. 0,25 roku $W = 0,9\ W_k$ (90% wartości końcowej osiadania), to:

$$0,9\ W = W_k\ (1 - e^{-c\ 0,25})$$

Po dokonaniu obliczeń uzyskano c = 8, co charakteryzuje górotwór silnie odkształcalny. Stan taki w analizowanym wypadku spowodowany jest zniszczeniem struktury wewnętrznej piaskowców i ich spójności wcześniejszą eksploatacją górniczą. Wybranie kilku wyżej leżących pokładów węgla doprowadziło do powstania dużej ilości szczelin i spękań w piaskowcach, upodobniając je do ośrodka sypkiego, w którym wszelkie deformacje zachodzą szybko. Porównując rezultaty uzyskane pomiarami geofizycznymi z wynikami obserwacji geodezyjnych, stwierdzono ich dużą zbieżność.

6. WNIOSKI

Na podstawie wykonanych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Metoda elektrooporowa może oddać duże usługi w zakresie rozwiązywania problemów z ochrony powierzchni. Może być wykorzystywane również doraź-

nie dla określania punktów charakterystycznych dla profilu niecki osiadania, jeżeli budowa geologiczna podłoża jest dobrze rozpoznana.

2. Stosując proponowaną metodę można określić następujące parametry charakteryzujące wpływ robót górniczych na powierzchnię:
   a) kąt zasięgu wpływów głównych oraz wielkość zasięgu wpływów głównych r,
   b) strefę występowania maksymalnych odkształceń poziomych właściwych, tj. położenia $+E_{max}$ oraz $-E_{max}$,
   c) czas po jakim następuje uspokojenie się ruchów górotworu.

W przypadku prowadzenia eksploatacji górniczej w skomplikowanych warunkach hydrogeologicznych, przy występowaniu w pobliżu powierzchni zwierciadła wód gruntowych, można również określić zasięg tzw. wpływów pośrednich hydrogeologicznych, który w takich warunkach często ma bardzo duże znaczenie.

Na podstawie uzyskanych wyników można sądzić, iż metody geofizyczne mogą znaleźć szerokie zastosowanie przy:
- bieżącej kontroli wpływów eksploatacji górniczej na obiekty na powierzchni,
- ustalaniu związku przyczynowego pomiędzy szkodą górniczą, a robotami górniczymi,
- określaniu podstawowych parametrów deformacji powierzchni na skutek robót górniczych.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ С ОБРУШЕНИЕМ НА ЗЕМНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА СОПРОТИВЛЕНИЙ

Р е з ю м е

Наблюдение процесса деформирования горного массива и земной поверхности в следствие разработки месторождения имеет большое теоретическое и прикладное значение. Всё больше для этих целей употребляется геофизических методов, а среди них метода сопротивлений. Исследуя интенсивность изменений физических параметров основания над эксплуатируемым пластом, можно получить качественную оценку влияния эксплуатации на вышележащие пласты го ного массива.

THE ELECTRORESISTANCE METHOD FOR DEFFINING THE CAVING MINING EFFECT ON THE GROUND SURFACE

S u m m a r y

Observing the process of deformation of rock und the ground surface due to mining is of great practical and theoretical significance. Geo-

physical methods are gaining ever wider application and so do the methods of electro-resistance. By analysing the intensity of changes in physical parameters of the rock over the miwed seam, a qualitative assessment of the mining effect on overlying rock can be obtained.