

Wadim Fomiczew*, Andrzej Krowiak**

OKREŚLENIE OPTYMALNYCH CHARAKTERYSTYK WYKORZYSTANIA HYDROMECHANICZNEJ METODY URABIANIA WĘGLA Z ZASTOSOWANIEM STRUGU W RÓŻNYCH WARUNKACH GEOLOGICZNO-GÓRNICZYCH

Streszczenie

W artykule przeanalizowano możliwość efektywnego stosowania metody hydromechanicznego urabiania węgla z wykorzystaniem wyprzedzającego podcinania strumieniem wody w pokładzie urabianym strugiem.

Istotą metody jest wstępne podcinanie ociosu na poziomie stropu i spągu, strumieniem wody pod dużym ciśnieniem, w celu zmniejszenia sił spójności i przylegania warstwy węgla do skał. W efekcie uzyskuje się znaczące zmniejszenie siły niezbędnej do urabiania górotworu i w rezultacie mniejszy wydatek energetyczny na jednostkę urobku. Podcinania dokonuje się cienkim strumieniem wody tłoczony przez specjalnie uformowane dysze pod bardzo wysokim ciśnieniem tłocznym, powyżej 100 MPa. Przy oddziaływaniu tego strumienia wody na górotwór, jego energia przekształca się w pracę mechaniczną cięcia, a sam strumień staje się narzędziem tnącym. W rozpatrywanym procesie urabiania górotworu są stosowane dwa sposoby niszczenia materiału – jest to cięcie nożami struga z wykształceniem elementarnego wióra i uderzeniowe niszczenie strumieniem wody. Samo nacięcie strumieniem wody nie powoduje tworzenia się szczelin lub stref deformacji plastycznej w górotworze, a skała jest niszczona natychmiast na całym obszarze przyłożenia obciążenia, bez powodowania efektu krawędziowego. Dlatego też ciśnienie wody niezbędne do wykonania nacięcia jest wprost proporcjonalne do granicznej wytrzymałości materiału na jednoosiowe ściskanie.

W artykule określono uogólnione zależności między regulowanymi parametrami podcinania i stratami energii zużytej na urabianie węgla zalegającego w skałach o wysokich charakterystykach wytrzymałościowych. Z przywołanych w artykule pozycji literatury wynika, że z technologicznego punktu widzenia najbardziej racjonalne głębokości nacinania strumieniem wody powinny mieścić się w granicach 30–40 mm.

Słowa kluczowe: skała; węgiel; zasoby; urabianie; urabianie strugami; strug; zastosowanie; górnictwo; systemy eksploatacji; hydromechanika; koncepcja.

Determination of optimal use of hydromechanical method of coal mining using plane in various geological-mining conditions

Abstract

The article contains an assessment of the effectiveness of the application of hydromechanical destruction of coal deposits using the pre-emptive undercutting with waterjet in the deposit treated with plane.

The aim of the work is to make a preliminary cutting of side wall at the roof and floor level, in order to reduce the cohesion and adhesion force between carbon layer and rocks. As a result of this cutting there is a significant reduction in force necessary to mine the rock mass and consequently less energy

* Narodowy Uniwersytet Górniczy Dniepropietrowsk, Ukraina

** Główny Instytut Górnictwa

expenditure per mining unit. The undercutting is carried out by a thin water stream pressed by the specially formed nozzles under very high pressure discharged at above 100 MPa. When this water stream has the influence on the material, its energy is converted into cutting mechanical work, and the stream itself becomes the cutting tool. In the process of mining the rock mass, the two technologies of material destruction are present - cutting with plane blades with elementary chip as well as impact destruction by the water stream. The cut with water stream does not cause the formation of cracks or zones of plastic deformation in rock masses and the rock is destroyed immediately at the whole surface of application of the load, without causing the edge effect. Therefore, the water pressure necessary for the implementation of the incision is directly proportional to the border strength of the material to the uniaxial compressive strength.

The article specifies the generalized relationship between adjustable undercutting parameters and levels of lost energy used for mining the coal occurring in the rocks of high strength characteristics. On the basis of the bibliography referred to in the article it can be stated that from the technological point of view the most rational depth of cutting with waterjet should be within the limits of 30-40 mm.

Keywords: *rock; coal; resources; rock mining; plane mining; plane; using, mining; operating systems; hydromechanics; concept.*

1. WPROWADZENIE

Pierwsze badania nad możliwością wykorzystania strumienia wody o bardzo dużym ciśnieniu do cięcia różnych materiałów były prowadzone już w latach 70. wieku XX. Obecnie metody opracowane na tej podstawie są stosowane w budownictwie, przemyśle chemicznym, górnictwie, m.in. do wytwarzania różnych produktów.

Istotą cięcia jest wytworzenie strumienia wody wypływającej z dyszy o średnicy od 0,1 do 0,5 mm, pod ciśnieniem tłocznym od 1000 do 3000 bar, z prędkością od 400 do 1000 m/s. Podczas oddziaływania strumienia wody na materiał, jego energia przekształca się w pracę mechaniczną cięcia, a sam strumień staje się narzędziem tnącym. Podstawowymi zaletami tej metody jest brak mechanicznych i termicznych naprężeń w miejscu cięcia, minimalizacja obciążenia dynamicznego, brak reakcji zwrotnej na narzędzie tnące oraz mała szerokość szczeliny cięcia.

2. STAN AKTUALNY

Podstawę hydromechanicznej metody urabiania węgla i skał stanowi jednoczesne wykorzystywanie w organach urabiających maszyn górniczych ciągłych strumieni wody i mechanicznych narzędzi tnących. Istota metody polega na odpowiednim ukierunkowaniu strumienia wody w stosunku do tnącego mechanicznego organu. Pozwala to na zmniejszenie siły niezbędnej do urabiania górotworu.

Podstawowymi zaletami hydromechanicznego sposobu urabiania węgla i słabych skał górniczych jest:

- wzrost użytkowej mocy maszyn urabiających bez zwiększania ich wymiarów i masy, zwiększanie szybkości ich pracy (wydajności) ponad dwukrotnie, przez zmniejszenie sił skrawania na nożach struga od 1,5 do 1,8 razy,
- zmniejszenie zapylenia atmosfery w przodku do wartości nieprzekraczających wartości dopuszczalnych,
- poprawa struktury sortymentowej wydobywanego węgla.

Istnieją trzy grupy hydromechanicznych organów urabiających przystosowanych do małego, średniego i dużego ciśnienia strumienia wody.

Wykorzystanie strumieni wody o małym ciśnieniu w konstrukcjach kombajnów chodnikowych polega na urabianiu masywu skalnego przez noże i strumień wody o ciśnieniu około 4 MPa, skierowany bezpośrednio w strefę urabiania. Doświadczenia w zakresie stosowania takich kombajnów w Wielkiej Brytanii wykazały, że powoduje ona tylko niewielkie zmniejszenie zapylenia przodka i niewielkie zwiększenie żywotności organów skrawających.

Strumienie wody o średnich ciśnieniach w robotach chodnikowych przyczyniają się do znaczącego zmniejszenia zużycia noży, ale nie zapewniają istotnego wzrostu wydajności urabiania górotworu. Dlatego też, podczas drażenia chodników, najlepsze efekty uzyskuje się w przypadku stosowania organów urabiających z równoczesnym wysokociśnieniowym strumieniem wody.

W firmach „Robbins” i „Floy Research” został opracowany, a następnie przetestowany, kombajn chodnikowy wyposażony w obrotowy organ urabiający. Na płycie czołowej kombajnu o średnicy 2 m rozmieszczono dysze stożkowe z kryształu szafiru o średnicy 0,25 mm. Aby wytworzyć wysokociśnieniowe strumienie wodne do 420 MPa zastosowano dwie stacje pomp o mocach po 360 kW. W badaniach wykonanych na skałach granitowych o wytrzymałości na rozciąganie równej wartości jednoosiowego ściskania wynoszącego 235 MPa, wskaźnik penetracji wzrósł o około 1,5 do 2 razy w porównaniu z urabianiem jedynie za pomocą mechanicznych organów urabiających.

Doświadczenia w eksploatacji hydromechanicznych organów urabiających kombajnów chodnikowych pozwoliły na wyodrębnienie podstawowych zalet wynikających z urabiania masywu górniczego, jakimi są:

- rozszerzenie zakresu stosowania kombajnów chodnikowych do twardszych skał (o wytrzymałości na ściskanie 180–240 MPa),
- zmniejszenie sił skrawania o 40–60% i wzrost postępu prac o 60–70%,
- zmniejszenie momentu obrotowego i potrzebnej mocy na organie urabiającym od 1,3 do 2,2 razy,
- zwiększenie szybkości urabiania od 1,5 do 5 razy, bez zwiększania mocy silnika organu urabiającego,
- zmniejszenie mechanicznego zużycia organu urabiającego od 2 do 6 razy,
- przyrost wydajności kombajnu przy pracy w skale pónnej od 1,7 do 2,2 razy, przy zachowaniu masy i gabarytów urządzenia,
- redukcja zapylenia o 70–85% i iskrzenia od 90 do 100%,
- redukcja wibracji,
- obniżenie kosztów drażenia chodników o 30–50%.

3. ZDEFINIOWANIE PROBLEMU

Do efektywnego stosowania w przodku hydromechanicznego urabiania górotworu jest niezbędne wykorzystanie strumieni wody o początkowym ciśnieniu nie mniejszym niż 100 MPa, a w przypadku skały pónnej ciśnienie to powinno mieścić

się w przedziale 200–500 MPa. A więc, kombajn chodnikowy powinien być wyposażony w pompy wysokiego ciśnienia, których moc równa się mocy napędu organu urabiającego, a często ją przekracza.

Duża szybkość wody na wyjściu z dyszy kształtującej strumień powoduje jej znaczne zużycie, przy czym trwałość dyszy szybko maleje wraz ze wzrostem ciśnienia początkowego. Przy ciśnieniu rzędu 70–80 MPa utwardzona dysza służy, np. 200 godzin, a przy ciśnieniu 350 MPa – 3–4 godziny (Poduraew 1974). Trwałość szafirowych i diamentowych dysz jest od 4 do 5 razy większa, ale w związku ze złożonością ich obróbki, nie zawsze uzyskuje się jej optymalny profil.

Dużą trudność sprawia zaprojektowanie instalacji wodnej kombajnu chodnikowego i doprowadzenie wody do organu roboczego i noży. Ekonomicznie uzasadnione straty ciśnienia, w tej instalacji między pompą a dyszami wylotowymi, nie przekraczały 10–15%, co zmusza do stosowania rur o dużych średnicach (w tym również przewodów giętkich).

Wszystkie przedstawione powyżej problemy mogą częściowo albo w całości zostać rozwiązane tylko pod warunkiem doboru technologicznych parametrów cięcia do konkretnych konstrukcji kombajnu chodnikowego lub ścianowego. Zakres zmienności parametrów pracy układu hydromechanicznego zależy od warunków geologiczno-górnicyznych złoża, w którym będzie pracowała dana instalacja.

Podstawowym parametrem technologicznym w hydromechanicznej metodzie urabiania węgla, rozpatrywanym w tej publikacji, jest zależność H_{Δ} stanowiąca głębokość szczeliny wytworzonej przez strumień wody – od głębokości zabioru. Pochodnymi tej zależności są: szybkość przemieszczania się dysz wodnych i noży struga, wielkość wyprzedzenia procesu hydraulicznego nacinania górotworu w stosunku do głowicy struga i bezwzględne wartości głębokości hydroszczelin i głębokości zabioru. Wszystkie te parametry, w różnym stopniu zależą od charakterystyki mechanicznej węgla oraz skał spągu i stropu (Czerepanow 1974).

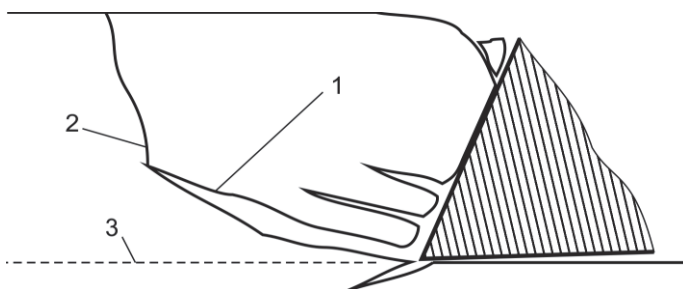
Tak więc, określenie optymalnych wskaźników kierowania pracą hydromechanicznego urządzenia strugowego sprowadza się do doboru wartości ciśnienia strumienia wody działającego na górotwór, wielkości i charakteru wyprzedzenia hydroszczelin w stosunku do głowicy struga, a także od szybkości przemieszczenia się głowicy struga.

4. WYZNACZANIE OPTYMALNYCH CHARAKTERYSTYK NACINANIA GÓROTWORU STRUMIENIEM WODY

Zgodnie z przedstawioną metodą w procesie urabiania są wykorzystywane dwa sposoby niszczenia materiału – jest to cięcie za pomocą struga z wykształceniem elementarnego wióra i uderzeniowe niszczenie strumieniem wody. Fizyka procesu w obu przypadkach ma odmienny charakter, dlatego do określenia stopnia wzajemnego wpływu tych sposobów jest niezbędne przeprowadzenie analizy oddziaływania tych procesów na urabianie węgla i skał.

Uzyskanie wióra przez zastosowanie zwykłego struga ma wystarczająco prosty opis fizyczny, charakterystyczny dla procesu cięcia kruchych materiałów (Czerepanow 1974). W takim przypadku pod działaniem przedniej powierzchni noża,

znajdującej się bezpośrednio przy tnącym brzegu skały, tworzy się system szczelin rozciągających się w kierunku ruchu cięcia (rys. 1).



Rys. 1. Tworzenie się systemu pęknięć przed nożem urządzenia strugowego

Fig. 1. The formation of cracks before the blade of the plane equipment

W początkowym etapie kształtowania się wióra występuje ciągły wzrost siły skrawania, zapewniający równomierny rozwój głównej szczeliny (1). Trwa to do czasu, aż decydujące znaczenie w kształtowaniu elementu wióra będzie miało naprężenie zginające, które wywołuje szybkie zmniejszenie siły cięcia, wskutek oddzielenia tego elementu wióra od powierzchni (2). W następnym etapie występuje oczyszczanie powierzchni skrawania (3) z małych kawałeczków urabianego górotworu. W niektórych przypadkach na powierzchni skrawania ten etap nie występuje na skutek powstawania głównej szczeliny poniżej powierzchni skrawania (3). Tak więc, w układzie „węgiel – strug” destrukcja występuje w postaci kruchego odrywania wióra, wynikającego z procesu rozszerzania się szczeliny pęknięcia wyprzedzającego. Praca wydatkowana na wykształcenie się oddzielanego wióra jest proporcjonalna do powierzchni jego oderwania.

Na podstawie rozważań S.A. Christianowicza można wysnuć wniosek, że podczas tworzenia się elementarnych strużyn ścinanej warstwy węgla zniszczenie odbywa się nie wzdłuż linii maksymalnych stycznych naprężeń, ale wzdłuż linii zerwania, które tworzą się jako otaczające linie poślizgu. Powstające powierzchnie zerwania są geometrycznym zbiorem punktów, które charakteryzują się gwałtownymi zmianami naprężeń. Fizycznie powoduje to powstawanie szczelin.

Wskaźnikiem efektywności procesu skrawania jest energochłonność \tilde{E} , która jest wielkością energii wydatkowanej na jednostkę drogi skrawania. Ogólnie rzecz biorąc zależność tej wielkości od energii kinetycznej struga można zapisać w postaci formuły

$$\tilde{E} = f(U_k, \sigma_s, l) \quad (1)$$

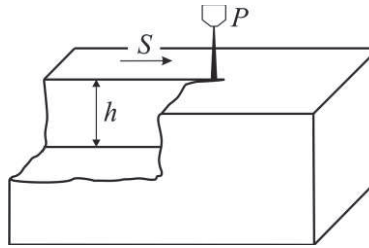
gdzie:

- U_k – energia kinetyczna strugu,
- σ_s – graniczna wytrzymałość węgla na ściskanie,
- l – grubość strużyny.

Przedstawiona zależność funkcyjna ma postać krzywej z kilkoma minimami odpowiadającymi optymalnym wskaźnikom strat energii. Fizycznie taki przebieg funkcji można wytłumaczyć w następujący sposób: przy małych wartościach energii

kinetycznej U_k , wartość \tilde{E} jest duża (proces nie jest efektywny), wraz ze wzrostem energii kinetycznej energochłonność procesu skrawania maleje aż do punktu minimum. Przy dalszym wzroście U_k wartość \tilde{E} znowu zaczyna wzrastać i przy naprężeniach, np. dwukrotnie przewyższających pierwszą optymalną wartość, osiąga drugie minimum.

Proces nacinania szczelin w górotworze strumieniem wody o dużym ciśnieniu (rys. 2) jest zależny od: P – ciśnienia wody i średnicy otworów tworzących dysze, S – prędkości przemieszczania się dysz względem górotworu, odległości między dyszami wodnymi a górotworem, liczby „przejazdów” strugi wody oraz wytrzymałości mechanicznej górotworu (Brener 2006).



Rys. 2. Schemat procesu nacinania górotworu strugą wody o dużym ciśnieniu

Fig. 2. The scheme of the process of undercutting the rock mass with the high pressure water stream

Średnica dyszy formującej strumień wody, odległość między dyszą a powierzchnią skały i liczba przejazdów strumienia są to parametry, które albo w nieznacznym zakresie, albo wcale nie poddają się regulacji. Dlatego też, w dalszych rozważaniach, nie uwzględniono ich znaczenia.

Nacinanie skały strumieniem wody odbywa się pod działaniem siły skierowanej prostopadle do nacinanej powierzchni, a podstawowymi naprężeniami powodującymi powstawanie szczeliny są składowe normalne. Samo nacięcie nie powoduje powstania szczelin lub stref deformacji plastycznej w górotworze, a skała jest niszczone natychmiast na całym obszarze przyłożenia obciążenia, bez powodowania efektu krawędziowego. Dlatego też ciśnienie wody, niezbędne do wykonania nacięcia, jest wprost proporcjonalne do granicznej wytrzymałości materiału na jednoosiowe ściskanie. Konieczne jest więc określanie wpływu ciśnienia wody na głębokość szczeliny (Gołowin 2005). Badania zmian ciśnienia wody w granicach od 100 do 500 MPa, przy prędkości przemieszczania się dyszy wzdłuż powierzchni skały wynoszącej 25 mm/s wykazały, że wzrost ciśnienia wody prowadzi do zwiększenia głębokości szczeliny sześciokrotnie w skałach o wytrzymałości na jednoosiowe rozciąganie wynoszące 85 MPa i powyżej, w przypadku skał o wytrzymałości na jednoosiowe rozciąganie wynoszącej 30 MPa głębokość ta wzrosła 29 razy. Różnica głębokości wyniosła od 3 do 87 mm. Sugeruje to, że z technologicznego punktu widzenia najbardziej racjonalne głębokości nacinania strumieniem wody powinny mieścić się w granicach 30–40 mm.

Z uwagi na techniczne możliwości stosowania metody, za najważniejsze należy uznać określenie optymalnej szybkości przemieszczania się dyszy ze strumieniem

wody w stosunku do skały. Wyniki badań (Brener 2006; Gołowin 2005) wykazały, że w całym przedziale zakresu ciśnień wody zwiększenie prędkości przemieszczania się dysz w stosunku do skały powoduje zmniejszenie głębokości szczeliny h .

Z kolei, szybkość przemieszczania się dyszy do cięcia strumieniem wody V może stać się ograniczeniem w praktyce, wyznaczono więc eksperymentalnie (Brener 2006) zależności między V oraz wartościami ciśnienia wody i właściwościami wytrzymałościowymi skał. Formuła ta przedstawia się następująco:

$$V = P^2(\sigma_s 10^{-2} - 0,9)10^{-3} - \sigma_s(6,5P - 0,84) + 0,57P - 50,98 \quad (2)$$

gdzie:

P – ciśnienie wody,

σ_s – graniczna wytrzymałość skały na ściskanie.

Do określania parametrów wyprzedzającego cięcia, przy wykorzystaniu hydro-mechanicznego urządzenia strugowego, wykorzystano wyniki badań podane w publikacji Kostandowa (2008). Były to wyniki badań wpływu różnych kombinacji wzajemnego położenia noży struga na energochłonność procesu urabiania.

W przypadku urabiania skały o dużych wartościach parametrów wytrzymałościowych kilkoma nożami, otrzymano, jak należało się spodziewać, znaczny wzrost siły skrawania w porównaniu do skrawania pojedynczym nożem. Jednak wartość sił skrawania dla kilku noży nie jest prostą sumą wartości sił poszczególnych noży. Różnica wartości sił skrawania dla kilku noży pracujących razem w porównaniu do sumy sił mieściła się w przedziale 10–15%. Wynika z tego ważna konkluzja dotycząca cięcia materiałów przez kilka noży, a mianowicie maksymalna wydajność cięcia występuje w przypadku superpozycji NDC utworzonej przez tylne i wyprzedzające noże. Warunek ten jest spełniony wtedy, kiedy noże przednie wyprzedzają tylne o długość równą odległości od swobodnej krawędzi do punktu załamania linii, wzdłuż której następuje urabianie górotworu. Zakładając jednakowe głębokości skrawania, w konsekwencji uzyskuje się, w przybliżeniu, jednakowe wartości postępu i głębokości ścinania.

Do oceny efektywności wyprzedzającego cięcia wykorzystano zredukowaną energochłonność urabiania skały \tilde{E}_z określoną wzorem (Kostandow 2006)

$$\tilde{E}_z = \tilde{E}/\tilde{E}_{\min} \quad (3)$$

gdzie:

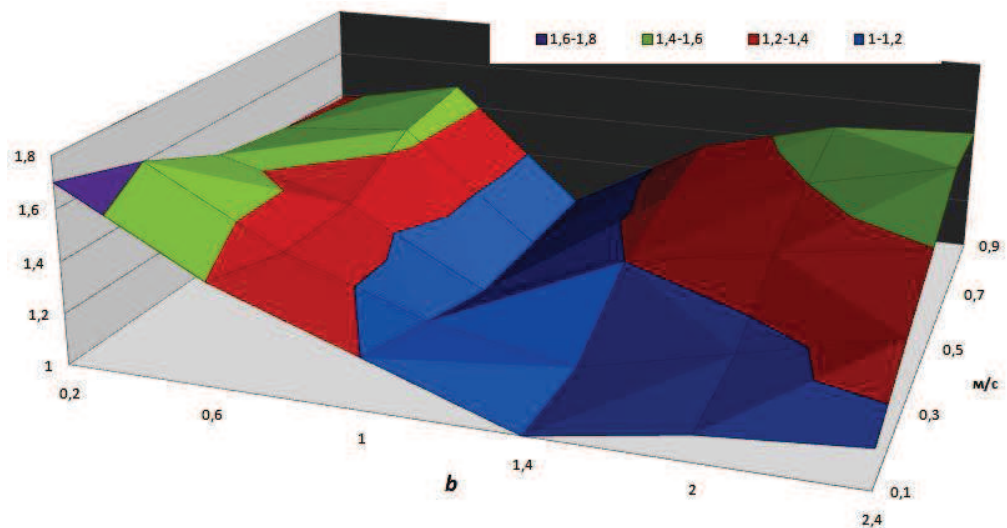
$$\tilde{E} = \frac{E}{hl} = \frac{1}{hl} \int_{l_0}^{l_1} F(l) dl = \frac{V_s}{hl} \int_{t_0}^{t_1} F(t) dt,$$

\tilde{E}, E – odpowiednio właściwe i całkowite straty energii podcinania,

\tilde{E}_{\min} – możliwe do uzyskania minimalne straty energii podcinania,

$F(t), F(l)$ – siły skrawania w funkcji czasu i długości cięcia,

V_s, h, l – odpowiednio prędkość, głębokość i długość wykonanego skrawu.



Rys. 3. Zależność uzyskanej energochłonności urabiania od prędkości podcinania i wzajemnego stosunku b odległości wyprzedzenia i głębokości brzozy

Fig. 3. The dependence of the obtained specific energy consumption of mining and the intensity of undercutting as well as the mutual relation b of overtaking distance and groove depth

Na rysunku 3 przedstawiono trzy minima specyficznej energochłonności urabiania górotworu, mieszczące się w granicach wartości parametru b od 0,9 do 1,38. Przy czym wraz ze wzrostem szybkości skrawania, dla wartości tego parametru w granicach od 0,2 do 0,4 obserwuje się zmniejszenie energochłonności zniszczenia materiału. Może to być wykorzystane przy doborze optymalnych wskaźników prowadzenia procesu skrawania.

Jak wykazano powyżej, na żadnym etapie niszczenia, przy wykorzystaniu struga hydromechanicznego, nie występują odkształcenia plastyczne, do kolejnego wyjaśnienia procesu może być więc wykorzystana liniowa mechanika pęknięć.

Przy wykorzystaniu konwencjonalnego struga powstawanie pęknięć, dzięki którym odbywa się skrawanie węgla, dochodzi do skutku na podstawie dwóch składowych: przemieszczania się brzegów pęknięcia wzdłuż normalnej do pierwotnej powierzchni i deformacji i przesuwania się frontu szczeliny. Często zdarza się, w przypadku krzywoliniowego frontu szczeliny, że właściwości naprężeń różnią się (Broek 1980).

Całka energii, inaczej J całka Czerepanowa-Rice, nie zależy od wyboru konturu całkowanego i dlatego nosi nazwę niezmienną. Dla rozpatrywanego przypadku oznaczono przez J_x całkę w przypadku wzrostu szczeliny w kierunku osi przemieszczania się struga, a przez J_y całkę dla przyrostu długości szczeliny w kierunku prostopadłym do osi ruchu. Wtedy kierunek wzrostu szczeliny od powierzchni jest zgodny z kierunkiem wektora sumarycznej zmiany energii J , którego składniki można określić formułą:

$$J_x = \frac{(1+\nu)(1+k)}{4E} (K_I^2 + K_{II}^2)$$

$$J_y = \frac{(1+\nu)(1+k)}{2E} K_I K_{II} \quad (4)$$

gdzie:

- K_I, K_{II} – współczynniki zdeformowania szczelin,
- $k = 3 - 4\nu$ – dla płaskiej deformacji,
- $k = (3 - \nu)/(1 + \nu)$ – dla płaskiego stanu naprężenia,
- ν – współczynnik Poissona,
- E – moduł sprężystości.

Biorąc pod uwagę pełny zakres strat energii podczas pracy struga hydromechanicznego i ustalając związek między podstawowymi charakterystykami niszczenia materiału z zastosowaniem różnych sposobów, można ustalić następującą zależność funkcyjną

$$\tilde{E}_{II} = \frac{K_{II}^{0,57} V (0,92 - nSl)}{K_I V_s l_s} = \frac{K_{II}^{0,57} V (\frac{0,92}{l} - nS)}{K_I V_s} H_{\Delta} \quad (5)$$

gdzie:

- S – wielkość wyprzedzenia cięcia,
- V_s – szybkość przemieszczania się organu urabiającego,
- l_s – głębokość cięcia organu urabiającego,
- n – liczba przemieszczeń strumienia wody przy nacinaniu wyprzedzającym.

5. WNIOSKI

Czynnikiem decydującym o wyborze optymalnej charakterystyki struga hydromechanicznego jest wartość ciśnienia strugi wody. W takim przypadku bilans zużycia energii na jednostkę urobionego węgla dąży do minimum minimum w zakresie wartości H_{Δ} mieszczącym się w zakresie od 0,8 do 1,3. Jednakże, z technologicznego punktu widzenia nie ma to sensu z powodu zbyt dużych bezwzględnych wartości strat energii. Dlatego też, najlepszy do zaakceptowania jest przedział wartości H_{Δ} od 0,2 do 0,4. Wytrzymałościowe charakterystyki węgla i skały mają tym większy wpływ na charakterystyki strugania, im większa jest ta różnica. Wpływ wytrzymałości węgla i skał ma charakter nieliniowy z maksimum w dolnych bezwzględnych różnicach ich wartości.

Tak więc, funkcja ta może mieć zastosowanie w sterowaniu procesem wydobywania węgla z zastosowaniem hydromechanicznego struga, w szerokim zakresie warunków geologiczno-górnictwowych, z wykorzystaniem automatycznych systemów zarządzania produkcją, ponieważ umożliwia precyzyjne posługiwanie się ustalonymi jego cechami.

Literatura

1. Brener W.A. (2006): Rezul'taty issledowanij processa razruszenija gornych porod strujami wody swerchwyssokogo dawlenija. W: W.A. Brener, A.B. Žabin, A.W. Poljakow: Gornoe oborudowanie i elektromechanika nr 6, s. 29–32.
2. Broek D. (1980): Osnowy mechaniki razruszenija. Wysszaja szkoła, s. 368.
3. Czerepanow G.P. (1974): Mechanika chrupkogo razruszenija. Nauka, s. 640.
4. Gołowin K.A. (2005): Ustanowlenie wlijanie dawlenia wody na effektivnost' processa razruszenija gornych porod strujami wody swerchwyssokogo dawlenija. W: K.A. Gołowin, A.W. Poljakow, A.E. Puskarew: Materiały II Meždunarod. Konf. Po problemam gornoj promyslennosti, stroitel'stwa i energetiki, Tuła, s. 33–35.
5. Kostandow Ju.A. (2006): Osobennosti powedenija materialow pri instrumental'nom rezanii. W: Dinamiczeskie sistemy, Wyp. 21, s. 107–114.
6. Kostandow Ju.A. (2008): Wlijanie parametrov dinamiczeskogo wozdejstwija na razruszenie gornych porod. W: Dinamiczeskie sistemy, Wyp. 24, s. 121–131.
7. Poduraew W.N. (1974): Rezanie trudnoobratywaemych materialow. Wysszaja szkoła, s. 587.