ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994
Seria: AUTOMATYKA z. 113 Nr kol. 1246

Stanisław KOWALIK

PODEJMOWANIE DECYZJI ZMNIEJSZAJĄCYCH RYZYKO W GÓRNICTWIE PRZY WYKORZYSTANIU TEORII GIER

Streszczenie. Praca dotyczy określania decyzji bezpiecznych przy wykorzystaniu teorii gier niekooperacyjnych. Decyzja bezpieczna ma zagwarantować możliwie najmniejszy poziom ryzyka górników. Partnerem naszym w tej grze jest Natura. Natura może stwarzać sytuacje niebezpieczne dla górników pracujących pod ziemią w kopalni. Naszym zadaniem jest tak zorganizować pracę przez odpowiedni wybór strategii działania, aby uniknąć tych niebezpieczeństw albo zagwarantować górnikom odpowiednio małe ryzyko pracy. Celem tej publikacji jest wskazanie, że do tak ważnego czynnika związanego z pracą górnika jak ryzyko można zastosować teorie gier.

DECISION MAKING FOR MINIMIZATION THE RISK OF MINING USING THE GAME THEORY

Summary. The paper concerns determining safe decisions using noncooperative game theory. Safe decision is to guarantee the lowest possible risk level of miners' work. Nature is our partner in this game. It may create dangerous situations for miners working in an underground mine. Our task is to organize work properly by a suitable choice of operation strategies so as to avoid these dangers ot to guarantee miners the lowest possible work risk. The object of this work is to show that game thepry can be used forsuch an important factor connected with a miner's job as risk.

ПРИЯТИЕ РЕШЕНИЙ УМЕНЬШАЮЩИХ РИСК В УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕОРИИ ИГР

Резюме. Работа относится к определению безопасных решений при использовании теории некооперативных игр. Безопасное решение должно обеспечить наименьший уровень риска работы шахтеров. Нашим партнером в данной игре является Природа. Природа может создавать опасные для работающих под землей горняков, ситуации. Нашим заданием является выбрать соответствующую стратегию действия, и таким образом так организовать работы, чтобы избежать этих опасностей, или обеспечить горнякам соответственно малый риск работы. Целью настоящей работы является показать, что по отношению к столь существенному фактору связанному с работой горняков как риск, можно применять теорию игр.

1. WSTĘP

Górnik pracujący na dole w kopalni spotyka sie z różnymi zjawiskami niebezpiecznymi dla niego. Mogą to być wstrząsy podziemne, wycieki wody, ulatnianie się gazu itp. Takie zjawiska związane z jego pracą są niebezpieczne dla jego zdrowia lub życia. Tych zjawisk nie można przewidzieć dokładnie. Tak więc górnik spotyka się z pewnym ryzykiem będąc pod ziemią. Zjawiska te zależą od otaczającej przyrody, tj. struktury geologicznej, warunków panujących w kopalni itp. Przyrodę będziemy ogólnie nazywali Naturą i będziemy ją traktowali jak naszego przeciwnika, który utrudnia pracę i stwarza ryzyko dla górników. Będziemy z Naturą prowadzili grę. Celem naszym będzie zmniejszenie ryzyka związanego z różnymi decyzjami, które podejmowane są w kopalni. Jako cel dla Natury traktować będziemy zwiększenie tego ryzyka. Naszym zadaniem będzie podejmować takie decyzje, aby wpływ Natury możliwie maksymalnie wyeliminować, a przez to zabezpieczyć sobie odpowiednio niski poziom ryzyka. Spotykamy się tutaj z sytuacją konfliktowa, gdzie interesy obydwu przeciwników są sprzeczne. My ze swej strony możemy podjąć różne decyzje związane z działalnością górniczą. Przyjmujemy, że Natura też podejmie pewne decyzje stwarzając sytuacje niebezpieczne. Różnego rodzaju zjawiska niebezpieczne będziemy utożsamiali z decyzjami Natury powodującymi zwiększenie ryzyka. Wynik naszego działania zależy w równym stopniu od nas, jak i od Natury. Między nami a Naturą jest konflikt interesów. Sytuacji konfliktowych w życiu jest bardzo wiele. Mogą one dotyczyć rodzaju uczestników, takich jak np. jednostki, grupy, organizacje, społeczeństwa. Sytuacje konfliktowe mogą występować w odniesieniu do rodzaju działań, np. współzawodnictwo sportowe, walki zbrojne, konkurencja ekonomiczna,

działania dyplomatyczne. Konflikt może też dotyczyć charakteru dóbr, jak np. dobra materialne, władza, prestiż. Może on występować w innym kontekście, jak np. nieporozumienia małżeńskie, napięte stosunki międzyludzkie w zakładzie pracy. Może to też być konflikt przekonań, konflikt wartości itp. [8].

My w swej pracy będziemy zajmowali się konfliktem interesów w kopalni, w którym jedną stroną będzie Natura reprezentowana przez górotwór, a drugą stroną górnicy operujący na tym górotworze. Ceną albo wartością gry pomiędzy Naturą a ludźmi będzie ryzyko górników pracujących na dole. Celem tej pracy jest rozważenie sytuacji konfliktowych. Sytuacje, w których cele partnerów są zgodne, nas nie interesują. Zjawiska niebezpieczne występujące w kopalni są skierowane przeciwko górnikom, a naszym zadaniem będzie podejmowanie decyzji minimalizujących ryzyko związane z ich występowaniem.

2. DECYZJE ORAZ MACIERZ RYZYKA

Wszelkie nasze działania oraz działania Natury będą określały pewne decyzje. Te decyzje będą dotyczyły wyboru strategii działania. W terminologii teorii gier decydent podejmujący działania na dole w kopalni nazywamy jest jednym graczem, a Natura, w tym przypadku górotwór, drugim graczem [7], [9].

Przykład 1

Niech gracz 1, tzn. my, mamy do dyspozycji dwie strategie:

1. Wiercimy otwór w ścianie węglowej w ustalonym miejscu,
2. Wiercimy otwór o 50 metrów dalej.

Gracz 2, tj. Natura, ma następujące strategie:

1. W otworze pojawi się wyciek wody,
2. Z otworu zacznie wydobywać się gaz.

My przy wyborze naszej strategii musimy wziąć pod uwagę możliwość występowania tych zjawisk niekorzystnych. Innymi słowy należy kierować się wielkością ryzyka pracujących górników dla każdej naszej strategii w odniesieniu do sytuacji niebezpiecznych określonych strategiami Natury. Ten stopień ryzyka będziemy określali w procentach. Np. 0% oznacza, że dane zjawisko niekorzystne w określonej naszej strategii nie wystąpi, czyli ryzyko górników ze względu na to niekorzystne zjawisko nie występuje.

Aby zilustrować to zagadnienie, przyjmujemy konkretne wartości liczbowe w naszej przykładowej grze. Nasze strategie oznaczamy symbolami A_1, A_2, a strategie Natury B_1, B_2.

$$\text{My} \quad \begin{array}{c c} & \text{Natura} \\ & \begin{array}{cc} B_1 & B_2 \end{array} \\ \begin{array}{c} A_1 \\ A_2 \end{array} & \begin{bmatrix} 5 & 0 \\ 10 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

Otrzymaną tablicę nazywamy macierzą ryzyka. W teorii gier taką tablicę nazywa się macierzą wypłat. Analizując liczby w tej macierzy stwierdzamy, że:

1. Gdy zastosujemy strategie A_1, tzn., że wiercimy pierwszy otwór, to
   a) w otworze może pojawić się woda, ale prawdopodobieństwo pojawienia się wody jest bardzo małe. Ryzyko związane z tym jest małe i wynosi 5%;
   b) z otworu nie będzie wydobywał się gaz. Ryzyko górników pod tym względem wynosi 0%.
2. Gdy zastosujemy strategie A_2, tzn. wiercimy otwór 50 metrów dalej
   a) w otworze może pojawić się woda, ale ryzyko jest duże i wynosi 10%,
   b) szansa na pojawienie się gazu jest minimalna. Ryzyko wynosi 1%.

W teorii gier taką tablicę nazywa się macierzą wypłat dla gracza drugiego. Wartości podane w tej macierzy gracz pierwszy płaci graczowi drugiemu. Graczowi drugiemu zależy na maksymalizowaniu wygranej. Gracz pierwszy stara się, aby straty jego były jak najmniejsze.

3. PUNKT SIODŁOWY I ZASADA MINIMAKSU (MAKSYMINU)

Przy wyborze decyzji A_1 lub A_2 kierujemy się zasadą, aby jak najmniej stracić. W przypadku decyzji A_1 ryzyko górników wynosi 5%, gdy Natura podejmie decyzję B_1 lub 0%, gdy Natura podejmie decyzję B_2. Bardziej niesprzyjającą sytuacją dla nas jest wystąpienie ryzyka 5%. Wybieramy więc tę liczbę. Jest to największe ryzyko dla decyzji A_1. Co przez to osiągnęliśmy? Stwierdzamy, że decyzja A_1 jest lepsza, bo gwarantuje nam ryzyko nie większe niż 5% niezależnie od zastosowanych decyzji B_1, B_2 Natury. To ryzyko może być mniejsze (=0%), gdyby Natura zastosowała decyzję B_2. Decyzja A_2 gwarantuje nam jedynie ryzyko nie większe niż 10%. Decyzję A_1 nazywamy w tym przypadku strategią minimalizującą wielkość ryzyka dla gracza pierwszego, tzn. dla nas. Liczbę 5 oznaczamy przez V_1 i nazywamy górną ceną lub wartością gry.

Zajmiemy się teraz graczem drugim, tj. Naturą. Zakładamy, że Natura działa na naszą niekorzyść. Stosując decyzję B_1 Natura pozwoli nam osiągnąć minimalne ryzyko 5%, a stosując B_2 0%. Z tych dwóch liczb wybieramy większą, tj. 5% występującą przy decyzji B_1. Z punktu widzenia Natury decyzja B_1 jest lepsza, bo pozwala osiagnąć wielkość ryzyka 5% - mniej nie, niezależnie od zastosowanych przez nas decyzji A_1 czy A_2. Stosując decyzję B_1 Natura mogłaby osiagnąć rezultat jeszcze lepszy dla niej, tj 10%, gdybyśmy nie zastosowali swojej wybranej strategii A_1, lecz A_2. Liczbę 5 wybraną ze strategii B_1 oznaczamy przez V_2 i nazywamy dolną ceną gry.

Jeżeli $V_1 = V_2$, to element macierzy leżący na skrzyżowaniu wybranych strategii A_1 i B_1 nazywa się punktem siodłowym gry. Termin ten został zaczerpnięty z teorii gier. Jest to element, dla którego wszystkie pozostałe liczby w wierszu macierzy są nie większe i jednocześnie wszystkie liczby w kolumnie są nie mniejsze od jego wartości [1], [3], [4], [9].

Przejdziemy teraz do ogólnego omówienia poszukiwania punktu siodłowego dla macierzy poziomów bezpieczeństwa o wymiarach m - wierszy i n - kolumn. Dana jest macierz $\{a_{ij}\}$, gdzie i = 1,...,m; j=1,...,n. Dla gracza pierwszego, tzn. dla nas, stosujemy zasadę minimaksu. Mówi ona, że górną cenę gry należy obliczyć według wzoru

$$V_1 = \min_i \max_j \{a_{ij}\} \qquad \text{dla } i=1,...,m;\ j=1,...,n \qquad (1)$$

Strategię wyznaczoną w ten sposób nazywa się minimaksową dla gracza pierwszego. Dla gracza drugiego, tj. dla Natury stosujemy zasadę maksyminu. Mówi ona, że dolną cenę gry należy obliczyć według wzoru

$$V_2 = \max_j \min_i \{a_{ij}\} \qquad \text{dla } i=1,..,m;\ j=1,..,n \qquad (2)$$

Strategia wyznaczona w ten sposób nazywa się maksyminowa dla gracza drugiego. Jeżeli $V_1 = V_2$, to gra posiada punkt siodłowy, a gracze powinni stosować strategie wyznaczone przez ten punkt. W tym przypadku strategie maksyminowa i minimaksowa są strategiami bezpiecznymi dla graczy. Ceną gry jest tutaj liczba $V=V_1=V_2$. Według terminologii Steinhausa [1] takie gry nazywamy zamkniętymi. Natomiast gdy $V_1 \neq V_2$, to gry nazywamy otwartymi.

W naszym przykładzie punkt siodłowy występuje. Cena gry wynosi $V=V_1=V_2=5\%$. Strategią bezpieczną dla nas jest A_1, a dla Natury B_1. Oznacza to, że powinniśmy podjąć decyzję o wierceniu otworu w pierwszym wyznaczonym miejscu. Mamy tu pewną przewagę nad Naturą, ponieważ Natura może nie zastosować swojej bezpiecznej decyzji B_1, lecz B_2. Wtedy uzyskamy poziom ryzyka wynoszący 0%. Gdyby Natura potrafiła rozumować tak jak my, to na pewno wybrałaby strategię B_1.

4. ZASADA DOMINACJI

Może się okazać, że pewne strategie są lepsze. Pozwalają osiągnąć większy zysk niezależnie od posunięć przeciwnika. Analizując nasz przykład widzimy, że strategia A_1 jest lepsza od A_2, ponieważ odpowiednie liczby wiersza pierwszego macierzy wypłat mają mniejsze wartości niż wiersza drugiego. W przypadku wystąpienia strategii B_1 jest $5 < 10$, a w przypadku wystąpienia strategii B_2 jest $0 < 1$. Mówimy wtedy, że strategia A_2 jest zdominowana przez strategię A_1. Strategię dominującą A_1 zostawiamy, a strategię zdominowaną eliminujemy.

Rozważymy to teraz z punktu widzenia Natury. Strategią lepszą dla Natury jest ta, która zawiera większe liczby przy porównaniu z inną strategią. Dla Natury lepszą strategią jest B_1, ponieważ

- w przypadku użycia przez nas strategii A_1 jest $5 > 0$,
- w przypadku użycia przez nas strategii A_2 jest $10 > 1$.

Strategią dominującą jest B_1, a zdominowaną B_2. Rozważania te doprowadziły do tego samego rezultatu co poprzednio, że bezpiecznymi strategiami są A_1 i B_1.

Zapiszemy to teraz w postaci ogólnej dla macierzy o m wierszach i n kolumnach. Mówimy, że strategia A_k dominuje nad strategią A_l gracza pierwszego, gdy

$$\forall_j \; a_{kj} \le a_{lj} \qquad (j=1,\dots,n) \tag{3}$$

Mówimy, że strategia B_r dominuje nad strategią B_s Natury, gdy

$$\forall_i \; a_{ir} \ge a_{is} \qquad (i=1,\dots,m) \tag{4}$$

Zasada dominacji pomaga upraszczać gry eliminując z rozważań strategie, które nie będą używane.

Przykład 2

Dana jest następująca macierz ryzyka

$$\begin{array}{cc} & \text{Natura} \\ & \begin{array}{ccc} B_1 & B_2 & B_3 \end{array} \\ \text{My} \begin{array}{c} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{array} & \begin{bmatrix} 25 & 0 & 35 \\ 20 & 30 & 10 \\ 15 & 0 & 5 \end{bmatrix} \end{array}$$

Strategia A_3 dominuje nad naszymi strategiami A_1 i A_2. Natomiast Natura nie posiada strategii dominującej. My wybieramy więc strategię A_3 jako bezpieczną. Gwarantuje nam ona ryzyko < 15%. Gdyby Natura potrafiła analizować tę macierz tak jak my, to zastosowałaby strategię B_1 przeciw naszej A_3. Gdy zastosuje inną, to my zyskamy. W przypadku zastosowania B_2 ryzyka nie będzie, a gdy B_3, to 5%.

5. STRATEGIE MIESZANE

Te strategie stosujemy do gier nie posiadających punktu siodłowego. Musimy mieć przy tym jednocześnie możliwość wielokrotnego rozgrywania gry i pewność powtarzalności sytuacji.

Przykład 3

Dana jest macierz

$$\begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cc} B_1 & B_2 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 40 & 10 \\ 0 & 20 \end{bmatrix} \end{array}$$

Strategii dominujących tu nie ma. Obliczamy górną i dolną cenę gry.

$$V_1 = \min_i \max_j \{a_{ij}\} = \min(40,20) = 20 \tag{5}$$

$$V_2 = \max_j \min_i \{a_{ij}\} = \max(0,10) = 10 \tag{6}$$

Okazuje się, że $V_1 \neq V_2$. Strategią minimaksowa jest strategia A_2, a strategią maksyminową jest strategia B_2. Stosując naszą strategię A_2 przeciw strategii B_2 dostajemy wielkość ryzyka równą 20%. Czy nie da go się jednak zmniejszyć, skoro cena gry zawiera się między 20% a 10%?. Gdyby tę grę można było przeprowadzać wielokrotnie, to nie zawsze musielibyśmy stosować strategię A_2. Zastosowanie strategii A_1 przeciw B_2 daje nam ryzyko 10%. Zachodzi pytanie: Jak często zmieniać poszczególne strategie? Dla gier typu 2 x 2, tzn. takich, gdzie występuje dwóch graczy i każdy z nich ma dwie strategie, zagadnienie ma proste rozwiązanie. Opiera się ono na następującym twierdzeniu [1].

Twierdzenie

Składowe optymalnej strategii partnera 1 (2) są odwrotnie proporcjonalne do bezwzględnych wartości różnic elementów odpowiednich wierszy (kolumn) macierzy.

Powracamy do przykładu 3. Znajdujemy bezpieczną strategię mieszaną składającą się ze strategii A_1 i A_2. Obliczamy różnice bezwzględne elementów w wierszach macierzy.

$$\begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cc} B_1 & B_2 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 40 & 10 \\ 0 & 20 \end{bmatrix} \end{array} \begin{array}{c} \\ 30 \\ 20 \end{array}$$

Są to liczby 30 i 20. Częstotliwość występowania strategii A_1 i A_2 jest odwrotnie proporcjonalna do tych liczb. Znaczy to, że na 50 rozegranych gier gracz 1 powinien zastosować 20 razy strategię A_1 i 30 razy strategię A_2. Kolejność występowania tych strategii jest zupełnie przypadkowa.

Sprawdzamy teraz, jak to się ma dla drugiego gracza dysponującego strategiami B_1 i B_2.

$$\begin{array}{c c} & \begin{array}{cc} B_1 & B_2 \end{array} \\ \begin{array}{c} A_1 \\ A_2 \end{array} & \begin{bmatrix} 40 & 10 \\ 0 & 20 \end{bmatrix} \\ & \begin{array}{cc} 40 & 10 \end{array} \end{array}$$

Odejmując elementy w kolumnach macierzy i biorąc ich moduły otrzymujemy liczby 40 i 10. Częstotliwość występowania strategii B_1 i B_2 jest odwrotnie proporcjonalna do tych liczb. Oznacza to, że na 50 gier należy zastosować 10 razy strategię B_1 i 40 razy strategię B_2.

Obliczamy cenę tej gry.

a) Jeżeli gracz 1 stosuje strategię mieszana przeciw strategii B_1

$$V = (2/5) * 40 + (3/5) * 0 = 16 + 0 = 16$$

b) Jeżeli gracz 1 stosuje strategię mieszaną przeciw strategii B_2

$$V = (2/5) * 10 + (3/5) * 20 = 4 + 12 = 16$$

c) Jeżeli gracz 2 stosuje strategie mieszaną przeciw strategii A_1

$$V = (1/5) * 40 + (4/5) * 10 = 8 + 8 = 16$$

d) Jeżeli gracz 2 stosuje strategie mieszana przeciw strategii A_2

$$V = (1/5) * 0 + (4/5) * 20 = 0 + 16 = 16$$

Cena gry jest więc jednakowa dla obydwu partnerów. Porównując tę liczbę z ceną $V_1 = 20$ zagwarantowaną przez strategię minimaksową widzimy, że zastosowanie strategii mieszanej pozwoliło nam zmniejszyć ryzyko o 4%. Była to interpretacja częstotliwościowa strategii mieszanej. Podamy teraz interpretację udziałową strategii mieszanej.

Przykład 4

Kopalnia ma zainstalować swój kapitał w obiekt O_1 lub obiekt O_2, przy czym dochodowość tej inwestycji zależy od tego, czy nastąpią warunki W_1 lub W_2 zgodnie z podaną macierzą wypłat.

$$\begin{array}{c c} & \begin{array}{cc} W_1 & W_2 \end{array} \\ \begin{array}{c} O_1 \\ O_2 \end{array} & \begin{bmatrix} 55 & 15 \\ 20 & 30 \end{bmatrix} \end{array}$$

Zagadnienie to traktujemy jak grę dwuosobową. Kopalnia może sobie zagwarantować minimalny zysk wynoszący 15%, gdy zainwestuje kapitał w obiekt O_1 lub 20%, gdy zainwestuje w obiekt O_2. Kopalnia ma też trzecie wyjście. Część kapitału może zainwestować w obiekt O_1, a resztę w O_2. Pytanie, jakie się nasuwa, to w jakich proporcjach? Kopalni zależy w tym przypadku na maksymalizacji zysku. Podobnie jak w przykładzie 3 obliczamy częstotliwość występowania strategii O_1 i O_2. Otrzymujemy następujące liczby

$$\text{dla } O_1 : |20-30| = 10$$

$$\text{dla } O_2 : |55-15| = 40$$

Należy więc zainwestować 1/5 część kapitału w obiekt O_1 i 4/5 kapitału w obiekt O_2. Zysk, jaki uzyskamy, gdy zostaną spełnione warunki W_1, wynosi

$$V = (1/5) * 55 + (4/5) *20 = 11+ 16 = 27$$

Przy zajściu warunków W_2 zysk wyniesie

$$V = (1/5) * 15 + (4/5) * 30 = 3 + 24 = 27$$

Zastosowanie strategii mieszanej spowodowało, że minimalny gwarantowany zysk będzie większy.

Przypadki, gdy gra nie posiada punktu siodłowego i rozgrywana jest tylko jeden raz, będą przedmiotem badań i analiz, a ich wyniki zostaną opublikowane. Dotychczas dla tych sytuacji stosuje się wyłącznie strategię bezpieczną.

6. ZAKOŃCZENIE

W pracy tej wykorzystano jedynie niektóre elementy teorii gier. Do wyznaczania ryzyka związanego z pracami dołowymi górników wzorowano się na grach dwuosobowych o sumie zerowej. Określono sposób znajdowania strategii minimaksowych i maksyminowych i związanych z nimi górną i dolną ceną gry. Dla gier, w których przeciwnicy mają do dyspozycji po dwie strategie, przedstawiono sposób znajdywania strategii mieszanej. Strategie mieszane zilustrowano na przykładach za pomocą interpretacji częstotliwościowej i udziałowej.

W pracy skoncentrowano się na tych podstawowych elementach teorii gier, ponieważ inne i bardziej skomplikowane gry wykraczają poza ramy przewidziane przez autora w tej publikacji. Celem tej pracy było wskazanie, że do tak ważnego czynnika związanego z pracą górnika jak ryzyko można zastosować teorię gier. Odpowiednie wykorzystanie tej teorii pomaga w podjęciu bezpiecznych strategii działania, a przez to zmniejsza ryzyko związane z pracą.

LITERATURA

[1] Kofler E.: Wstęp do teorii gier. PZWS, Warszawa 1963.
[2] Lesz M.: Ekonomiczne gry decyzyjne. PWE, Warszawa 1979.
[3] Luce R.D., Raiffa H.: Gry i decyzje. PWE, Warszawa 1964.
[4] Owen G.: Teoria gier. PWN, Warszawa 1975.
[5] Polkowski L.T.: Wstęp do teorii gier. WPW - Politechnika Warszawska, Warszawa 1987.
[6] Potocki Cz., Przybyła H.: Badania operacyjne w górnictwie. Skrypt Politechniki Śląskiej Nr 906, Górnictwo, Gliwice 1980.
[7] Szalek M.: Pojęcia i metody teorii gier. PWN, Warszawa 1963.
[8] Świerniak A.: Podejmowanie decyzji w sytuacjach konfliktowych. Skrypt Politechniki Śląskiej Nr 1420, Automatyka, Gliwice 1988.
[9] Tyszka T.: Konflikty i strategie. WNT, Warszawa 19787.
[10] Williams J.D.: Strateg doskonały. Wprowadzenie do teorii gier. PWN, Warszawa 1965.

Recenzent: Dr hab inż. Andrzej Świerniak

Wpłynęło do Redakcji 9. 07. 1992 r.

Abstract

This paper deals with the use of game theory for decision making to reduce the work risk of miners. The decisions concern the choice of operation strategy which guarantees the lowest possible risk level for miners working underground. Miners meet at work with dangerous situations such as gas escape, water outflow and tremors. In our considerations we are using the noncooperative game theory. Nature is treated as our enemy. In the paper we deal with a conflict of intersts in a mine between Nature represented by rock mass and the miners operating on that rock mass. The price or value of the game between Nature and people is the risk of miners working underground. We treat Nature as our enemy because it creates dangerous phenomena directed against, people, and our task is to make decisions minimizing the risk level. We have at our disposal some operation strategies. Nature can also create dangers of different kind. We want to gain from the game as many advantages as possible whereas Nature defends itself against it and wants to minimize them.

Risk matrix is used for our cissiderations. The elements $\{a_{ij}\}$ of the matrix are items of risk expressed in percentage terms which inform us what risk level is secured for mines while using our "i" strategy and Nature's "j" strategy. The risk matrix in the

game theory is called payment matrix [1], [8], [9]. In the second section an example of such a matrix has been given and the meaning of particular elements has been discussed.

In the third section the way of finding a saddle point of the game has been discussed and minimax (maximin) principle has been presented. It has also been shown how the top and bottom prices of the game are determined. Formulas (1) and (2) show how to calculate the top and bottom prices of the game for risk matrix of m-lines and n-columns. These numbers have been determined for the given example.

In the fourth section like in the works [1], [3], [4], [6], [9] domination principle has been discussed and illustrated by examples. Formulae (3) and (4) which determine dominant and dominated strategies for the matrix of m-lines and n-columns havebeen given.

The fifth section presents the way of finding optimum mixed strategy for two-person games. each person having two pure strategies. Frequency and participation interpretations of the mixed strategy have been presented.

The object of this work is to show that the game theory can be used for such an important factor connected with a miner's job as the risk.