

Andrzej KARBOWNIK, Franciszek POŁOCZEK,
Henryk CHROSZCZ

MOŻLIWOŚCI STOSOWANIA METODY OCEN EKSPERTÓW DO PODEJMOWANIA DECYZJI PROJEKTOWYCH

Streszczenie. Wykazano, że proces projektowania jest w swej istocie procesem podejmowania decyzji. Podkreślono konieczność jasnego formułowania kryteriów dla podejmowania decyzji. Omówiono metodę ocen ekspertów. Przedstawiono dwa przykłady zastosowania tej metody na użytek praktyki projektowej do wyboru najkorzystniejszego wariantu rozwiązania projektowego modelu kopalni i ustalenia jego parametrów oraz do ustalenia kolejności zagospodarowania obszarów perspektywicznych w okręgu węglowym.

1. Wprowadzenie

Proces projektowania jest w całym swym przebiegu procesem podejmowania decyzji zmierzającym do przygotowania podstaw technicznych i ekonomicznych dla podjęcia ostatecznej decyzji inwestycyjnej. Mamy więc do czynienia z procesem decyzyjnym mającym na celu przetworzenie informacji wejściowych w rozwiązanie projektowe lub jego alternatywy stanowiące bazę dla decyzji wyboru alternatywy do realizacji.

W procesie projektowania nowej kopalni podejmuje się ogromną ilość decyzji. Nie wszystkie decyzje mają jednakową wagę oraz jednakowy stopień trudności i odpowiedzialności. Największą wagę posiadają decyzje dotyczące wyboru kierunków inwestowania w zagospodarowanie złóż oraz wyboru wariantu rozwiązania projektowego całego systemu. Podstawą podejmowania decyzji w procesie projektowania są doświadczenia, rozsądek i intuicja projektantów oraz wyniki analiz i obliczeń przeprowadzonych za pomocą stosowanych metod obliczeniowych lub metod optymalizacji. Bardzo istotne jest zachowanie rozsądnej równowagi pomiędzy obydwoimi grupami, nazwijmy ich, czynnikami decyzyjnymi.

Przy podejmowaniu decyzji dąży się do tego, aby umożliwiła ona osiągnięcie zamierzonego celu w stopniu maksymalnym - możemy powiedzieć, że będzie to decyzja optymalna. Podjęcie decyzji optymalnej wymaga przyjęcia określonego kryterium oceny jej skutków. Kryteria podejmowania decyzji mogą mieć różny charakter - mogą to być kryteria ekonomiczne, techniczne, społeczne i inne. Nie dla wszystkich jednak decyzji kryteria te mogą być jasno sformułowane. Dla podejmowania pewnych decyzji konieczne jest zbudowanie odpowiednich modeli abstrakcyjnych. Jeszcze inne decyzje mogą być

zdeteminowane, wpływając z innych wcześniejszych decyzji lub podjętych na wyższych szczeblach hierarchii decyzyjnej. Można wreszcie mówić o decyzjach podejmowanych w oparciu o subiektywny osąd projektanta, który w zasadzie potrafi opisać kryteria jakimi się kierował przy podejmowaniu decyzji, ale nie potrafi ich zapisać w sposób formalny. Podejmowanie tego typu decyzji budzi zazwyczaj wiele kontrowersji, wobec braku formalnego kryterium oceny jednoznacznego dla wszystkich uczestników procesu projektowania. Pewne możliwości dla ominięcia tych niedogodności daje metoda ocen ekspertów, w szczególności przy rozwiązywaniu zagadnień szczególnie ważnych gospodarczo a trudnych do sformalizowanego opisu w formie modelu matematycznego oraz w odniesieniu do zagadnień dotyczących przyrwydowania przyszłości. W metodzie tej można wyróżnić następujące etapy postępowania badawczego: postawienie zadania, sformułowanie ankiety dla ekspertów, zebranie opinii ekspertów, opracowanie wyników. Swe powodzenie w praktycznym stosowaniu metoda zawdzięcza dwom zasadniczym zaletom:

- możliwość uzyskania bardziej wartościowej opinii zespołowej w odróżnieniu od indywidualnej,
 - zapewnienie anonimowości ekspertom, co wyzwala swobodę ich wypowiedzi.
- Istota metody ocen ekspertów polega na usystematyzowanym korzystaniu z istniejących osądów odpowiednio dobranej grupy ekspertów w zakresie żadanego ukierunkowanego problemu, wyrażonego w formie pytań, przy wykorzystaniu odpowiednio sporządzonych kwestionariuszy (ankiet). Grupa ekspertów, biorących udział w badaniach, składa się zazwyczaj z 20-100 osób. Podstawowym warunkiem prowadzenia badań jest brak kontaktu między ekspertami, również po zakończeniu badania, co powoduje, że skład imienny grupy ekspertów pozostaje tylko do wiadomości organizatorów badań. Udział ekspertów w badaniach polega na udzieleniu odpowiedzi (zazwyczaj korespondencyjnie) na sformułowane w ankiecie pytania. Ankiety może być kilka, rozłożonych w czasie w zależności od charakteru problemu i związanej z tym potrzeby kierunkowania badań pod wpływem wyników ocen ekspertów. Nie podaje się tutaj podstaw matematycznych opracowania wyników odpowiedzi ekspertów, natomiast w dalszym ciągu opracowania zostaną krótko zaprezentowane dwa wybrane przykłady zastosowania metody ocen ekspertów do podejmowania decyzji projektowych. Ich zadaniem będzie zobrazowanie korzyści jej stosowania w praktyce, podczas gdy możliwości jej stosowania są daleko większe. Szerokie zastosowanie tej metody pozwoliłoby w pełni wykorzystać doświadczenie i opinie licznych grup pracowników ośrodków naukowo-badawczych, jednostek projektowych i przedsiębiorstw górniczych w szczególności w zakresie kierunkowania rozwoju górnictwa węglowego oraz programowania wyprzedzających badań warunkujących ten rozwój.

Tabela 1

Suma rang poszczególnych kryteriów optymalizacji i pomocnicze obliczenia dla sprawdzenia hipotez

Typ.	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	\bar{X}_4	\bar{X}_5	\bar{X}_6	\bar{X}_7	\bar{X}_8	\bar{X}_9	\bar{X}_{10}	\bar{X}_{11}	
1	Suma rang	143,5	145,5	65,5	127,5	173,0	237,5	242,0	258,5	179,5	214,5	193,0
2	Ocena średniości ostatystyczna	4,783	4,850	2,183	4,250	5,767	7,917	8,067	8,617	5,983	7,150	6,433
3	Odczytka od średniego Δ_1	36,5	34,5	114,5	52,5	7,0	-57,5	-62,0	-78,5	0,5	-34,5	-13,0
4	Wariancja rang G_1	5,06	6,34	5,81	11,0	4,78	4,27	4,45	5,84	6,97	8,81	5,41

$$\sum_{i=1}^{11} \Delta_1^2 = 33110; \quad \sum_{i=1}^{11} \sigma_i^2 = 68,74$$

2. Wybór kryterium optymalizacji modelu kopalni

Zagadnienie wyznaczania optymalnych parametrów modelu kopalni było przedmiotem wielu opracowań. Analizie podlegały takie parametry jak: wysokość pionowa poziomu, głębokość założenia poziomu, lokalizacja szybów, struktura poziomu. Jako kryterium optymalizacji najczęściej przyjmowano: jednostkowy koszt własny, jednostkowy zysk, wskaźnik ekonomicznej efektywności inwestycji. Wybór kryterium optymalizacji ma podstawowe znaczenie, jeśli chodzi o ocenę skutków przyjęcia określonych wielkości parametrów. Każdorazowo kryterium optymalizacji jest przyjmowane wg usnania autorów metody optymalizacji. W celu wyeliminowania czynnika subiektywnego w tym względzie podjęto badania [4] w celu ustalenia, jakie kryterium optymalizacji należy przyjąć dla wyboru najkorsystniejszego wariantu rozwiązania projektowego modelu kopalni i ustalenia jego parametrów. Ocenie poddano następujące, możliwe w tym przypadku kryteria optymalizacji:

- X_1 - nakłady inwestycyjne na budowę kopalni,
- X_2 - jednostkowy koszt własny eksploatacji złoża,
- X_3 - wskaźnik ekonomicznej efektywności inwestycji,
- X_4 - bezpieczeństwo prowadzenia robót górniczych,
- X_5 - niezawodność systemu technologicznego wydobycia,
- X_6 - straty kopaliny użytecznej w złożu,
- X_7 - możliwość zmiany podjętych decyzji projektowych,
- X_8 - poprawność systemu wentylacyjnego z uwagi na zagrożenie metanowe,
- X_9 - możliwość zmiany całego modelu kopalni i wielkości jej parametrów,
- X_{10} - wydajność pracy,
- X_{11} - możliwość modernizacji kopalni bez wpływu na działalność eksploatacyjną.

Opracowano specjalną ankietę, która została przedłożona 30 ekspertom zajmującym się problematyką projektowania kopalń. Eksperti ocenili każde z podanych kryteriów nadając mu odpowiednią rangę w zbiorze kryteriów. Suma rang dla każdego kryterium została sobrasowana na rys. 1 w postaci diagramu rang.

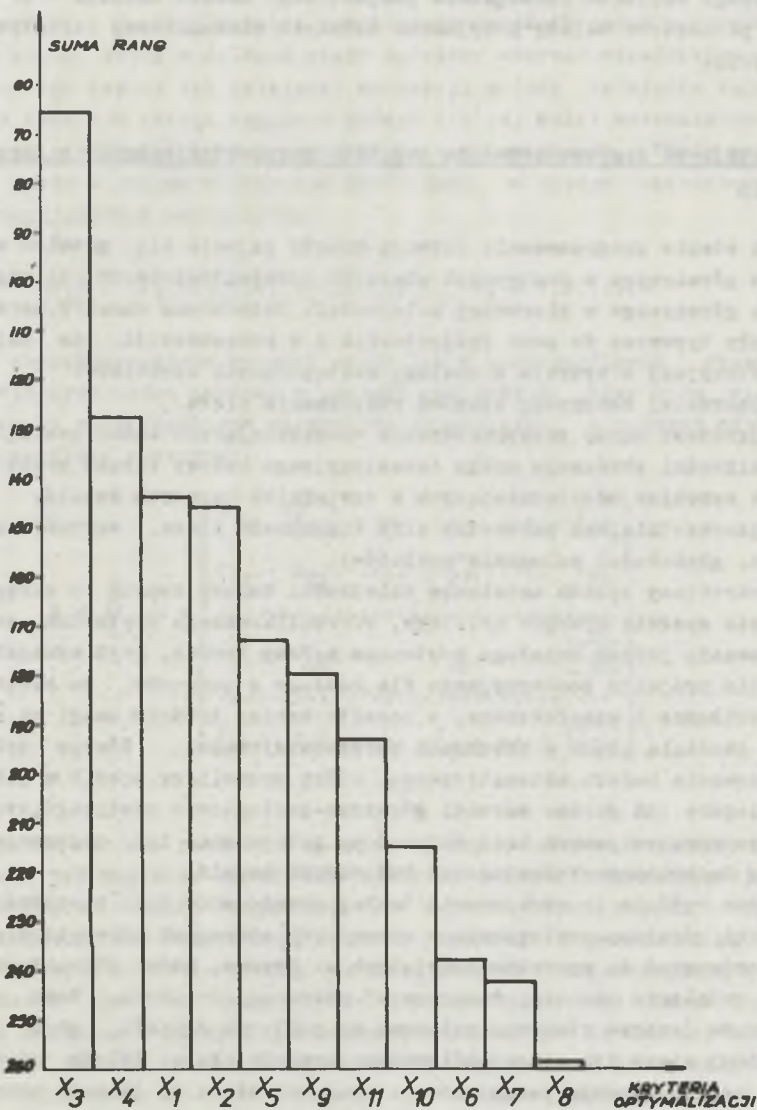
Wartości rang poszczególnych kryteriów zestawiono w tabeli 1, w której wykonano również na ich podstawie pomocnicze obliczenia dla sprawdzenia hipotez, które były następujące:

1. Nieprzypadkowa zgodność oceny ekspertów.

Obliczony współczynnik konkordacji wynosi $W = 0,349$, a kryterium Pearsona wynosi $\chi_{ob}^2 = 104,8$. Kryterium Pearsona odczytane z tablic przy stopniu swobody $\nu = 10$ wynosi $\chi^2 = 16,307$, z czego wynika, że postawiona hipoteza jest prawdziwa.

2. Równomierność ubywania sum rang.

Obliczona wartość kryterium Pearsona wynosi $\chi_{ob}^2 = 183,9$, a wartość tablicowa jest równa $\chi^2 = 18,3$ przy stopniu swobody $\nu = 10$. Potwier-



Rys. 1. Diagram rang

dsa to postawioną hipotezę, co oznacza, że oceniane kryteria optymalizacji posiadają różną wagę.

Z przeprowadzonych badań wynika, że jako kryterium dla wyboru najkorzystniejszego wariantu rozwiązania projektowego modelu kopalni i ustalenia jego parametrów należy przyjmować wskaźnik ekonomicznej efektywności inwestycji.

3. Kolejność zagospodarowania obszarów perspektywicznych w okręgu węglowym

Na etapie programowania rozwoju branży pojawia się problem wyboru obszaru górniczego w dostępnych obszarach perspektywicznych do zagospodarowania górniczego w pierwszej kolejności. Dotychczas obszary perspektywiczne były typowane do prac projektowych i w konsekwencji do działalności inwestycyjnej w oparciu o analizę następujących czynników:

- najbardziej korzystny stopień rozpoznania złoża,
- najkrótszy okres przeprowadzenia uzupełniających badań geologicznych,
- możliwości skrócenia cyklu inwestycyjnego budowy kopalni przez prowadzenie wyrobisk udostępniających z sąsiednich czynnych kopalni,
- najkorzystniejsze parametry złóż (zasobność złoża, wartość opałowa węgla, głębokości zalegania pokładów).

Tak określony sposób ustalania kolejności budowy kopalni w okręgu węglowym nie spełnia wymogów ścisłego, sformalizowanego kryterium oceny. Zastosowanie jednak ścisłego kryterium byłoby trudne, gdyż wymagałoby opracowania projektu koncepcyjnego dla każdego z obszarów, co byłoby sanadto pracochłonne i nieefektywne, a ponadto bardzo trudne z uwagi na niski stopień zbadania złoża w obszarach perspektywicznych. Równie trudne jest opracowanie modelu matematycznego, który pozwoliłby ocenić w jakiej mierze lepsze lub gorsze warunki górniczo-geologiczne poszczególnych obszarów perspektywicznych będą wpływać na polepszenie lub pogorszenie wskaźników techniczno-ekonomicznych budowanych kopalni.

Punktem wyjścia do opracowania takiej metody może być spostrzeżenie, że warunki górniczo-geologiczne w ocenianych obszarach perspektywicznych można porównywać do warunków przyjętych za bazowe, które charakteryzują złożę w ustalonym umownie, "wzorcowym" obszarze górniczym. Samo porównanie nie może jeszcze stanowić podstawy do podjęcia decyzji, gdyż nie mamy wspólnej miary dla poszczególnych parametrów złoża. Należy więc sprowadzić ustaloną grupę parametrów naturalnych złoża do jednego wskaźnika kompleksowego, którego wartość można by porównywać wprost dla poszczególnych obszarów perspektywicznych. Tak ustalony wskaźnik kompleksowy może posłużyć do podejmowania decyzji o kolejności budowy kopalni w okręgu węglowym. Tak sformułowana koncepcja rozwiązania tego problemu wymaga jednak uwzględnienia ważności poszczególnych parametrów naturalnych złoża. Znac-

ne usługi w tym względzie może dać metoda ocen ekspertów. Na podstawie danych statystycznych oraz własnego doświadczenia, eksperci na drodze wypełnienia odpowiedniej ankiety mogą nadać stosowną wagę każdemu z parametrów naturalnych złoża. Wagi te stanowią punkt odniesienia dla każdego z tych parametrów i pozwolą ustalić kompleksowy wskaźnik oceny warunków naturalnych złoża, który w dalszym ciągu będziemy nazywać wskaźnikiem oceny K. Dla ścisłego zapisu tak ustalonej koncepcji metody ustalania kolejności budowy kopalń w okręgu węglowym podaje się jej model matematyczny.

W okręgu węglowym wydzielono n obszarów perspektywicznych. Niech warunki naturalne złoża w jednym z obszarów górniczych w okręgu charakteryzuje zbiór następujących m parametrów:

$$\{J_j\} = (J_1, J_2, \dots, J_1, \dots, J_m), \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Parametry charakteryzujące warunki naturalne w poszczególnych obszarach perspektywicznych można zapisać w postaci macierzy A , przy czym wiersze odnoszą się do poszczególnych parametrów naturalnych, a kolumny odpowiadają poszczególnym obszarom:

$$A = \{J_{ij}\} = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & \dots & J_{1j} & \dots & J_{1n} \\ J_{21} & J_{22} & \dots & J_{2j} & \dots & J_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ J_{i1} & J_{i2} & \dots & J_{ij} & \dots & J_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ J_{m1} & J_{m2} & \dots & J_{mj} & \dots & J_{mn} \end{bmatrix}$$

gdzie:

J_{ij} oznacza wartość parametru i -tego w j -tym obszarze górniczym. Na podstawie tej macierzy tworzy się zbiór parametrów charakteryzujących warunki naturalne obszaru "wzorcowego". W każdym wierszu znajduje się najlepszą (minimalną lub maksymalną) wartość parametru. W powyższej macierzy zostały one ujęte w ramki. Tworzą one nową kolumnę charakteryzującą warunki naturalne dla "wzorcowego" obszaru perspektywicznego. Parametry naturalne są mierzone w różnych jednostkach i należy je do dalszej analizy sprowadzić do postaci bezwymiarowych. Można tego dokonać przez obliczenie względnego odchylenia każdego parametru od wartości "wzorcowej".

$$\delta_{ij} = \frac{|J_{ij}^{max} - J_{ij}^{min}|}{J_{ij}^{max} + J_{ij}^{min}}$$

gdzie:

J_i^{ws} , J_{ij}^{rz} - odpowiednio "wsorcowa" dla i-tego parametru i rzeczywista wartość parametru,

J_i^{max} , J_i^{min} - maksymalna i minimalna wartość i-tego parametru.

Otrzymane w ten sposób bezwymiarowe wskaźniki ekwiwalentne parametru naturalnego tworzą macierz B względnych odchyłeń:

$$B = \left\{ \delta_{ij} \right\} = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1j} & \dots & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \dots & \delta_{2j} & \dots & \delta_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{ij} & \delta_{i2} & \dots & \delta_{ij} & \dots & \delta_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{m1} & \delta_{m2} & \dots & \delta_{mj} & \dots & \delta_{mn} \end{bmatrix}$$

Dla ustalenia kolejności budowy kopalń w okręgu węglowym należy obliczyć wartość wskaźnika oceny K dla każdego obszaru. Można go obliczyć jako sumę średniokwadratowych względnych odchyłeń wszystkich przyjętych do analizy parametrów naturalnych od ich wartości "wsorcowych":

$$K_j = f \{ \delta_{ij} \} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\delta_{ij})^2}$$

Im mniejszą wartość ma wskaźnik oceny, tym w mniejszym stopniu oceniany obszar perspektywiczny odbiega od obszaru "wsorcowego" ze względu na warunki górniczo-geologiczne, a zatem jego efektywność będzie większa. Należy jednakże zauważyć, że wpływ poszczególnych parametrów naturalnych słoża na efektywność obszaru nie jest jednakowy. Podany wskaźnik oceny nie uwzględnia ważności poszczególnych parametrów. Ocenę ważności poszczególnych parametrów można uzyskać za pomocą ocen ekspertów. Skorzystano tutaj z badań radzieckich [1], które bazują na ocenie 90 specjalistów nauki i praktyki górniczej.

Ekspertci oceniali ważność 11 parametrów naturalnych słoża przypisując każdemu z nich wartość w skali dwudziestopunktowej. Opracowanie informacji ankietowych pozwoliło ustalić współczynniki ważności φ_i każdego parametru, które zostały podane w tabeli 2. Średnia wartość tego współczynnika dla wszystkich parametrów naturalnych wynosi 11. Uwzględniając ważność poszczególnych parametrów naturalnych, wskaźnik oceny można zapisać w postaci:

$$K_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\delta_{ij} \frac{\varphi_i}{\varphi_{sr}})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (\delta_{ij} \varphi_i)^2}$$

Tabela 2

Wartości parametrów naturalnych złoża
i ich względnych odchyień dla trzech obszarów górniczych

Lp.	Nazwa parametru naturalnego	Wartości parametrów naturalnych perspektywicznych obszarów górniczych			Względne odchylenie parametrów naturalnych δ_{ij}			Współczynnik ważności parametrów φ_{ij}
		Obszar 1	Obszar 2	Obszar 3	Obszar 1	Obszar 2	Obszar 3	
1	Średnioważona miąższość pokładów, m	1,5	1,2	2,2	0,21	0,30	0,00	18,5
2	Ciepota objętościowa węgla, t/m ³	1,3	1,45	1,6	0,10	0,05	0,00	10,0
3	Zasoby przemysłowe, mln t	70	100	85	0,18	0,00	0,09	12,0
4	Liczba pokładów przemysłowych	3	2	4	0,17	0,33	0,00	8,0
5	Ciepło spalania węgla, kcal/kg	7400	7800	8000	0,04	0,02	0,00	6,5
6	Średnioważony kąt upadu pokładów, °	22	30	35	0,00	0,14	0,24	17,0
7	Średnioważona głębokość eksploatacji, m	400	600	800	0,00	0,17	0,33	12,0
8	Metanowość, m ³ /t	15	10	30	0,12	0,00	0,50	15,0
9	Wskaźnik zaburzeń tektonicznych (ilość uskoków na 1 km ² powierzchni), szt/km ²	10	4	6	0,43	0,00	0,14	7,5
10	Dopływ wody dołowej, m ³ /min	2,5	4	8	0,00	0,14	0,52	5,5
11	Średnioważone sypienie węgla, *	20	28	30	0,00	0,16	0,20	6,5

Wskaźnik oceny w tej postaci pozwala na obiektywne, a co ważniejsze, jednokryterialne porównywanie efektywności obszarów perspektywicznych dla ustalenia kolejności ich zagospodarowania.

W tabeli 2 podano przykład obliczeniowy dla trzech obszarów perspektywicznych. Podane są wartości jedenastu parametrów naturalnych złoża, wartości ich współczynników ważności oraz względne odchylenia parametrów w postaci bezwymiarowej. Obliczone wartości wskaźników oceny wynoszą: $K_1 = 0,158$, $K_2 = 0,170$, $K_3 = 0,264$. Rosnący ciąg wartości wskaźnika oceny pozwala wskazać najkorzystniejszą kolejność budowy kopalni na tych trzech obszarach perspektywicznych z uwagi na dogodność warunków naturalnych złoża.

4. Podsumowanie

Proces projektowania można traktować jako ciąg procesów decyzyjnych. Decyzje szczególnie ważne, a więc dotyczące wyboru kierunków inwestowania w zagospodarowanie złóż oraz wyboru wariantu rozwiązania projektowego całego systemu powinny być podejmowane w oparciu o jasno sprecyzowane kryteria. Znaczne usługi w tym zakresie może dać metoda ocen ekspertów. Jej ważne praktyczne zastosowanie może mieć miejsce w przypadku dążenia do ujednoczenia subiektywnych osądów inżynierskich w procesie projektowania oraz w przypadku wprowadzania ocen grupowych dla programowania rozwoju branży górniczej i kierunków badań warunkujących ten rozwój. Omówione zastosowanie metody ocen ekspertów do wyboru kryterium optymalizacji modelu kopalni pozwoliło na opracowanie modelu matematycznego i przeprowadzenie analiz w zakresie dostosowania najkorzystniejszego modelu kopalni do różnych typów złóż węgla kamiennego. Drugi przykład zastosowania metody ocen ekspertów tworzy podstawy do opracowania metodyki postępowania dla ustalenia najkorzystniejszej kolejności budowy kopalń węgla kamiennego na obszarach perspektywicznych w okręgu górniczym.

LITERATURA

- [1] Burczakow A.S., Małkin A.S., Ustinow M.I.: Projektirowanije szacht. Moskwa "Niedra", 1978.
- [2] Biessielejew S.D., Gurwicz F.C.: Ekspertnyje ocenki. Moskwa "Niedra", 1973.
- [3] Eckenrode R.T.: Wighting multiple criteria. Tonagement science, nr 3, 1965.
- [4] Poloczek F.: Issledowanije i wybor parametrow wskrytija i podgotowki szachtnych polej w usłowjach wiesna uglenasyszcziennoego miestoroźdienia. Praca doktorska, Donieck 1981.
- [5] Wdowiak W.: Technika delficka. Problemy Postępu Technicznego, nr 1, 1980.

Wpłynęło do Redakcji w kwietniu 1982 r.

Recensent: doc. dr hab. inż. Jan STACHOWICZ

**ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ОЦЕНКИ ЭКСПЕРТОВ
ПРИ ПРЕДПРИНИМАНИИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ****Р е з ю м е**

В настоящей работе было проявлено, что процесс проектирования является, по существу, процессом предпринимания решений. Подчеркнута необходимость четкой формулировки критериев для предпринимания решений. В работе рассмотрены также метод экспертов и представлены два примера использования этого метода в пользу проектной практики для выбора наиболее благоприятного варианта решения проектной модели шахты и определения ее параметров, а также определения порядка благоустройства перспективных территорий в горнопромышленном районе.

**POSSIBILITIES OF USING THE METHOD OF EXPERTS' OPINIONS
FOR TAKING DECISIONS CONCERNING DESIGNS****S u m m a r y**

It is shown that the process of designing is proved to be the process of taking decisions. The necessity of clear formulation of criteria for taking decisions is emphasized. The method of experts is discussed. Two examples of the use of this method are given. The method has been used for the selection of the most appropriate alternative design of a model of a coal mine and for the determination of the order of the prospective site planing in a coal district.