ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990
Seria: GÓRNICTWO z. 189 Nr kol. 1077

Czesław POTOCKI
Politechnika Śląska w Gliwicach

METODY WYBORU ZBIORU POTENCJALNYCH I ISTOTNYCH ZMIENNYCH OBJAŚNIAJĄCYCH PROCESY WYDOBYWCZE

Streszczenie. Artykuł omawia metody badań doboru potencjalnych zmiennych objaśniających procesy wydobywcze na poziomie kopalni węgla kamiennego oraz przodków wybierkowych za pomocą grupowej oceny ekspertów. Zaprezentowana metoda stanowi cenne narzędzie planowania jako uzupełnienie metod dotychczas stosowanych w praktyce przemysłowej oraz służy do kontroli procesów wydobywczych w kopalniach węgla kamiennego. Artykuł zakończono konkretnymi wnioskami dla kierownictwa kopalń węgla.

Opracowane i realizowane programy intensyfikacji produkcji górniczej, stanowiące zasadniczą treść zamierzeń gospodarczych przemysłu węglowego, ukierunkowane są na wypracowanie całościowych metod gospodarowania i techniki górniczej. Celem rozwoju tych metod i technologii produkcji jest wzrost efektywności ekonomicznej i organizacyjnej oraz humanizacji pracy w całym przemyśle węglowym. Efektywność ekonomiczna i organizacyjna gospodarowania na obecnym etapie rozwoju górnictwa - to przede wszystkim optymalne wykorzystanie zdolności eksploatacyjnych istniejących kopalń w celu zapewnienia niezbędnego poziomu wydobycia węgla, wynikającego z krajowego bilansu paliwowo-energetycznego. Jedynym wyjściem dla dalszego rozwoju górnictwa węglowego jest poszukiwanie nowych rozwiązań technologiczno-organizacyjnych zwiększających wydajność pracy, poprzez maksymalne wykorzystanie możliwości dyspozycyjnych wyposażenia technicznego, które w konsekwencji wpływa na obniżkę kosztów wydobycia przy jednoczesnym utrzymaniu istniejącego poziomu wydobycia węgla.

Realizując przedstawiony problem, ważną rzeczą jest dobór potencjalnych zmiennych objaśniających procesy wydobywcze na poziomie kopalń węgla kamiennego i przodków wybierkowych, który możemy dokonać metodą heurystyczną, a w szczególności metodą grupowej oceny ekspertów.

U podstaw większości metod heurystycznych, w tym także metody grupowej oceny ekspertów leży ankieta - kwestionariusz pytań, zawierających pytania związane z centralnym zadaniem badań. Sformułowania poszczególnych pytań powinny zabezpieczać jednoznaczność odpowiedzi oraz wyrażenie ich w postaci ilościowej, liczbowej oceny.

W literaturze wyrażony jest pogląd, że ankieta powinna być tak skonstruowana, aby można było uzyskać:

1° ilościowe określenie odpowiedzi na przedstawione ekspertom pytania,
2° sformułowanie wiadomości o charakterze źródeł argumentacji, a także o stopniu wpływu każdego ze źródeł na odpowiedź każdego eksperta,
3° ilościową ocenę stopnia znajomości przez eksperta danej dziedziny, do której odnoszą się sformułowane pytania.

Pierwsze wymaganie związane jest z następującymi zagadnieniami:

- oceną względnej ważności różnych cech lub zmiennych, ważnych dla rozwiązania badanego problemu,
- określeniem uogólnionej opinii grupy ekspertów oraz stopniem zgodności opinii ekspertów.

Oceny wyraża się w odpowiednich jednostkach w wybranej skali dogodnej dla przeprowadzenia pomiarów.

Drugie wymaganie będzie spełnione, gdy eksperci wskażą źródła argumentacji, którymi posługiwali się w udzielaniu odpowiedzi. Ponadto chodzi tu o określenie wpływu każdego źródła argumentacji na opinię eksperta i oszacowanie tego wpływu, przykładowo w skali: wysoki, średni, niski.

Trzecie wymaganie uzyskuje się, gdy eksperci przeprowadzą samoocenę swojego stopnia znajomości danej dziedziny będącej przedmiotem badań. Zaleca się, aby pomiar samooceny określony był w skali punktowej.

Punktem wyjściowym w metodzie grupowej oceny ekspertów jest określenie względnej ważności ocen poszczególnych ekspertów. W poniżej opisanej metodzie obiektem oceny może być zmienna, cecha, zdarzenie. W przedmiotowych badaniach jako obiekt oceny przyjęto poszczególne zmienne opisujące procesy wydobywcze. Wiadomo, że dla każdego obiektu znany jest zestaw ocen wyrażonych przez każdego eksperta w postaci odpowiedzi na pytanie wyszczególnione w kewstionariuszu. Jeżeli oceny te wyrażone są w skali punktowej, np. od 0 do 100, wówczas można mówić o względnej ważności cech lub problemów w ocenie całego obiektu. Względną ważność ocen można także interpretować jako "uwagi" poszczególnych cech charakteryzujących dany obiekt.

Aby przedstawić sposoby opracowywania ocen wyrażonych przez ekspertów, przyjęto następujące oznaczenia:

m - ilość ekspertów biorących udział w ocenie grupowej, 1,2,3,... i,... m - kolejne numery ekspertów,

n - liczba obiektów objętych oceną, 1,2,3,...j,...n - kolejne numery ocenianych obiektów,

m_j - ilość ekspertów oceniających j-ty obiekt,

$m_{100,j}$ - ilość maksymalnie możliwych ocen (100 punktów) przydzielonych j-temu obiektowi,

$c_{i,j}$ - względna ważność oceny (w punktach) wyrażona przez i-tego eksperta dla j-tego obiektu,

m_1 - liczba ekspertów oceniających co najmniej jeden obiekt.

Opisana metodyka uwzględnia także przypadki, gdy niektórzy eksperci, uważając siebie za niedostatecznie kompetentnych w odpowiedzi na dane pytanie, nie wyrażają swoich ocen. Wyniki przeprowadzonych badań ujęto w tablicy 1 przedstawiającej zestawienie ocen ekspertów.

Tablica 1

Zestawienie ocen ekspertów - macierz ocen

Eksperci	Oceniane zmienne obiekty										
	1	2	3	.	.	.	j	.	.	.	n
1	$c_{1,1}$	$c_{1,2}$	$c_{1,3}$				$c_{1,j}$				$c_{1,n}$
2	$c_{2,1}$	$c_{2,2}$	$c_{2,3}$				$c_{2,j}$				$c_{2,n}$
3	$c_{3,1}$	$c_{3,2}$	$c_{3,3}$				$c_{3,j}$				$c_{3,n}$
.											
.											
.											
i	$c_{i,1}$	$c_{i,2}$	$c_{i,3}$				$c_{i,j}$				$c_{i,n}$
.											
.											
.											
m-1	$c_{m-1,1}$	$c_{m-1,2}$	$c_{m-1,3}$				$c_{m-1,j}$				$c_{m-1,n}$
m	$c_{m,1}$	$c_{m,2}$	$c_{m,3}$				$c_{m,j}$				$c_{m,n}$

W tablicy tej kolumny odpowiadają ocenom poszczególnych obiektów, a wiersze przedstawiają ekspertów biorących udział w ocenie grupowej.

W celu przeprowadzenia analizy względnej ważności ocen ekspertów niezbędne jest zdefiniowanie następujących ilościowych wskaźników charakteryzujących:

a) uogólnioną opinię grupy ekspertów odnośnie do względnej ważności badanych obiektów,
b) stopień zgodności opinii ekspertów.

ad a) Uogólniona opinia grupy ekspertów

Wskaźnik uogólnionej opinii grupy ekspertów określonego obiektu można wyrazić za pomocą średniej statycznej M_j wartości ocen wyrażonych w punktach. Wskaźnik M_j oblicza się wg wzoru:

$$M_j = \frac{\sum_{i=1}^{m_j} c_{i,j}}{m_j} \qquad (1)$$

Wskaźnik M_j pozwala określić uogólnioną opinię ekspertów dla każdego z "n" obiektów. Wielkość M_j może przyjmować wartości w przedziale od 0 do 100 punktów. Dolna wartość przedziału odpowiada przypadkowi, w którym eksperci podali minimalne z możliwych ocen, a górna wartość - maksymalne z możliwych ocen dla danego obiektu. Im większa jest wartość M_j, tym większe znaczenie posiada j-ty obiekt w grupie obiektów poddanych ocenie ekspertów.

Część ocen $k_{100,j}$ określa ilość maksymalnie możliwych ocen (100 punktów) dla j-tego kierunku badań (dla j-tego obiektu), wyrażonych przez wszystkich ekspertów. Wielkość ta określona jest wzorem:

$$k_{100,j} = \frac{m_{100,j}}{m_j} \tag{2}$$

Wielkość tę oblicza się dla każdego z "n" obiektów i może ona przyjmować wartość z przedziału 0 - 1.
Dolne wartości odpowiadają przypadkowi, gdy wśród wyrażonych ocen dla j-tego obiektu nie wystąpiły maksymalne możliwe oceny (100 punktów), a górne wartości oznaczają, że wszystkie oceny j-tego obiektu są maksymalne możliwe. Ważność j-tego obiektu rośnie ze wzrostem $k_{100,j}$ od 0 do 1.
Wskaźnik częstości ocen $k_{100,j}$ należy uważać jako dopełniający do podstawowego wskaźnika, jakim jest M_j. Wskaźnik $k_{100,j}$ charakteryzuje zależność j-tego obiektu od ilości otrzymanych "pierwszych miejsc" w przeprowadzonych badaniach.
Na równi ze wskaźnikami, M_j - średniej statystycznej i $k_{100,j}$ - częstości maksymalnych możliwych ocen, istotne znaczenie, dla wnioskowania o względnej ważności danego kierunku badań, posiada suma rang ocen S_j dla j-tego kierunku badań. Wielkość S_j wykorzystuje się także do określenia stopnia zgodności opinii ekspertów.

Sumę rang ocen S_j wyznacza się w następujący sposób. Rangowanie przeprowadza się dla różnych ocen każdego obiektu, wyrażonych przez każdego eksperta. Każdą ocenę danego obiektu wyrażoną przez i-tego eksperta przedstawia się za pomocą liczb naturalnych w taki sposób, że liczbie 1 przypisuje się maksymalną ocenę, a liczbie "n" (ilość obiektów) - minimalną.

Jeżeli wszystkie n-oceny są różne, to ciąg kolejnych liczb naturalnych odpowiada rangom ocen i-tego eksperta. O ile wśród ocen wyrażonych przez i-tego eksperta występują różne oceny, wówczas nadaje się im jednakowe rangi, równie średniej arytmetycznej odpowiednich liczb z ciągu liczb naturalnych. W przypadku gdy dany ekspert uważa siebie za niewystarczająco kompetentnego do oceny danego obiektu oraz nie wyraził swojej oceny o wybranym obiekcie, wówczas do rangowania wielkości oceny przyjmuje się średnią statystyczną M_j wartości ocen tego obiektu. Z przypadku tego wyłącza się te sytuacje, w których ekspert nie dał żadnej oceny.

Jeżeli m_1 oznacza ilość ekspertów, którzy podali swoje oceny chociażby jednemu obiektowi, to suma ocen S_j dla j-tego obiektu wynosi:

$$S_j = \sum_{i=1}^{m_1} R_{ij} , \tag{3}$$

gdzie:

R_{ij} - ranga oceny i-tego eksperta dla j-tego obiektu.

W analizie porównawczej ważności różnych obiektów ze względu na S_j najbardziej ważne są te obiekty, które charakteryzują się najmniejszą wartością S_j.

ad b) Stopień zgodności opinii ekspertów

Obok wskaźników względnej ważności oceny istotne znaczenie posiada stopień zgodności opinii ekspertów. Znając wariancję σ_j^2 ocen dla danego kierunku badań (j-tego obiektu) oraz średniokwadratowe odchylenie ocen δ_j, można obliczyć współczynnik zmienności ocen v_j następująco:

$$\sigma_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^{m_j} (c_{ij} - M_j)^2}{m_j} \tag{4}$$

$$\delta_j = \sqrt{\delta_j^2} \tag{5}$$

$$v_j = \frac{\delta_j}{M_j} \tag{6}$$

Współczynnik zmienności v_j oblicza się dla każdego kierunku badań. Charakteryzuje on stopień zgodności opinii ekspertów ze względu na ważność j-tego obiektu. Im mniejsza jest wartość v_j, tym wyższy jest stopień opinii ekspertów co do względnej ważności j-tego obiektu w grupie obiektów.
Stopień zgodności opinii ekspertów w odniesieniu do względnej ważności zestawu ocen dla wszystkich badanych obiektów określa współczynnik konkordacji W.
Współczynnik konkordacji W określa się dla każdego pytania typu "ocena ważna" poprzez obliczanie następujących wskaźników:

a) średniej arytmetycznej sumy rang ocen $M[S_j]$ dla wszystkich badanych obiektów:

$$M[S_j] = \frac{\sum_{j=1}^{n} S_j}{n} , \tag{7}$$

b) odchylenia d_j sumy rang ocen j-tych obiektów od średniej arytmetycznej sumy rang ocen dla wszystkich badanych obiektów:

$$d_j = S_j - M\left[S_j\right] , \tag{8}$$

c) wskaźnika T_i rang łączonych ocen wyrażonych przez i-tego eksperta. Jeżeli wszystkie "n" rangi ocen wyrażone przez i-tego eksperta są różne, to $T_i = 0$. O ile występują jednakowe rangi ocen, wówczas

$$T_i = \sum_{l=1}^{\alpha} (t_l^3 - t_l) , \tag{9}$$

gdzie:

α - ilość grup rang łączonych,
t_l - ilość rang łączonych w l-tej grupie.

Stąd współczynnik konkordacji W obliczyć można za pomocą wzoru:

$$W = \frac{\sum_{j=1}^{n} d_j^2}{m_1^2(n^3 - n) - m_1 \sum_{i=1}^{m_1} T_i} \tag{10}$$

Współczynnik konkordacji W może przyjmować wartości w przedziale od 0 do 1. Wartość jego określa się dla każdego pytania typu "ocena względnej ważności". Przy pełnej zgodności opinii ekspertów W=1. Zmiana W od 0 do 1 odpowiada wzrostowi stopnia zgodności opinii ekspertów.
Zaznaczyć trzeba, że przedstawiona metoda pozwala określić grupy ekspertów, wewnątrz których zgodność opinii jest duża, a także ujawnić ekspertów mających oryginalne punkty widzenia, różniące się od opinii większości. Jeżeli wartości współczynnika konkordacji W są niewielkie, oznacza to, że słaba jest zgodność opinii ekspertów. Przyczyny tego stanu mogą być różne. W celu określenia grupy ekspertów, która odznacza się dużą zgodnością opinii, można zalecić następujący sposób postępowania. Ze zbioru ekspertów wyklucza się jednego eksperta, a dla pozostałych oblicza się współczynnik konkordacji W_1. Jeżeli współczynnik konkordacji jest większy od W obliczonego dla całego zbioru ekspertów, to tego eksperta eliminuje się z dalszych rozważań. Jeżeli zaś okaże się, że W_1 jest mniejsze od W, to danego eksperta pozostawia się w dalszej analizie. Obliczenia przeprowadza się kolejno dla każdego eksperta. W rezultacie obliczeń dla pozostających w zbiorze ekspertów uzyskuje się podwyższenie stopnia zgodności opinii. Stopień zgodności opinii każdego eksperta w porównaniu z resztą ekspertów można przedstawić poglądowo w postaci wykreślania wieloboku. Wierzchołkom wieloboku odpowia-

dają poszczególni eksperci, a proste łączące dany wierzchołek z pozostałymi wierzchołkami przedstawiają tzw. współczynniki korelacji rangowania parami.

Współczynnik korelacji rangowania parami pomiędzy ocenami dwóch dowolnych ekspertów α oraz β wyznaczyć można, korzystając ze wzoru:

$$\rho_{\alpha,\beta} = \frac{\sum_{j=1}^{n} \psi_j^2}{\frac{1}{6}(n^3 - n) - \frac{1}{12}(T_\alpha - T_\beta)}, \tag{11}$$

gdzie:

ψ_j - wartość różnicy (absolutna) rang ocen dla j-tego kierunku badań wyrażonych przez ekspertów α oraz β

$$\psi_j = (T_{\alpha j} - R_{\beta j}) \tag{12}$$

T_α, T_β - wskaźniki rang łączonych ocen ekspertów α oraz β.

Współczynnik korelacji rangowania parami może przyjmować wartości $-1 \leq \rho \leq 1$. Wartość $\rho = +1$ odpowiada pełnej zgodności opinii dwóch ekspertów. Wartość $\rho = -1$ wskazuje, że opinia danego eksperta jest przeciwstawna opinii drugiego.

Wielobok ocen pozwala także określić grupy ekspertów, wewnątrz których opinii jest duża oraz ujawnić występowanie niezgodności pomiędzy poszczególnymi grupami ekspertów. Im niższy jest poziom statystycznej istotności wskaźnika zgodności opinii ekspertów, tym większe jest prawdopodobieństwo tego, że występuje nieprzypadkowa zgodność opinii ekspertów. Metodę określania poziomu istotności, ze względu na kryterium kwadratowego powiązania χ_R^2, można sformułować następująco:

1) określa się wartość χ_R^2 wg wzoru:

$$\chi^2 = \frac{12 \sum_{j=1}^{n} d_j^2}{m_1 \cdot n(n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{m_1} T_i} \tag{13}$$

2) oblicza się liczbę stopni swobody ν

$$\nu = n - 1$$

3) z tablic χ^2 dla danej liczby stopni swobody znajduje się najbliższą do określonej wzorem (13) wartość liczbową,
4) wyznacza się poziom istotności.

WNIOSKI KOŃCOWE

1. Metoda grupowej oceny ekspertów, jej zastosowanie dla systemów szczególnie złożonych, jakimi są procesy wydobywcze w kopalniach węgla i w przodkach wybierkowych, pozwala na dobór potencjalnych zmiennych objaśniających te procesy. Wypracowanie w ramach metody systemowej techniki pozwalają na redukcję tego zbioru do zbioru istotnych zmiennych objaśniających.

2. Znając zbiór istotnych zmiennych objaśniających i ich realizacje procesów wydobywczych, charakteryzujące warunki sterowania w kopalni węgla, można metodami taksonomicznymi przeprowadzić podział obiektów na grupy statystyczne jednorodne. Jak wykazały badania, w ramach wydzielonych grup typologicznych przeprowadzone wnioskowanie statystyczne z uwzględnieniem zmiennej struktury kopalni węgla umożliwia w sposób bardziej precyzyjny określenie obrazów badanych obiektów oraz określenie względnych różnic między obiektami.

3. Opracowana metoda wyboru uwzględnia potrzeby i wymagania kopalń węgla kamiennego, a jej przydatność odnosi się do operatywnego zarządzania procesami wydobywczymi, planowania produkcji górniczej na szczeblu kopalni i poszczególnych przodków wybierkowych oraz kontroli zaprojektowanych parametrów w trakcie przebiegów procesów produkcyjnych.

LITERATURA

1. ACKOFF R.L.: Decyzje optymalne w badaniach stosowanych, PWN, Warszawa 1969.
2. BARTOSIEWICZ S.: Prosta metoda wyboru zmiennych objaśniających w modelach ekonometrycznych. Prace Naukowe WSE, Wrocław 1974.
3. EHRLICH A.: Źródła i metody zbierania informacji. TNOiK, Warszawa 1962.
4. GODDARD L.S.: Metody matematyczne w badaniach operacyjnych. PWN, Warszawa 1966.
5. GRUDZEWSKI Z.: Identyfikacja procesów w zarządzaniu. Ekonomiczne modele wymiarowe. PWN, Warszawa 1984.
6. KOZDRÓJ m., PRZYBYŁA H.: Teoria organizacji i zarządzania. Część III. Modele matematyczne w organizacji produkcji górniczej. Skrypt Uczelniany Pol. Śl., Gliwice 1986.
7. POTOCKI Cz.: Sterowanie procesami wydobywczymi w kopalniach węgla kamiennego w ujęciu systemowym. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. seria Górnictwo Z. nr 169, Gliwice 1986.
8. POTOCKI Cz., PRZYBYŁA H.: Badania operacyjne w górnictwie. Skrypt Uczelniany Pol. Śl. nr 906, Gliwice 1980.

9. ROKITA J., STRZODA J.: Metody oceny efektywności produkcji kopalń węgla kamiennego. Wyd. Śląsk, Katowice 1976.
10. TREMBECKI A.S.: Matematyczne metody w górnictwie. Wyd. Śląsk, Katowice 1969.

Recenzent:
Prof. dr hab. inż. Wiktor Krawczyk

МЕТОДЫ ВЫБОРА МНОЖЕСТВА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ И СУЩЕСТВЕННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ, ОБЪЯСНЯЮЩИХ ПРОЦЕССЫ ДОБЫЧИ

Р е з ю м е

В работе обсуждаются методы исследования подбора потенциальных переменных, объясняющих процессы добычи в каменноугольных шахтах, а также очистных забоях путем групповой оценки экспертов. Представленный метод является ценным орудием планирования, как дополнение к методам до сих пор применяющимся в промышленности, а также служит для контроля процессов добычи в каменноугольных шахтах. Работа заканчивается конкретными предложениями для руководства шахты.

METHODS OF SELECTING A SET OF POTENTIAL AND ESSENTIAL VARIABLES EXPLAINING THE MINING PROCESSES

S u m m e r y

The paper discusse the investigation methods on the selection of the potential variables explaining the mining processes at the level of hard coal mine and extracting faces by means of group evaluation by experts. The method presented is a valuable tool for planning, as supplementary to the methods used so far in industrial practice, and serves for controlling of the mining processes in hard coal mines. The paper ends with actual conclusions for the management of collieries.