ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1981

Seria: GÓRNICTWO z. 113 Nr kol. 698

Aleksander LUTYŃSKI

NIEZAWODNOŚĆ W PROJEKTOWANIU PRZENOŚNIKOWEGO SYSTEMU TRANSPORTU

Streszczenie. W artykule omówiono sposób oceny przenośnikowego systemu transportu z uwzględnieniem jego niezawodności i nakładów finansowych. Przedstawiono propozycję rozwiązania systemu transportu o strukturze równoległej, a więc takiego, w którym urobek może być transportowany jednym z dwu równolegle zabudowanych układów przenośników. Podano sposób oceny ekonomicznej tego rozwiązania o zdecydowanie wyższym poziomie niezawodności.

1. Wstęp

W fazie projektowania system transportu podziemnego kopalni dla każdego z proponowanych wariantów rozwiązania technicznego dokonywana jest analiza ekonomiczna. W analizie tej uwzględniane są, najogólniej określając, nakłady inwestycyjne, związane z zakupem elementów i budową systemu oraz koszty eksploatacji systemu w zakładanym czasie.

Skądinąd wiadomo, że elementy systemu - przenośniki, jak każde obiekty techniczne, ulegają uszkodzeniom. Usuwanie uszkodzeń powoduje, na ogół, przerwę w pracy całego lub części systemu. Zależy to od miejsca, w którym wystąpiło uszkodzenie.

Konsekwencją więc uszkodzenia jest brak lub ograniczenie wydobycia z pola obsługiwanego rozpatrywanym systemem. Pewnym zabezpieczeniem ciągłości pracy przodków wydobywczych są akumulatory urobku - zbiorniki górnicze. W przypadkach jednak nieco dłuższych czasów usuwania uszkodzeń, istniejące zbiorniki nie są w stanie zabezpieczyć przed przerwą w pracy całego lub części systemu.

W związku z powyższym wydaje się ważne określenie, jakie straty w wydobyciu powodują uszkodzenia systemu transportującego urobek i uwzględnienie tych strat w analizie ekonomicznej projektu wstępnego. Istnieje bowiem możliwość ograniczenia strat wynikających z awaryjności systemu.

Najogólniej ujmując, straty na wskutek uszkodzeń systemu mogą być obniżone przez:

- podwyższenie poziomu niezawodności elementów systemu na drodze zmian w ich konstrukcji, technologii wytwarzania itp.,
- podwyższenie poziomu niezawodności systemu w wyniku jego zmian strukturalnych.

W obu wymienionych przypadkach ponoszone są określone nakłady finansowe. Ważne jest, by były one mniejsze od uzyskanego, przez podniesienie poziomu niezawodności, zysku.

Pewnymi problemami związanymi z uwzględnieniem niezawodności systemu w jego porjektowaniu zajmowano się w pracach [4], [5].

W artykule przedstawiono pewną propozycję uwzględnienia w ocenie ekonomicznej niezawodności przenośnikowego systemu transportu. Zauważyć należy, że system transportowy scharakteryzować można przez: efekt ekonomiczny oraz nakłady warunkujące uzyskanie tego efektu. System scharakteryzować można także ilorazem wymienionych wyżej wielkości. Iloraz ten może stać się jednym z mierników porównawczych, decydujących o wyborze konkretnego wariantu rozwiązania technicznego systemu.

2. Efekt techniczny systemu

Efekt techniczny systemu określa właściwości techniczne z punktu widzenia celu, dla którego został stworzony system. W artykule przyjęto, że efektem technicznym jest ilość urobku T przetransportowanego przez system.

Jeżeli przenośnikowy system transportu opisany jest ubiorem wielkości $W_j = W_1, W_2, \ldots, W_s$, to efekt techniczny można zapisać jako:

$$T = T(W_1, W_2, \ldots, W_s) = T(W_{j \leq s}) \tag{1}$$

Ponieważ niezawodność systemu jest jego własnością do spełnienia określonych wymagań, stąd w wyznaczanym efekcie technicznym systemu należy ją uwzględnić. Niezawodność systemu uwzględnić można jako prawdopodobieństwo realizacji celu. Jeżeli uwzględniony będzie ponadto warunek ograniczający, jakim jest horyzont czasowy istnienia projektowanego systemu, to efekt techniczny wyrazić będzie można jako:

$$T\left\{W_{j \leq n}(T_H)\right\} = R(b_1, b_2, \ldots, b_n \text{ i } T_H), \tag{2}$$

gdzie:

T_H - założony horyzont czasowy,

$b_1, b_2, \ldots, b_n$ - właściwości techniczne wielkości W_j z uwzględnieniem niezawodności.

Dokonując identyfikacji efektu technicznego sprecyzować należy podstawowe parametry techniczno-eksploatacyjne i niezawodnościowe charakteryzujące system, zdając sobie sprawę z warunków ograniczających jakimi są:

- zadany spływ urobku ze ścian,
- zadane możliwe wartości parametrów niezawodności przenośników,

- zadane możliwe parametry techniczno-eksploatacyjne przenośników,
- zadane możliwe struktury dróg transportowych,
- zadane techniczne możliwe realizacje tych struktur,
- zadany system organizacji pracy.

Mając zadany spływ urobku ze ściany w postaci: maksymalnej wartości spływu w przedziale czasu Δt oraz średniego spływu na zmianę wydobywczą, dobierany jest przenośnikowy system transportu z uwzględnieniem struktury dróg transportowych, jak również parametrów techniczno-eksploatacyjnych przenośników.

Spośród wielu za istotne w procesie doboru przenośnikowego systemu transportu uznano następujące parametry techniczno-eksploatacyjne przenośników:

- wydajność Q,
- szerokość taśmy B,
- prędkość taśmy v,
- charakterystyki $N_p = t(L_p, \beta)$, gdzie: N_p - moc silników przenośnika, L_p - długość przenośnika, β - kąt nachylenia dróg transportowych.

Zadane struktury dróg transportowych opisujące ilość, długość i kąt nachylenia poszczególnych jej odcinków, jak również wzajemne powiązania tych odcinków z wyszczególnieniem ścian i punktu wysypu. Pozwala to na określenie liczności przenośników instalowanych w poszczególnych odcinkach struktury dróg transportowych. Przenośniki te spełniać muszą zadania z punktu widzenia strugi przepływającego przez system urobku.

Określone liczby przenośników w poszczególnych odcinkach struktury pozwalają, dla znanych parametrów niezawodności, na wyznaczenie wydajności rzeczywistej systemu transportującego urobek z określonej liczby d ścian wydobywczych o założonych horyzontach czasowych. Jest to zadanie proste z uwagi na fakt, iż urobek z każdej ściany wydobywczej transportowany jest jakby wybranym, spośród całego systemu transportowego o strukturze rozgałęźnej, podsystemem o strukturze szeregowej.

Obliczona w ten sposób wydajność rzeczywista jest efektem systemu, który zapisać można w postaci:

$$T = \sum_{c=1}^{d} Q_c \, P_{Qc} \, T_{Hc}, \tag{3}$$

gdzie:

Q_c - jest średnią wartością wydobycia z c-tej ściany,

P_{Qc} - jest prawdopodobieństwem przeniesienia urobku z c-tej ściany do punktu wysypu,

T_{Hc} - jest horyzontem czasowym (czasem eksploatacji) c-tej ściany.

W przedstawionej zależności (3) szerszego omówienia wymaga prawdopodobieństwo przeniesienia urobku przez system. Prawdopodobieństwo to jest równoznaczne z prawdopodobieństwem bezawaryjnej pracy systemu i zależy od parametrów niezawodności poszczególnych przenośników systemu jak i liczby przenośników, przez które przepływa struga urobku. Ponieważ, jak wspomniano, urobek ze ściany transportowany jest podsystemem o strukturze szeregowej, to prawdopodobieństwo bezawaryjnej pracy tego podsystemu wyrazić można zależnością [2]:

$$p = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^{n} \chi_i}, \tag{4}$$

gdzie:

χ_i - jest wskaźnikiem awaryjności i-tego przenośnika podsystemu jako iloraz średniego czasu usuwania uszkodzenia i średniego czasu pracy.

Jednym z możliwych kroków na drodze do poprawy efektu technicznego jest podwyższenie prawdopodobieństwa bezawaryjnej pracy systemu transportowego, poprzez zmianę struktury szeregowej podsystemu na inną, o wyższym poziomie niezawodności.

Jedną z takich, którą warto jak się wydaje rozważyć jest struktura równoległa z rozgałęzieniem symetrycznym [1]. Schemat pracy podsystemu o takiej strukturze przedstawia się następująco: dopływający strumień urobku Q_c przepływa całkowicie przez jedną z dwóch gałęzi do chwili jej uszkodzenia, po czym zostaje skierowany na gałąź stojącą w rezerwie. W gałęzi pierwszej usuwane jest uszkodzenie. Po jego usunięciu gałąź ta staje się rezerwą. Podsystem jest uszkodzony wtedy, kiedy obie gałęzie są uszkodzone.

Spośród wszystkich możliwych stanów podsystemu o strukturze równoległej za najistotniejsze uznać można następujące:

- gałąź jeden pracuje, gałąź dwa jest w rezerwie,
- gałąź jeden pracuje, w gałęzi dwa usuwane jest uszkodzenie,
- gałąź dwa pracuje, gałąź jeden jest w rezerwie,
- gałąź dwa pracuje, w gałęzi jeden usuwane jest uszkodzenie,
- gałęzie jeden i dwa są uszkodzone.

Każdy ze stanów opisać można określonym prawdopodobieństwem jego zaistnienia. Suma prawdopodobieństw czterech pierwszych, spośród wymienionych prawdopodobieństw stanów, jest prawdopodobieństwem pracy podsystemów.

Przyjmijmy, że parametry niezawodności oraz liczności przenośników w obu gałęziach są jednakowe. Poczynione założenia mają swoje uzasadnienia praktyczne, ponieważ przewidywać należy, że dwie równoległe gałęzie pod-

systemu prowadzone są tą samą drogą transportową i złożone z przenośników o tych samych parametrach techniczno-eksploatacyjnych. Z tego względu zarówno wskaźniki awaryjności χ , jak i liczności przenośników, dla tych samych długości dróg transportowych, będą jednakowe.

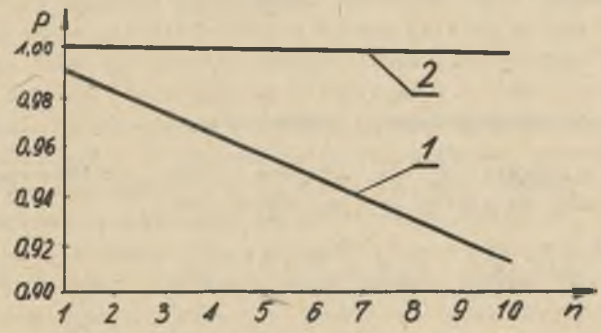
Pomijając wyprowadzenie, które znaleźć można w [1], zależność na prawdopodobieństwo przeniesienia urobku przez podsystem o strukturze równoległej zapisać można jako:

$$P_p = \frac{2(K+1)}{2(K+1)+K^2}, \tag{5}$$

gdzie:

K - jest wskaźnikiem awaryjności jednej z dwu równoległych gałęzi o n przenośnikach, obliczanych jako $K = n\chi$ (patrz np. [3]).

Proponowane rozwiązanie systemu transportowego ze zdwojonymi gałęziami posiada bardzo ważną zaletę. W sposób istotny podwyższa poziom niezawodności systemu. Pewnym obrazem podwyższenia tego poziomu niech będzie rys. 1, na którym zaprezentowano prawdopodobieństwo przeniesienia urobku przez system o strukturze szeregowej i równoległej w funkcji liczby przenośników. Dla struktury równoległej zaznaczona liczność przenośników dotyczy pojedynczej gałęzi. Wykres sporządzono dla przeciętnej wartości χ , uzyskanej w wyniku badań niezawodności przenośników GWAREK, prowadzonych przez IMG w latach 1974-1978 w kilkunastu kopalniach węgla kamiennego.



Rys. 1. Prawdopodobieństwo przeniesienia urobku systemem o strukturze szeregowej 1, równoległej 2 . $\chi = 9{,}3 \cdot 10^{-3}$

Zaznaczyć również należy, że proponowane rozwiązanie o rozgałęzieniu symetrycznym posiada pewną zaletę. Polega ona na tym że, jak wynika z opisanego powyżej charakteru pracy tego typu rozgałęzienia, elementy przenośnika obu gałęzi zużywają się równomiernie. Czas życia takiego systemu jest dwukrotnie dłuższy od systemu szeregowego.

Oczywiste jest, że koszt budowy jest odpowiednio wyższy. W dotychczasowych rozważaniach nie uwzględniono zbiorników retencyjnych, które są integralnymi elementami systemów transportowych. Zbiorniki te powodują, że część uszkodzeń, których czasy usuwania są stosunkowo krótkie, nie powoduje zatrzymania pewnych odcinków systemów za zbiornikami w kierunku przeciwnym do kierunku odstawy. Tak więc uszkodzenia przenośników w systemie podzielić można na dwie klasy. Takie, które powodują i takie, które nie powodują zatrzymania systemu. Tym samym można mówić o poziomie niezawodności określając go przez prawdopodobieństwo uszkodzeń, które powoduje zatrzymanie systemu. Prawdopodobieństwo uszkodzeń tej klasy brane więc będzie pod uwagę przy określeniu efektu technicznego systemu. Pamiętać jednak należy, że zbiorniki także ulegają uszkodzeniom. Z tego więc względu ich parametry niezawodnościowe muszą być brane pod uwagę w określeniu poziomu niezawodności systemu transportowego.

3. Nakłady na system

Nakłady na system określają wysiłek finansowy, warunkujący uzyskanie efektu technicznego. Wspomnianym wcześniej właściwościom technicznym $R(b_j)$ wielkości W_j, przypisać można odpowiednie właściwości kosztowe, określone przez $L(W_j, a_i)$, tzn.:

$$A = W_j(j = 1,2,\ldots,s) \left| \begin{matrix} R(b_j) \\ L(W_j,a_i) \end{matrix} \right\} , \tag{6}$$

gdzie:

a_i - są kosztami przyporządkowanymi wielkościom W_j.

Własności kosztowe wielkości W_j są opisane przez nakłady na budowę $K_B(W_j,a_i)$. Stąd nakłady na system zapisać można jako:

$$L(W_j,a_i) = K_B(W_j,a_i) + K_E(W_j,a_i) \tag{7}$$

a uwzględniając jak poprzednio horyzont czasowy:

$$L\left\{W_j,a_i(T_H)\right\} = K_B(W_j,a_i) + K_E(W_j,a_i \text{ i } T_H) \tag{8}$$

Identyfikując powyższe, za podstawowe w nakładach na system uznać należy:

- koszty budowy dróg transportowych K_i,
- koszty zakupu przenośników K_p,

- koszty montażu przenośników K_m,
- koszty zużycia energii w czasie eksploatacji systemu K_e,
- koszty obsługi systemu K_o,
- koszty amortyzacji K_a,
- koszty materiałów zużytych w eksploatacji K_M.

Tak więc nakłady na system przedstawiają się następujące:

$$L = K_i + K_p + K_m + K_e + K_o + K_M + K_a \tag{9}$$

Zwrócić należy uwagę, że w nakładach na system uwzględniono koszty dróg transportowych. Wymienione koszty obciążają transport, w przypadku gdy drogi wykonywane są tylko dla celów transportowych. W praktyce taka sytuacja nie ma i nie powinna mieć miejsca. Wyrobisko transportowe jest jednocześnie wyrobiskiem wentylacyjnym, a jego przekrój określony jest ze względu na zapotrzebowanie powietrza. Jeżeli jednak ze względu na zastosowane środki transportu, czy realizację struktur (równoległe gałęzie) sy mu transportowego wymagane jest wykonanie dróg transportowych o przekrojach większych, a tym samym i droższych, to różnice w kosztach wykonania wyrobisk obciążały będą koszty transportu.

4. Podsumowanie

Z prezentowanych powyżej rozważań wynika, że poziom niezawodności przenośnikowego systemu transportu, wyrażony np.: przez prawdopodobieństwo przeniesienia strugi urobku, w sposób istotny wpływa na efekt techniczny systemu. Stąd konieczność uwzględnienia tego poziomu w ocenach projektowanego systemu. Jednocześnie z rozważań wynikało, że poziom niezawodności zależy między innymi od struktury systemu transportowego, która również ma istotny wpływ na kształtowanie się nakładów finansowych na system. Szczególnie wyraźnie jest to widoczne w kosztach zakupu i kosztach montażu przenośników proponowanej struktury równoległej.

Wydaje się jednak, że w przypadku koncentracji wydobycia, a więc znacznej strugi urobku płynącego przez system, zaproponowane rozwiązanie struktury systemu może okazać się opłacalne. Koszt transportu jednej tony urobku, liczony jako iloraz nakładów do efektu technicznego, może być niższy jak w przypadku rozwiązań tradycyjnych z szeregową strukturą systemu.

LITERATURA

[1] Gładysz S.: Wpływ rozdzielni (rozgałęzień) taśmociągów na pracę układu technologicznego kopalń odkrywkowych. Węgiel Brunatny nr 1, 1965.

[2] Gładysz S.: Wydajność systemów taśmociągów. Węgiel Brunatny nr 3,1965.

[3] Gniedenko B., Bielajew J., Sołowiew A.: Metody matematyczne w teorii niezawodności. WNT, Warszawa 1968.

[4] Lutyński A.: Niezawodność układów przenośnikowych do transportu urobku ze ściany pod szyb w kopalniach głębinowych. Praca doktorska.Politechnika Śląska. Gliwice 1976.

[5] Wianecki A.: Badania pracy układów podziemnego transportu ciągłego za pomocą metody symulacji procesów produkcyjnych. Praca doktorska. Politechnika Śląska. Gliwice 1976.

Wpłynęło do Redakcji w kwietniu 1981 r.

Recenzent: Prof. dr inż. Włodzimierz Sikora

Надежность проектирования конвейерной транспортной системы

Р е з ю м е

В статье обсужден способ оценки конвейерной транспортной системы с учетом ее надежности и капиталовложений. Представлено предложение решения транспортной системы с параллельной структурой, следовательно такой,в которой добыча может транспортироваться одной из двух параллельно установленных систем конвейеров. Представлен способ экономической оценки этого решения, преобладающего более высокой надежностью.

Reliability aspect in conveyor system designing

S u m m a r y

The paper regards a method of conveyor system evaluation taking into account both system reliability and outlays. The author suggests a transport system of a parallel structure i.e. such in which output can be conveyed by means of one of the two systems of conveyors built parallel.Economic estimation of such a system with much higher reliability level has been given too.