ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1982

Seria: AUTOMATYKA z. 64 Nr kol. 736

Kazimierz DUSZA
KWK "Dębieńsko"

HARMONOGRAMOWANIE ZADAŃ REMONTOWO-KONSERWACYJNYCH NA WIELU ODDZIAŁACH KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO Z RÓŻNYMI PRIORYTETAMI ICH REALIZACJI

Streszczenie. W pracy na podstawie przeglądu literatury przedstawiono metodę harmonogramowania realizacji zadań remontowo-konserwacyjnych zlokalizowanych na wielu oddziałach wydobywczych kopalni węgla kamiennego z różnymi priorytetami ich wykonywania. Metoda ta oparta jest na algorytmie programowania wieloetapowego, dla którego zdefiniowano: stan, wartość stanu, stany alternatywne i regułę dominacji stanów.

1. WPROWADZENIE - SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Zadania remontowo-konserwacyjne są wykonywane w przestrzeni (rozlokowane na wielu oddziałach), jeżeli czasy transportu pomiędzy oddziałami, w których się one znajdują, są istotne i nie można ich pominąć. Wśród wielu zadań zlokalizowanych na wielu oddziałach wyróżniamy zadania awaryjne oraz zadania normalne. Zadania awaryjne muszą być wykonywane na danej zmianie roboczej, gdyż niewykonanie ich powoduje przestój oddziału wydobywczego, a zatem straty wydobycia węgla. Zadania normalne mogą być wykonana na danej zmianie, lecz nie muszą, gdyż nie spowodują strat wydobycia węgla.

Podstawowy problem harmonogramowania zadań w tym przypadku polega na wyznaczeniu minimalnej liczby specjalistów, którzy wykonają wszystkie zadania awaryjne. Dla każdej liczby specjalistów należy poszukiwać harmonogramów ich pracy, które minimalizują straty wydobycia węgla. Przyjmuje się ograniczenia kolejnościowe, że dopóki straty te nie są zerowe, zadania awaryjne powinny być wykonane przed zadaniami normalnymi. Po tym zabiegu możemy sprawdzić, jakie są minimalne straty wydobycia. Jeżeli straty są dodatnie, to żadnego zadania normalnego nie należy wykonać przed zakończeniem zadań awaryjnych, bo może to powiększyć straty.

Zagadnienia powyższe były przedmiotem analizy w pracy [1]. Rozpatrywano w niej problem minimalizacji czasu wykonania wszystkich zadań (w tym spawalniczego), nie uwzględniając momentów, w których zadania winny być zakończone.

Rozwiązanie uzyskano metodą programowania dynamicznego. Analogiczny problem (dla zadań typu hydraulicznego) sformułowano w [2]. W [3] dokonano analizy niezawodności pracy brygad utrzymania ruchu, która minimalizuje straty wydobycia węgla. W pracach [4] i [5] zaproponowano wykorzystanie metody programowania wieloetapowego do rozwiązania problemu optymalnego harmonogramowania realizacji niezależnych zadań. Jako kryterium optymalizacji przyjęto minimalizację czasu zakończenia realizacji zadań.

Jak wynika z powyższego przeglądu literatury, oryginalność modelu rozpatrywanego w niniejszej pracy wynika z przyjętego kryterium minimalizacji strat wydobycia węgla oraz priorytetów realizacji zadań.

2. MODEL MATEMATYCZNY

Problem sformułowany wyżej ma szerokie zastosowanie praktyczne w kopalniach węgla kamiennego. Brygady specjalistyczne wykonują zadania remontowo-konserwacyjne, które są zlokalizowane na różnych oddziałach wydobywczych. Opóźnienie wykonania realizacji pewnego zadania powoduje postój oddziału wydobywczego, tj. określoną stratę wydobycia węgla.

Załóżmy, że dany jest zbiór zadań:

$$\Omega = \{\omega_n\}_{(n=\overline{1,N})} \tag{1}$$

gdzie:

ω_n - n-te zadanie,

N - liczba zadań.

Priorytety realizacji zadań dane są w wektorze:

$$\pi = [\pi_n]$$

gdzie:

π_n - priorytet realizacji zadania.

Elementy tego wektora definiujemy następująco:

$$\pi_n = \begin{cases} 1 : \text{jeżeli zadania } \omega_n \text{ jest awaryjne} \\ 0 : \text{w przeciwnym przypadku (jeżeli zadania } \omega_n \\ \quad\;\; \text{jest normalne).} \end{cases} \tag{3}$$

Czasy wykonywania zadań dane są w wektorze:

$$\theta = [\vartheta_n] \tag{4}$$

gdzie:

ϑ_n - czas wykonywania zadania ω_n.

Najwcześniejsze terminy rozpoczęcia realizacji zadań dane są w wektorze:

$$\Phi = [\varphi_n] \tag{5}$$

gdzie:

φ_n - najwcześniejszy termin rozpoczęcia realizacji zadania ω_n.

Analogicznie zapiszemy najpóźniejsze terminy zakończenia realizacji zadań

$$\Psi = [\psi_n] \tag{6}$$

gdzie:

ψ_n - najpóźniejszy termin zakończenia realizacji zadania ω_n.

Dany jest zbiór specjalistów:

$$S = \{s_m\}_{(m=\overline{1,M})} \tag{7}$$

gdzie:

s_m - m-ty specjalista,

M - liczba specjalistów.

Uprawnienia specjalistów do wykonania zadań zapisane są w macierzy:

$$U = [u_{m,n}] \tag{8}$$

Elementy tej macierzy definiujemy następująco:

$$u_{m,n} = \begin{cases} 1 : \text{jeśli specjalista } s_m \text{ może wykonać zadanie } \omega_n \\ 0 : \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \tag{9}$$

Ponadto wyróżniamy kwalifikacje specjalistów, co zapiszemy w wektorze:

$$Q = [q_m] \tag{10}$$

gdzie:

q_m - współczynnik kwalifikacji specjalisty s_m.

Czas wykonania zadania ω_n przez specjalistę s_n obliczamy następująco:

$$(u_{m,n} = 1) \Longrightarrow (\vartheta_{m,n} = \frac{\vartheta_n}{q_m}) \tag{11}$$

gdzie:

$\vartheta_{m,n}$ - czas wykonania zadania ω_n przez s_m.

Załóżmy, że dla każdego specjalisty określone są terminy najwcześniejszego rozpoczęcia pracy, podane w wektorze:

$$R = [r_m] \tag{12}$$

gdzie:

r_m - moment rozpoczęcia pracy przez specjalistę s_m.

Analogicznie zapiszemy terminy najpóźniejszego zakończenia pracy przez specjalistów:

$$Z = [z_m] \tag{13}$$

gdzie:

z_m - termin najpóźniejszego zakończenia pracy przez specjalistę s_m.

Terminów R, Z nie możemy przekroczyć.

Ponadto przez C oznaczymy moment zakończenia zmiany roboczej. Jeżeli specjalista pracuje dłużej niż C, to są mu naliczane nadgodziny.

Załóżmy, że dany jest zbiór oddziałów wydobywczych:

$$D = \{d_k\}_{(k=\overline{0,K})} \tag{14}$$

gdzie:

d_k - k-ty oddział wydobywczy,

K - liczba oddziałów wydobywczych.

Czasy transportu pomiędzy oddziałami zapisane są w macierzy:

$$T = [\tau_{\varkappa,k}] \tag{15}$$

gdzie:

$\tau_{\varkappa,k}$ - czas transportu od $d_\varkappa$ do d_k.

Załóżmy, że każdy specjalista przed rozpoczęciem pracy znajduje się w punkcie d_o (punkt dyspozycyjny) oraz że po zakończeniu pracy wraca do punktu d_o.

Dana jest alokacja zadań na oddziały, zapisana w macierzy:

$$A = \left[a_{k,n}\right] \tag{16}$$

Elementy tej macierzy definiujemy następująco:

$$a_{k,n} = \begin{cases} 1 : \text{jeśli zadanie } \omega_n \text{ jest zlokalizowane na oddziale } d_k \\ 0 : \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \tag{17}$$

Oznaczmy przez t_n moment zakończenia realizacji zadania ω_n. Jeśli $t_n > \Psi_n$ oraz $\mathfrak{T}_n = 1$, to opóźnienie realizacji zadania ω_n spowoduje straty wydobycia.

Dane są straty wydobycia oddziałów w jednostce czasu:

$$W = \left[w_k\right] \tag{18}$$

gdzie:

w_k - jednostkowa strata wydobycia na oddziale d_k.

Jeżeli na oddziale d_k opóźniono realizację kilku zadań, to stratę wydobycia liczymy na podstawie największego opóźnienia.

Oznaczmy:

φ_k - zbiór zadań o opóźnionej realizacji na oddziale d_k oraz o $\mathfrak{T}_n = 1$, tzn.:

$$\underset{n}{\forall} (a_{k,n} = 1) \wedge (t_n > \Psi_n) \wedge (\mathfrak{T}_n = 1) \Longrightarrow (\omega_n \in \varphi_k) \tag{19}$$

Straty wydobyciana oddziale d_k oznaczymy przez f_k i wyznaczymy ze wzoru:

$$f_k = \left[\max_{\omega_n \in \varphi_k} (t_n - \Psi_n)\right] w_k \tag{20}$$

stąd: straty łączne F wyraża wzór:

$$F = \sum_{k=1}^{k=K} w_k \left[\max_{\omega_n \in \varphi_k} (t_n - \Psi_n)\right] \longrightarrow \min \tag{21}$$

Formuła (21) stanowi funkcję celu dla optymalnego harmonogramowania. Cel F można realizować za pomocą różnej liczby specjalistów o różnych uprawnieniach, kwalifikacjach i czasie pracy.

Zatem należy poszukiwac minimalnego podzbioru specjalistów, który da najmniejsze straty wydobycia.

3. ALGORYTM

Algorytm rozwiązania sformułowanego problemu będzie oparty na programowaniu wieloetapowym. Stany procesu decyzyjnego będą wyznaczone kolejnymi etapami. Przydzielanie kolejnych zadań specjalistom może być traktowane jako wieloetapowy proces decyzyjny. Każdy stan η -tego etapu jest wariantem przydziału n zadań wykonawcom. Wariant taki jest związany z pewnymi stratami wydobycia węgla. Liczbę strat wydobycia węgla nazwiemy wartością stanu. Każdy stan, w którym uwzględniono wszystkie zadania awaryjne, jest stanem dopuszczalnym.

Stan dopuszczalny, do którego nie można dodać żadnego zadania normalnego, jest końcowym stanem trajektorii. Ciąg stanów nazywamy trajektorią.

Definicja 1: Stanem $P^{\lambda,\eta}$ jest macierz o postaci:

$$P^{\lambda,\eta} = \left[p_{n,i}^{\lambda,\eta}\right]_{(i=\overline{1,2})} \tag{22}$$

Elementy tej macierzy definiujemy następująco:

$$p_{n,1}^{\lambda,\eta} = \begin{cases} m: \text{ jeżeli zadanie } \omega_n \text{ zostało przydzielone} \\ \quad\ \text{specjaliście } s_m \\ 0: \text{ w przeciwnym przypadku} \end{cases} \tag{23}$$

Natomiast elementy drugiej kolumny:

$$\forall_n \left[p_{n,1}^{\lambda,\eta} = m\right] \Rightarrow \left[p_{n,2}^{\lambda,\eta} = t_n\right] \tag{24}$$

oraz

$$\forall_n \left[p_{n,1}^{\lambda,\eta} = 0\right] \Rightarrow \left[p_{n,2}^{\lambda,\eta} = 0\right] \tag{25}$$

Jeżeli pewien stan $P^{\lambda,\eta}$ spełnia warunek:

$$\forall_n (\mathcal{T}_n = 1) \Rightarrow (p_{n,1}^{\lambda,\eta} > 0) \tag{26}$$

to znaczy, że wszystkie zadania awaryjne zostały już uwzględnione. Jeżeli rozpatrywany stan dodatkowo spełnia warunek:

$$\forall_{1 \leqslant m \leqslant M} \quad \tilde{T}^{\lambda,\eta} \leqslant z_m \tag{27}$$

gdzie:

$\tilde{T}_m$ - chwila powrotu s_m do punktu d_0,

to znaczy, że $P^{\lambda,\eta}$ jest dopuszczalny.

Ogólna procedura generowania stanów na postać:

$$\forall_n \forall_m (p_{n,1}^{l,\eta-1} = 0) \wedge (\max_{1 \leqslant j \leqslant N} p_{j,1}^{l,\eta-1} < m) \wedge (u_{m,n} = 1) \wedge$$

$$\wedge(\mu_m^{l,\eta-1} = \vartheta) \wedge (a_{\varkappa,\vartheta} = 1) \wedge (a_{k,n} = 1) \wedge \left[\tilde{T}_m^{\lambda,\eta} \leqslant \pi_n z_m + (1 - \pi_n) = 0\right] \Longrightarrow$$

$$\Longrightarrow \left[P^{\lambda,\eta} = P^{l,\eta-1} + \Delta P^{l,\eta-1;\lambda,\eta}\right] \tag{28}$$

gdzie:

$\mu_m^{l,\eta-1}$ - numer ostatniego zadania wykonanego przez s_m w stanie $P^{l,\eta-1}$

Macierz $\Delta P^{l,\eta-1;\lambda,\eta}$ ma postać:

$$\Delta P^{l,\eta-1;\lambda,\eta} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \vdots & \vdots \\ 0 & 0 \\ m & t_n \\ 0 & 0 \\ \vdots & \vdots \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{29}$$

Moment t_n obliczamy z formuły:

$$t_n = \max\left[T_m^{l,\eta-1} + \tau_{\varkappa,k};\varphi_n\right] + \frac{v_n}{q_m} \tag{30}$$

gdzie:

$T_m^{l,\eta-1}$ - chwila zakończenia zadania $\mu_m^{l,\eta-1}$.

Definicja 2: Wartością $V^{\lambda,\vartheta}$ stanu $P^{\lambda,\vartheta}$ jest skalar obliczany następująco:

$$V^{\lambda,\vartheta} = \sum_{k=1}^{k=K} w_k \cdot \max_{\omega_n \in \alpha_k^{\lambda,\vartheta}}(t_n - \Psi_n) \tag{31}$$

Definicja 3: Stany $P^{\lambda_1,\vartheta}$ i $P^{\lambda_2,\vartheta}$ są alternatywne, jeżeli spełniają następujący warunek:

$$\forall_n \forall_m \left\{(P_{n,1}^{\lambda_1,\vartheta} = m) \Longleftrightarrow (P_{n,1}^{\lambda_2,\vartheta} = m)\right\} \Longrightarrow P^{\lambda_1,\vartheta} \underline{\triangle} P^{\lambda_2,\vartheta} \tag{32}$$

gdzie:

$\underline{\triangle}$ - symbol alternatywności stanów.

Regułę dominacji przedstawimy w postaci twierdzenia:

Twierdzenie: Stan $P^{\lambda_1,\vartheta}$ dominuje nad stanem $P^{\lambda_2,\vartheta}$, jeżeli spełniony jest warunek:

$$\forall_m \left[P^{\lambda_1,\vartheta} \underline{\triangle} P^{\lambda_2,\vartheta}\right] \wedge (T_m^{\lambda_1,\vartheta} \leqslant T_m^{\lambda_2,\vartheta}) \wedge$$

$$\wedge (V^{\lambda_1,\vartheta} < V^{\lambda_2,\vartheta}) \Longrightarrow (P^{\lambda_2,\vartheta} \mapsto P^{\lambda_1,\vartheta}) \tag{33}$$

gdzie:

$\mapsto$ - symbol dominacji stanu $P^{\lambda_1,\vartheta}$ nad stanem $P^{\lambda_2,\vartheta}$.

Jeżeli stany są generowane kolejno i rozpatrywany jest końcowy stan o aktualnie najmniejszej wartości, to jest to stan optymalny. Na podstawie tego stanu wyznaczymy optymalne harmonogramy pracy specjalistów.

$$\forall_n (P_{n,1}^{\lambda^o_*,\hat{N}} = m) \Longrightarrow (\omega_n \in s_m) \wedge (t_n = P_{n,2}^{\lambda^o,\hat{N}}) \wedge (\xi = t_n - \frac{\vartheta_n}{q_m}) \tag{34}$$

gdzie:

$\in$ - symbol przynależności zadania ω_n do s_m.

4. UWAGI KOŃCOWE

W referacie pokazano metodę harmonogramowania realizacji zadań remontowo-konserwacyjnych zlokalizowanych na różnych oddziałach wydobywczych z różnymi priorytetami ich wykonywania. Zadania o priorytecie $\pi = 1$ muszą być wykonywane terminowo, bo inaczej przynoszą straty wydobycia. Zadania o priorytecie $\pi = 0$ są wykonywane przez specjalistów w ramach luzów (nie w nadgodzinach). Metoda ta jest oparta na algorytmie programowania wieloetapowego, dla którego zdefiniowano: stan, wartośc stanu, stany alternatywne i regułę dominacji stanów. Otrzymany w rezultacie obliczeń projekt jest harmonogramem realizacji zadań remontowo-konserwacyjnych na oddziałach wydobywczych.

Obecnie w kopalniach węgla kamiennego zbiera się dane do opracowania harmonogramów pracy specjalistów (ślusarzy, elektryków, spawaczy) na minikomputer MKJ 25.

LITERATURA

[1] DUSZA K., KOWALOWSKI K., MARECKI F.: Sterowanie dyspozytorskie obsługą robót spawalniczych na kopalni węgla kamiennego. Materiały III Sympozjum na temat: Systemy zarządzania i sterowania kopalniami. Komitet Górnictwa PAN, Szklarska Poręba, 1979, ss. 164-174.

[2] KOWALOWSKI H., MARECKI F., DUSZA K.: Sterowanie dyspozytorskie remontami obudów hydraulicznych, ICAMC-80, Katowice, (komunikat), s.V.2.12.

[3] STARZYCZNY L., DUSZA K., MARECKI F.: Niezawodność systemu utrzymania ruchu na KWK. Materiały konferencji nt. IX Dni Jakości i Niezawodności, NOT, Gliwice 1980.

[4] KOWALOWSKI H., MARECKI F., STARZYCZNY L., DUSZA K.: An algorithm of Independent Tasks Scheduling in a System with Dispersed Parameters, 4-th International Conference on "Control Systems and Computer Science", Politechnical Institute of Bucharest, Bucharest 1981, pp.8-16, V. III.

[5] STARZYCZNY L., DUSZA K., MARECKI F.: Harmonogramowanie niezależnych zadań w systemie o rozproszonych parametrach. Zeszyty Naukowe Pol.Śl., s. Górnictwo, zeszyt 112, 1981.

Recenzent: Dr inż. Franciszek MARECKI

Wpłynęło do Redakcji 15.05.1982 r.

СОСТАВЛЕНИЕ ГРАФИКОВ РЕМОНТНО - ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫХ РАБОТ В ЦЕХАХ ШАХТЫ КАМЕННОГО УГЛЯ

Р е з ю м е

В работе, на основе анализа литературы, предложено метод составления графиков ремонтно - предупредительных работ. Метод базирует на алгоритме многошагового программирования для которого определено: состояние, значение состояния, альтернирующие состояния и правило доминирования состояний.

THE SCHEDULING OF REPAIR AND CONSERVATION TASKS ON MANY DEPARTMENTS OF COAL-MINE WITH DIFFERENT PRIORITIES OF REALIZATION

S u m m a r y

Basing on the literature review, we present a method of scheduling of the repair and conservation tasks placed in diverse output departments of a coal-mine and having various priorities. The approach is based on the multistage programming. We define: states, their values, alternative states and state domination rules.