ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1982

Seria: AUTOMATYKA z. 64 Nr kol. 736

Leon STARZYCZNY
KWK "Dębieńsko"

PROBLEM HARMONOGRAMOWANIA PRACY BRYGAD UTRZYMANIA RUCHU NA JEDNYM ODDZIALE KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie. W referacie przedstawiono model matematyczny pracy brygad utrzymania ruchu na jednym oddziale kopalni węgla kamiennego (KWK). Cechą charakterystyczną rozwiązywanego problemu są różnorodne ograniczenia logiczne kompleksu zadań. Przedstawiony model matematyczny jest podstawą dla algorytmu harmonogramowania.

1. WPROWADZENIE

W kopalni węgla kamiennego na każdym oddziale pomiędzy zmianami wydobywczymi realizowane są prace konserwacyjno-remontowe. Zadania konserwacyjno-remontowe wykonywane przez specjalistyczne brygady utrzymania ruchu w kopalni stanowią system, którego celem jest wykonywanie zadań konserwacyjno-remontowych w określonym przedziale czasu. Opóźnienie wykonywania zadań powoduje przestój oddziału wydobywczego, a tym samym stratę wydobycia węgla. Przez pojęcie brygady specjalistycznej rozumiemy grupę fachowców o określonych kwalifikacjach, np.: ślusarze, elektrycy, hydraulicy, cieśle, spawacze itp. Oznacza to, że zadania są przyporządkowane określonym specjalistom. Każda brygada specjalistów ma do wykonania pewien zbiór zadań w określonym czasie. Pomiędzy zadaniami mogą istnieć różnego typu relacje logiczne. Wyróżnić tutaj należy trzy typy zależności zadań wykonywanych na zmianie konserwacyjno-remontowej.

Typ α - gdy dwa zadania muszą być wykonane jednocześnie,
Typ β - gdy dwa zadania nie mogą być wykonane jednocześnie,
Typ γ - gdy z dwóch zadań jedno musi być wykonane przed drugim.

Ponadto występują ograniczenia czasowe, określające przedziały czasu, w których mogą być wykonane zadania i mogą pracować wykonawcy. W modelu pracy brygad specjalistycznych zakładamy, że wykonawcy pracują na jednym oddziale wydobywczym. Określenie harmonogramów pracy brygad specjalistycznych jest problemem trudnym z uwagi na to, że kompleks zadań do wykonania jest uwarunkowany ograniczeniami czasowymi, priorytetowością zadań, ograniczeniami kolejnościowymi, synchronizacją oraz ograniczeniami wzajemnego wykluczenia.

Problematyka ta była między innymi przedmiotem prac: [1, 2, 3 i 4].

2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Dany jest zbiór zadań do wykonania:

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

gdzie:

ω_n - n-te zadanie,

N - liczba zadań.

Czasy wykonywania zadań dane są wektorami:

$$\Theta = \left[\vartheta_n\right] \tag{2}$$

gdzie:

ϑ_n - czas wykonania zadania ω_n.

Dla każdego zadania określimy przedział czasu, w którym zadanie to musi być wykonane. Najwcześniejszy termin rozpoczęcia realizacji zadania jest elementem wektora:

$$\Phi = \left[\varphi_n\right] \tag{3}$$

gdzie:

φ_n - najwcześniejszy termin zakończenia realizacji zadania ω_n.

Analogicznie określimy terminy najpóźniejszego zakończenia realizacji zadań:

$$\underline{\Psi} = \left[\psi_n\right] \tag{4}$$

gdzie:

ψ_n - najpóźniejszy termin zakończenia realizacji zadania ω_n.

Mamy również zbiór wykonawców:

$$W = \left\{w_m\right\}_{(m=\overline{1,M})} \tag{5}$$

gdzie:

w_m - kod m-tego wykonawcy,

M - liczba wykonawców.

Dla zadań wykonawcy określimy kwalifikacje poprzez współczynniki zapisane wektorem:

$$F = \left[f_m\right] \tag{6}$$

gdzie:

f_m - współczynnik kwalifikacji m-tego wykonawcy.

Czas wykonania zadania ω_n przez wykonawcę w_m obliczamy dzieląc ϑ_n przez współczynnik f_m.

Terminy najwcześniejszego rozpoczęcia pracy przez wykonawców określić można wektorem:

$$R = \left[r_m\right] \tag{7}$$

gdzie:

r_m - termin najwcześniejszego rozpoczęcia pracy przez wykonawcę w_m.

Analogicznie zapiszemy terminy najpóźniejszego zakończenia pracy przez wykonawców:

$$Z = \left[z_m\right] \tag{8}$$

gdzie:

z_m - termin najpóźniejszego zakończenia pracy przez wykonawcę w_m.

Terminy [3, 4, 7 i 8] są podane względem chwili początkowej $t_0 = 0$.

Przedziały czasu wykonania zadania i pracy wykonawcy nie mogą być przekroczone.

Zakładamy, że wykonawcy są uprawnieni do realizacji tylko niektórych zadań, co zapisujemy w macierzy:

$$U = \left[u_{m,n}\right] \tag{9}$$

przy tym

$$u_{m,n} = \begin{cases} 1 : \text{jeżeli wykonawca } w_m \text{ może realizować zadanie,} \\ 0 : \text{w przeciwnym przypadku.} \end{cases}$$

Zakładamy, że dane są ograniczenia kolejnościowe realizacji zadań zapisane macierzą:

$$\Gamma = \left[\gamma_{\nu,n}\right]_{(\nu=\overline{1,N})} \tag{10}$$

gdzie:

$$\gamma_{\vartheta,n} = \begin{cases} 1 : \text{jeżeli zadanie } \omega_{\vartheta} \text{ jest bezpośrednim poprzednikiem zadania } \omega_n \\ 0 : \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

Załóżmy, że dane są ograniczenia wzajemnego wykluczenia realizacji zadań, zapisane macierzą:

$$\beta = \left[\beta_{\vartheta,n}\right] \tag{11}$$

gdzie:

$$\beta_{\vartheta,n} = \begin{cases} 1 : \text{jeżeli zadanie } \omega_{\vartheta} \text{ i } \omega_n \text{ nie mogą być wykonano równocześnie} \\ 0 : \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

Załóżmy, że dane są ograniczenia synchronizacji (incydencji) realizacji zadań, zapisane macierzą:

$$A = \left[\alpha_{\vartheta,n}\right] \tag{12}$$

gdzie:

$$\alpha_{\vartheta,n} = \begin{cases} 1 : \text{jeżeli zadania } \omega_{\vartheta} \text{ i } \omega_n \text{ nie mogą być wykonywane równocześnie} \\ 0 : \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

Celem optymalizacji realizacji kompleksu zadań jest minimalizacja czasu wykonania wszystkich zadań.

Jeżeli przez t_n oznaczymy moment zakończenia realizacji zadania, to kryterium optymalizacji możemy zapisać w postaci:

$$Q = \max_{1 \leq n \leq N} t_n \longrightarrow \min \tag{13}$$

gdzie:

Q - funkcja celu.

Rezultatem rozwiązywania tak sformułowanego problemu winien być harmonogram realizacji zadań przez wykonawców o postaci:

$$H = \langle\langle m_1, \rho_1, t_1\rangle, \ldots, \langle m_n, \rho_n, t_n\rangle, \ldots, \langle m_N, \rho_N, t_N\rangle\rangle \tag{14}$$

gdzie:

m_n - numer wykonawcy realizującego n-te zadanie,

ϱ_n - moment rozpoczęcia realizacji n-te zadanie.

Harmonogram optymalny spełnia kryterium [13].

3. KONCEPCJA ALGORYTMU

Do rozwiązania sformułowanego problemu można wykorzystać algorytm programowanie wieloetapowego. W rozpatrywanym problemie należy przydzielić każde zadanie któremuś z wykonawców. Zadań jest N, podjąć zatem należy N decyzji. Rezultatem N-etapowego procesu decyzyjnego jest dopuszczalne rozwiązanie problemu. Z teoretycznego punktu widzenia dla N zadań istnieje N! dopuszczalnych rozwiązań. Dla jednego wykonawcy próba wyznaczenia rozwiązania optymalnego poprzez wygenerowanie każdego rozwiązania dopuszczalnego jest w praktyce niemożliwe dla dużych N. Dlatego proponowane są inne metody i algorytmy pozwalające uniknąć przeglądu zupełnego. W metodach tych wykorzystuje się fakt, że dwie różna sekwencje N zadań na ogół nie różnią się na każdej pozycji, a tylko na niektórych pozycjach. W ten sposób nie potrzeba generować całej sekwencji, lecz tylko odtworzyć jej odpowiedni fragment. Ponadto istnieją reguły, które pozwalają stwierdzić czy tworzona sekwencja może być optymalna jeszcze przed podjęciem wszystkich N decyzji. Jeżeli np. mamy M wykonawców, to w rozwiązaniu optymalnym każdy z nich musi być wykorzystany. Gdyby jednemu z nich nie przydzielono zadania, to czas wykonania wszystkich zadań wydłużałby się. Jeżeli zatem w procesie podejmowania decyzji pierwszych N-M + 2 zadań przydzielono jednemu wykonawcy, to dalsze przydzielenie nie ma sensu,bo i tak jeden z wykonawców pozostanie bez pracy.

W algorytmie programowania wieloetapowego będą zdefiniowane tzw. stany procesu decyzyjnego. Stan procesu decyzyjnego jest pewnym wariantem przydziału η zadań $(0 \leq \eta \leq N)$ do wykonawców. Stanem początkowym jest umowny wariant, w którym nie przydzielono jeszcze żadnego zadania. Stan ten jest potrzebny do rozpoczęcia obliczeń w algorytmie. Wychodząc z tego stanu, na pierwszym etapie decyzyjnym przydzielamy jedno zadanie któremuś z wykonawców. W ten sposób otrzymujemy stan po pierwszym etapie decyzyjnym. Każdy stan pierwszego etapu decyzyjnego zawiera jedno zadanie. W algorytmie generowane są wszystkie stany pierwszego etapu na podstanie stanu początkowego, następnie wszystkie stany drugiego etapu na podstawie wszystkich stanów pierwszego etapu itp. Ogólnie wszystkie stany n-tego etapu są generowane na podstawie wszystkich stanów etapu n-1-go, stąd nazwa algorytm programowania wieloetapowego. Z każdym stanem związane jest jego wartość, która określa moment zakończenia realizacji zadań należęcych do tego stanu. Ponadto w algorytmie określa się procedurę generowania i eliminowania stanów. Stan ostatniego etapu o najmniejszej wartości daje rozwiązanie optymalne problemu.

4. UWAGI KOŃCOWE

Rozpatrywany model kompleksu zadań z ograniczeniami ujmuje wszystkie istotne sytuacje, które mogę wystąpić w realizacji zadań brygad specjalistycznych utrzymania ruchu w KWK. W opisanym algorytmie należy podać procedury generowania stanów i eliminacji stanów, które nie dają optymalnego rozwiązania. Na szczególną uwagę zasługują procedury generowania stanów oparte na spostrzeżeniu, że wykonawca (fachowiec) musi mieć nie tylko kwalifikacje, lecz i czas do realizacji zadania.

Opracowanie programu komputerowego dla rozwiązania problemu harmonogramowania kompleksu zadań może przynieść wymierne, znaczne efekty ekonomiczne w praktyce. Minimalizacja czasu wykonania zadań prowadzi do minimalizacji przestojów oddziału wydobywczego, a zatem do minimalizacji strat wydobycia węgla.

LITERATURA

[1] STARZYCZNY L., DUSZA K., MARECKI F.: Niezawodność systemu utrzymania ruchu w kopalni węgla kamiennego. Materiały Konferencji nt. VIII dni jakości i niezawodności. NOT, Gliwice 1980.

[2] KOWALOWSKI H., MARECKI F., STARZYCZNY L., DUSZA K.: An algorithm of Independent Tasks Scheduling in a system with Dispersed Parameters - Rumunia. 4-th Intern. Conf. on "Control Systems..." Bucharest 1981.

[3] STARZYCZNY L., DUSZA K., MARECKI F.: Harmonogramowanie niezależnych zadań w systemie o rozproszonych parametrach. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Górnictwo, z. nr 112, Gliwice 1981.

[4] STARZYCZNY L.: Niezawodność funkcjonowania brygad utrzymania ruchu na jednym oddziale kopalni węgla kamiennego. Materiały Konferencji nt. "IX dni jakości i niezawodności" NOT, Gliwice 1981.

Recenzent: Dr inż. Franciszek MARECKI

Wpłynęło do Redakcji 15.05.1982 r.

ПРОБЛЕМА СОСТАВЛЕНИЯ ГРАФИКОВ РАБОТ ДЛЯ РЕМОНТНЫХ БРИГАД НА ОДНОМ ЦЕХЕ В ШАХТЕ КАМЕННОГО УГЛЯ

Р е з ю м е

В работе дана математическая модель работы ремонтных бригад. Характерным для решения задачи, составления графиков, в этом случае, является наличие разных логических ограничений комплекса заданий. Предложенная модель используется для составления графиков ремонтных работ.

THE PROBLEM OF SCHEDULING OF THE WORK OF THE MOTION MAINTAINING BRIGADES IN A SINGLE DEPARTMENT OF A COAL-MINE

S u m m a r y

We present a mathematical model of the work of the motion maintaining brigades. The problem considered is complicated by diverse logical limitations of the task comples. The mathematical model is a base for a scheduling algorithm.