ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1978
Seria: Automatyka z.44 Nr kol. 580

Mirosław Zaborowski
Politechnika Śląska

METODA HARMONOGRAMOWANIA PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH OKRESOWO CIĄGŁYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono algorytm wyznaczania początków i końców okresów pracy oddziałów produkcyjnych o procesach technologicznych okresowo ciągłych oraz rodzaju i wielkości produkcji w tych okresach. Decyzje te są wypracowywane w oparciu o wytyczne wynikające z dobowego planu produkcji zakładu przemysłowego, którego częściami są rozpatrywane oddziały.

1. Definicje

Struktura oddziału produkcyjnego jest to uporządkowana trójka

$$\Lambda' = (\mathcal{L}'_u, \mathcal{L}'_e, \mathcal{L}'_y), \tag{1}$$

w której

$$\mathcal{L}'_u = \{t'_{u,1}, \dots t'_{u,N'_u}\} \tag{2}$$

- uporządkowany zbiór strumieni surowców dopływających do oddziału,

$$\mathcal{L}'_e = \{t'_{e,1}, \dots t'_{e,N'_e}\} \tag{3}$$

- uporządkowany zbiór strumieni półproduków dopływających do oddziału,

$$\mathcal{L}'_y = \{t'_{y,1}, \dots t'_{y,N'_y}\} \tag{4}$$

- uporządkowany zbiór strumieni produktów i półproduków odpływających z oddziału,

N'_u, N'_e, N'_y - moce zbiorów $\mathcal{L}_u$, $\mathcal{L}'_e$, $\mathcal{L}'_y$.

Struktura oddziału produkcyjnego może się zmieniać w wyniku zatrzymywania, bądź rozruchu danego oddziału, lub na skutek zmiany asortymentu produkowanych bądź przetwarzanych materiałów (rys.1). Ponieważ liczba możliwych struktur jest skończona, można je ponumerować. Na określenie $\varkappa$-tej struktury oddziału produkcyjnego ($\varkappa = 1, \dots N$) używać się będzie symboli

$$\Lambda^{\varkappa} = (\mathcal{L}^{\varkappa}_u, \mathcal{L}^{\varkappa}_e, \mathcal{L}^{\varkappa}_y), \tag{5}$$

$$\mathcal{L}^{\varkappa}_u = \{t^{\varkappa}_{u,1}, \dots t^{\varkappa}_{u,N^{\varkappa}_u}\}, \tag{6}$$

$$\mathcal{L}^{\varkappa}_e = \{t^{\varkappa}_{e,1}, \dots t^{\varkappa}_{e,N^{\varkappa}_e}\}, \tag{7}$$

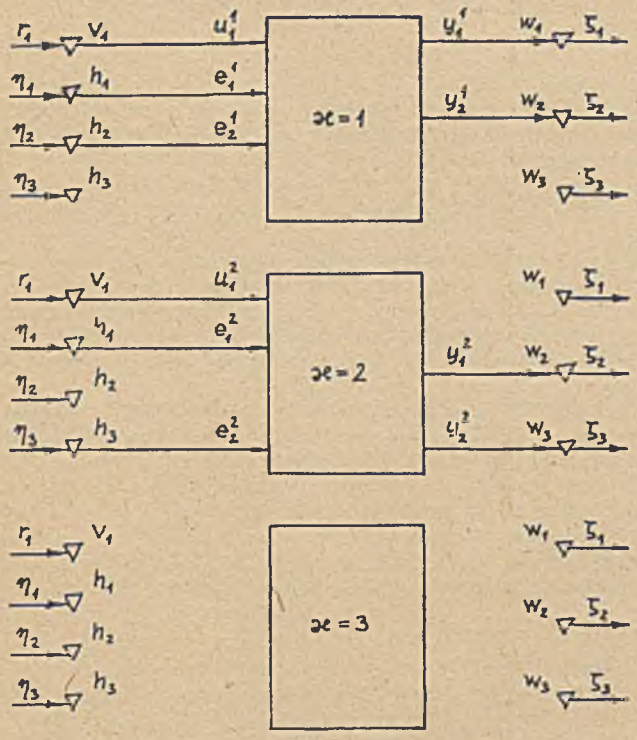
$$\mathcal{L}^{\varkappa}_y = \{t^{\varkappa}_{y,1}, \dots t^{\varkappa}_{y,N^{\varkappa}_y}\}, \tag{8}$$

o znaczeniach analogicznych do znaczeń symboli użytych w (1)...(4).

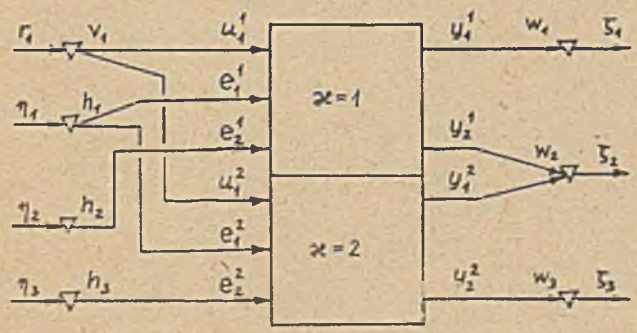
Każdy oddział produkcyjny ma przynajmniej dwie możliwe struktury. Przyjmuje się umowę, że strukturze $\Lambda' = (\emptyset, \emptyset, \emptyset)$ odpowiadającej postojowi danego oddziału przyporządkowuje się indeks $\varkappa = N$.

Proces technologiczny jest to część procesu produkcji danego zakładu przemysłowego, związana bezpośrednio ze zmianą cech fizycznych lub chemicznych przetwarzanych materiałów, realizowana w oddziale produkcyjnym tego zakładu.

Proces technologiczny okresowo ciągły jest to proces technologiczny, w którym materiały przetwarzane są okresowo, zachowując przy tym ciągłość



Rys.1. Różne struktury przykładowego oddziału produkcyjnego



Rys. 2. Struktura zastępcza przykładowego oddziału produkcyjnego

przepływu, a czasy pracy oddziału produkcyjnego, w którym przebiega dany proces, są rzędu 1 zmiany lub 1 doby. Możliwe są przy tym różne struktury oddziału produkcyjnego w różnych okresach pracy.

Zakłada się, że w każdym elementarnym przedziale czasowym o długości $\Delta\tau$ struktura oddziału produkcyjnego Λ'_τ jest stała. Dla ustalenia uwagi przyjmuje się $\Delta\tau = 1$ godz.

2. Zmienne decyzyjne

Zakłada się, że

- nie wolno zmienić struktury oddziału produkcyjnego, w szczególności nie wolno go zatrzymywać, przed zakończeniem raz zaplanowanego okresu pracy przy poprzedniej strukturze.
- Czas trwania czynności przygotowawczych $T_p^{\varkappa}$ po podjęciu decyzji o rozpoczęciu pracy przy strukturze $\Lambda^{\varkappa}$ jest znany dla wszystkich $\varkappa = 1, \ldots, N-1$.
- Natężenia przepływu wszystkich materiałów wejściowych i wyjściowych są stałe po zakończeniu czynności przygotowawczych, tzn. w pozostałej części okresu pracy danego oddziału produkcyjnego. Ponadto są one największe z możliwych w ramach omówionych dalej ograniczeń wynikających z planu produkcji całego zakładu i z warunków technicznych prowadzenia danego procesu.

Algorytm harmonogramowania jest uruchamiany bezpośrednio po zakończeniu poprzedniego okresu pracy, w chwili τ_k^o. Jeśli przedstawione dalej warunki przeprowadzenia rozruchu oddziału produkcyjnego nie są spełnione, to algorytm ten jest ponownie uruchamiany w chwilach τ_k^o+1, $\tau_k^o+2, \ldots$ itd., aż do chwili τ_p, w której warunki te zostają spełnione.

Celem harmonogramowania jest wyznaczenie

- początku okresu pracy τ_p,
- struktury oddziału produkcyjnego w okresie pracy rozpoczynającym się w chwili τ_p

$$\Lambda'_\tau = \Lambda^{\varrho}, \quad \tau = \tau_p+1, \ldots \tau_k, \tag{9}$$

przy czym $\varrho \in \{1, \ldots N\}$,

- ilości materiałów, które należy zużyć bądź wytworzyć w okresie pracy rozpoczynającym się w chwili τ_p, oznaczonych symbolami $u^{\varrho *}_{j,\tau_p}(j=1 \ldots N_u^{\varrho})$, $e^{\varrho *}_{j,\tau_p}(j=1, \ldots N_e^{\varrho})$, $y^{\varrho *}_{j,\tau_p}$ $(j=1, \ldots N_y^{\varrho})$.

Przy przyjętych wyżej założeniach przedstawione tu zmienne decyzyjne wyznaczają jednoznacznie koniec danego okresu pracy τ_k.

3. Struktura zastępcza oddziału produkcyjnego o procesie technologicznym okresowo ciągłym

Operatywne sterowanie produkcją dużego zakładu przemysłowego z okresem podejmowania decyzji $\Delta\tau = 1$ godz. jest praktycznie niemożliwe, jeśli decyzje te mają być optymalne ze względu na zmieniającą się sytuację ruchową zakładu, tzn. stan zapasów w magazynach buforowych, stopień wykonania zadań planowych, prognozy dostaw surowców, prognozy przekazywania do remontów poszczególnych oddziałów produkcyjnych, korekty planu zbytu, stan środków transportu produktów itd. Z tego powodu opracowano koncepcję dwupoziomowego operatywnego sterowania produkcją [1]. Na poziomie wyższym dokonuje się optymalizacji dobowych planów produkcji i ekspedycji [2], natomiast na poziomie niższym wypracowywane są konkretne decyzje o zmianach obciążenia poszczególnych oddziałów produkcyjnych i urządzeń ekspedycyjnych.

Poważną trudność w sformułowaniu problemu optymalizacji operatywnego sterowania produkcją stanowią dokonujące się w ciągu doby zmiany struktur oddziałów produkcyjnych pracujących okresowo. Trudność tę ominięto przez wprowadzenie stałej w czasie struktury zastępczej, bazującej na zastąpieniu każdego takiego oddziału zbiorem oddziałów fikcyjnych (rys.2), reprezentujących poszczególne możliwe struktury tego oddziału. Struktura zastęp-

-cza określona jest wzorem

$$\Lambda = (\mathcal{L}_u, \mathcal{L}_e, \mathcal{L}_y), \tag{10}$$

gdzie:

$$\mathcal{L}_u = \bigcup_{\varkappa=1}^{N-1} \mathcal{L}_u^{\varkappa}, \tag{11}$$

$$\mathcal{L}_e = \bigcup_{\varkappa=1}^{N-1} \mathcal{L}_e^{\varkappa}, \tag{12}$$

$$\mathcal{L}_y = \bigcup_{\varkappa=1}^{N-1} \mathcal{L}_y^{\varkappa}, \tag{13}$$

przy czym zbiory $\mathcal{L}_u^{\varkappa}, \mathcal{L}_e^{\varkappa}, \mathcal{L}_y^{\varkappa}$ $(\varkappa=1,\ldots N)$ są rozłączne, tzn. strumienie $t_{u,j}^{\varkappa}$ $(j=1,\ldots N_u^{\varkappa})$, $t_{e,j}^{\varkappa}$ $(j=1,\ldots N_e^{\varkappa})$, $t_{y,j}^{\varkappa}$ $(j=1,\ldots N_y^{\varkappa})$ występujące przy różnych strukturach $\Lambda^{\varkappa}$ $(\varkappa=1,\ldots N-1)$ są uważane za różne nawet w takich przypadkach, gdy niektóre z nich są strumieniami tego samego materiału.

4. Wytyczne wynikające z operatywnego planu produkcji całego zakładu

W wyniku działania algorytmu optymalizacji operatywnego sterowania produkcją na początku doby o indeksie t=1 uzyskuje się dla danego oddziału produkcyjnego optymalny plan produkcji $\hat{u}_t^{\varkappa}, \hat{e}_t^{\varkappa}, \hat{y}_t^{\varkappa}$ $(\varkappa=1,\ldots N-1, t=1,\ldots T)$ przy czym

$u_t^{\varkappa}$ - wektor ilości surowców dopływających do oddziału produkcyjnego przez tę część doby o indeksie t, w której posiada on strukturę $\Lambda^{\varkappa}$,

$e_t^{\varkappa}$ -określony analogicznie wektor ilości półproduktów dopływających do oddziału,

$y_t^{\varkappa}$ - określony analogiczne wektor ilości produktów i półproduktów odpływających z oddziału,

T - horyzont optymalizacji.

Należy zwrócić uwagę, że przy tworzeniu planu produkcji dobowej jest obojętne, jak długo trwają części doby, w których dany oddział pracuje przy poszczególnych strukturach.

Znajomość planu produkcji dla t=1,...T i określonej wyżej sytuacji ruchowej w chwili t=0 umożliwia opracowanie harmonogramów produkcji oddziałów produkcyjnych dla $\tau=1,2,\ldots,cT$, gdzie $c=\Delta t/\Delta\tau$. c=24, ponieważ przyjęto $\Delta t=1$ doba, $\Delta\tau=1$ godz. Harmonogram dla dowolnego oddziału może być na bieżąco korygowany, tzn. opracowywany na nowo po każdym okresie pracy. Postępowanie takie jest konieczne, gdy zmieniają się warunki przyjęte przy tworzeniu harmonogramu długoterminowego.

5. Magazyny operacyjne

Okresy pracy oddziałów produkcyjnych współpracujących ze sobą nie muszą być ściśle zsynchronizowane. Ponadto oddziały produkcyjne pracujące okresowo mogą współpracować z oddziałami o procesach technologicznych ciągłych. Dlatego przyjmuje się, że oddziały produkcyjne o procesach technologicznych okresowo ciągłych są wyposażone w magazyny operacyjne wszystkich materiałów dopływających i odpływających z tych oddziałów (rys.1,2). Równania bilansu tych magazynów są następujące:

$$v_{i,\tau} - v_{i,\tau-1} = r_{i,\tau} - \sum_{\varkappa\in\mathcal{K}_{u,i}} u_{j(\varkappa,i)_u,\tau}^{\varkappa}, \qquad i=1,\ldots N_r \tag{14}$$

$$h_{i,\tau} - h_{i,\tau-1} = \eta_{i,\tau} - \sum_{\varkappa\in\mathcal{K}_{e,i}} e_{j(\varkappa,i)_e,\tau}^{\varkappa}, \qquad i=1,\ldots N_\eta \tag{15}$$

$$w_{i,\tau} - w_{i,\tau-1} = -\zeta_{i,\tau} + \sum_{\varkappa\in\mathcal{K}_{y,i}} y_{j(\varkappa,i)_y,\tau}^{\varkappa}, \qquad i=1,\ldots N_\zeta \tag{16}$$

gdzie:

$v_{i,\tau}, h_{i,\tau}, w_{i,\tau}$ - poziomy zapasów w magazynach operacyjnych surowców, półproduktów wejściowych oraz produktów i półproduktów wyjściowych,

$r_{i,\tau}, \eta_{i,\tau}$ - ilości surowców i półproduktów dopływające w ciągu godziny τ do wejściowych magazynów operacyjnych danego oddziału,

$\zeta_{i,\tau}$ - ilości produktów i półproduktów odpływających w ciągu godziny τ z wyjściowych magazynów operacyjnych danego oddziału,

$u^{\varkappa}_{j,\tau}, e^{\varkappa}_{j,\tau}$ - ilości surowców i półproduktów dopływające w ciągu godziny τ do oddziału produkcyjnego, jeżeli $\Lambda_\tau = \Lambda^{\varkappa}$,

$y^{\varkappa}_{j,\tau}$ - ilości produktów i półproduktów odpływające w ciągu godziny τ z oddziału produkcyjnego, jeżeli $\Lambda'_\tau = \Lambda^{\varkappa}$,

$\mathcal{H}_{u,i}$ - zbiór indeksów struktur oddziału produkcyjnego, przy których i-ty surowiec dopływa do oddziału produkcyjnego,

$\mathcal{H}_{e,i}$ - określony analogicznie zbiór indeksów struktur dla i-go półproduktu wejściowego,

$\mathcal{H}_{y,i}$ - określony analogicznie zbiór indeksów struktur dla i-go materiału wyjściowego (produktu lub półproduktu),

$j(\varkappa,i)_u$ - indeks porządkowy strumienia i-go surowca przy strukturze $\Lambda^{\varkappa}$,

$j(\varkappa,i)_e$ - indeks porządkowy strumienia i-go półproduktu wejściowego przy strukturze $\Lambda^{\varkappa}$,

$j(\varkappa,i)_y$ - indeks porządkowy strumienia i-go materiału wyjściowego przy strukturze $\Lambda^{\varkappa}$.

Ilości materiałów przepływających w oddziale przy różnych strukturach muszą spełniać warunek:

$$\bigwedge_{\varrho=1,\dots N} \bigwedge_{\tau=1,\dots cT} \Big\{ \Big[\Big(\bigvee_{j\in\{1,\dots N^{\varrho}_u\}} u^{\varrho}_{j,\tau} \neq 0 \Big) \vee \Big(\bigvee_{j\in\{1,\dots N^{\varrho}_e\}} e^{\varrho}_{j,\tau} \neq 0 \Big) \vee \Big(\bigvee_{j\in\{1,\dots N^{\varrho}_y\}} y^{\varrho}_{j,\tau} \neq 0 \Big) \Big] \Longrightarrow$$

$$\Longrightarrow \bigwedge_{\substack{\varkappa=1,\dots N-1\\ \varkappa\neq\varrho}} \Big[\Big(\bigwedge_{j=1,\dots N^{\varkappa}_u} u^{\varkappa}_{j,\tau} = 0 \Big) \wedge \Big(\bigwedge_{j=1,\dots N^{\varkappa}_e} e^{\varkappa}_{j,\tau} = 0 \Big) \wedge \Big(\bigwedge_{j=1,\dots N^{\varkappa}_y} y^{\varkappa}_{j,\tau} = 0 \Big) \Big] \Big\} \qquad (17)$$

Zakłada się, że

$$r_{i,t} = \hat{r}_{i,t} = \sum_{\varkappa\in\mathcal{H}_{u,i}} \hat{u}^{\varkappa}_{j(\varkappa,i)_u,t}, \qquad i=1,\dots N_r;\ t=1\dots T, \qquad (18)$$

$$\eta_{i,t} = \hat{\eta}_{i,t} = \sum_{\varkappa\in\mathcal{H}_{e,i}} \hat{e}^{\varkappa}_{j(\varkappa,i)_e,t}, \qquad i=1,\dots N_\eta;\ t=1\dots T, \qquad (19)$$

$$\zeta_{i,t} = \hat{\zeta}_{i,t} = \sum_{\varkappa\in\mathcal{H}_{y,i}} \hat{y}^{\varkappa}_{j(\varkappa,i)_y,t}, \qquad i=1,\dots N_\zeta;\ t=1\dots T, \qquad (20)$$

Oznacza to, że jeśli za strumienie wejściowe i wyjściowe oddziału produkcyjnego przyjmie się strumienie dopływające do jego magazynów operacyjnych wejściowych i odpływające z jego magazynów operacyjnych wyjściowych, co jest dopuszczalne z punktu widzenia sterowania produkcją całego zakładu, to optymalny plan produkcji dobowej dla dni objętych horyzontem optymalizacji jest przez dany oddział wykonywany w sposób ścisły.

Różnice między natężeniami dopływu i odpływu z magazynów operacyjnych, spowodowane zmianami struktury oddziału produkcyjnego, powodują wahania poziomu zapasów w tych magazynach. Wielkość tych wahań zależy od sposobu

funkcjonowania algorytmu harmonogramowania i od przebiegów czasowych $\hat{r}_{i,t}$, $\hat{\eta}_{i,t}$, $\hat{\zeta}_{i,t}$. Wobec tego przyjęcie założeń (18)(19)(20) wymaga wcześniejszego założenia o wielkościach magazynów operacyjnych v_i^{max} $(i=1,\dots N_r)$, h_i^{max} $(i=1\dots N_\eta)$, w_i^{max} $(i=1\dots N_\zeta)$, które muszą być na tyle duże, aby wahania poziomu zapasów nie były od nich większe.

Podstawowym warunkiem, który musi spełniać algorytm harmonogramowania jest warunek jego "stabilności", sformułowany następująco:

$$\Big\{\bigvee_{M>0}\bigwedge_{t\in\mathcal{N}}\Big[\Big(\bigwedge_{i=1,\dots N_r}|\hat{r}_{i,t}|<M\Big)\wedge\Big(\bigwedge_{i=1,\dots N_\eta}|\hat{\eta}_{i,t}|<M\Big)\wedge\Big(\bigwedge_{i=1,\dots N_\zeta}|\hat{\zeta}_{i,t}|<M\Big)\Big]\Big\}\Rightarrow$$

$$\Rightarrow\bigwedge_{0<\alpha<1}\Big\{\Big[\bigwedge_{i=1,\dots N_r}\bigvee_{v_i^{max}>0}P\Big(\bigwedge_{t\in\mathcal{N}}0\le v_{i,t}\le v_i^{max}\Big)>\alpha\Big]\wedge\Big[\bigwedge_{i=1,\dots N_\eta}\bigvee_{h_i^{max}>0}$$

$$P\Big(\bigwedge_{t\in\mathcal{N}}0\le h_{i,t}\le h_i^{max}\Big)>\alpha\Big]\wedge\Big[\bigwedge_{i=1,\dots N_\zeta}\bigvee_{w_i^{max}>0}P\Big(\bigwedge_{t\in\mathcal{N}}0\le w_{i,t}\le w_i^{max}\Big)>\alpha\Big]\Big\}, \quad (21)$$

gdzie:

P - prawdopodobieństwo,
$\mathcal{N}$ - zbiór liczb naturalnych,

$r_{i,t}$, $\eta_{i,t}$, $\zeta_{i,t}$, $v_{i,t}$, $h_{i,t}$, $w_{i,t}$ - wielkości zdefiniowane analogicznie jak $r_{i,\tau}$, $\eta_{i,\tau}$, $\zeta_{i,\tau}$, $v_{i,\tau}$, $h_{i,\tau}$, $w_{i,\tau}$ dla czasu liczonego w dobach.

6. Stan oddziału produkcyjnego o procesie technologicznym okresowo ciągłym

Zgodnie z założeniem przyjętym w [2] pomija się dynamikę oddziałów produkcyjnych. Po włączeniu magazynów operacyjnych do danego oddziału o procesie technologicznym okresowo ciągłym na jego stan w chwili τ składają się wielkości zapasów w tych magazynach $v_{i,\tau}$ $(i=1,\dots N_r)$, $h_{i,\tau}$ $(i=1,\dots N_\eta)$, $w_{i,\tau}$ $(i=1,\dots N_\zeta)$ oraz jego **struktura** Λ'_τ, a jeśli τ należy do pewnego okresu pracy to dodatkowo $\tau_{k,\tau}$ - przewidywany moment zakończenia okresu pracy, do którego należy chwila τ,

$u_{j,\tau}^{g*}$ $(j=1,\dots N_u^g)$, $e_{j,\tau}^{g*}$ $(j=1,\dots N_e^g)$, $y_{j,\tau}^{g*}$ $(j=1,\dots N_y^g)$ - przewidywane ilości materiałów, które dopłyną do oddziału i odpłyną z niego od chwili τ do $\tau_{k,\tau}$.

7. Algorytm harmonogramowania

Przejmuje się, że dla okresów pracy rozpoczynających się w dniu t, tzn. w chwili $\tau_\rho\in\{c(t-1)+1,\dots,c\cdot t\}$ obowiązują zależności

$$\bigwedge_{j=1,\dots N_u^g}\frac{u_{j,\tau_\rho}^{g*}}{\hat{u}_{j,t}^g}=\lambda_{\tau_\rho}^g \quad (22)$$

$$\bigwedge_{j=1,\dots N_e^g}\frac{e_{j,\tau_\rho}^{g*}}{\hat{e}_{j,t}^g}=\lambda_{\tau_\rho}^g \quad (23)$$

$$\bigwedge_{j=1,\dots N_y^g}\frac{y_{j,\tau_\rho}^{g*}}{\hat{y}_{j,t}^g}=\lambda_{\tau_\rho}^g \quad (24)$$

Wielkość $\lambda^{\varrho}_{\tau_p}$, do której są proporcjonalne wszystkie ilości materiałów, jakie dopływają do oddziału produkcyjnego i odpływają z niego przy strukturze Λ^{ϱ} w okresie pracy rozpoczynającym się w chwili τ_p, nazywa się wielkością szarży.

Poza wielkościami już zdefiniowanymi algorytm harmonogramowania korzysta z następujących danych:

- $u_j^{max,\varkappa}$, $\bar{u}_j^{\varkappa}$ $(j=1,\dots N_u^{\varkappa};\ \varkappa=1,\dots,N-1)$; $e_j^{max,\varkappa}$, $\bar{e}_j^{\varkappa}$ $(j=1,\dots N_e^{\varkappa};$ $\varkappa=1,\dots,N-1)$, $y_j^{max,\varkappa}$, $\bar{y}_j^{\varkappa}$ $(j=1,\dots N_y^{\varkappa};\ \varkappa=1,\dots,N-1)$ - ograniczenia na ilości materiałów, które mogą przepływać w odpowiednich strumieniach w ciągu godziny (jeśli dany przepływ nie jest ograniczony, to przyjmuje się odpowiednio dużą liczbę dowolną) oraz wielkości reprezentujące przepływy średnie (np. ilości materiałów, które w poprzednim roku przepływały średnio w ciągu godziny);
- $\lambda_{\tau}^{min,\varkappa}$ $(\varkappa=1,\dots N-1)$ - dolne ograniczenie na wielkość szarży w przypadku, gdy okres pracy rozpoczyna się w chwili τ przy strukturze $\Lambda^{\varkappa}$. Wielkość tę wprowadza się, aby uniknąć zbyt krótkich okresów pracy, które powodują wzrost sumy czasów postoju. Do obliczenia $\lambda_{\tau}^{min,\varkappa}$ potrzebne są $\hat{u}_t^{\varkappa}, \hat{e}_t^{\varkappa}, \hat{y}_t^{\varkappa}$ oraz wielkość charakteryzująca minimalny czas trwania okresu pracy, np. minimalna ilość jednego z produktów uzyskiwana w okresie pracy;
- $\lambda_{\tau}^{max,\varkappa}$ $(\varkappa=1,\dots,N-1)$ - górne ograniczenie na wielkość szarży, obliczone podobnie jak $\lambda_{\tau}^{min,\varkappa}$, a wynikające z przyczyn nie związanych z poziomem zapasów w magazynach operacyjnych, np. z konieczności wykonywania przeglądów okresowych.

Algorytm harmonogramowania uruchamiany w chwili τ należącej do dnia t działa następująco:

1° Wczytaj dane

$K, N_r, N_\eta, N_\zeta, T_p^{\varkappa}, N_u^{\varkappa}, N_e^{\varkappa}, N_y^{\varkappa}$; $\varkappa=1,\dots N-1$;

$\lambda_{\tau}^{min,\varkappa}, \lambda_{\tau}^{max,\varkappa}$; $\varkappa=1,\dots N-1$;

$u_j^{max,\varkappa}, \bar{u}_j^{\varkappa}, \hat{u}_{j,t}^{\varkappa}$; $j=1,\dots N_u^{\varkappa}$; $\varkappa=1,\dots N-1$

$e_j^{max,\varkappa}, \bar{e}_j^{\varkappa}, \hat{e}_{j,t}^{\varkappa}$; $j=1,\dots N_e^{\varkappa}$; $\varkappa=1,\dots N-1$

$y_j^{max,\varkappa}, \bar{y}_j^{\varkappa}, \hat{y}_{j,t}^{\varkappa}$; $j=1,\dots N_y^{\varkappa}$; $\varkappa=1,\dots N-1$

$v_{i,\tau}, v_i^{max}$; $i=1,\dots N_r$;

$h_{i,\tau}, h_i^{max}$; $i=1,\dots N_\eta$;

$w_{i,\tau}, w_i^{max}$; $i=1,\dots N_\zeta$.

2° Oblicz wartości priorytetów dla wszystkich aktywnych stuktur oddziału

$$\pi_t^{\varkappa} = \mathrm{Max}\left\{ \mathrm{Max}_{j=1,\dots N_u^{\varkappa}} \frac{\hat{u}_{j,t}^{\varkappa}}{\bar{u}_j^{\varkappa}},\ \mathrm{Max}_{j=1,\dots N_e^{\varkappa}} \frac{\hat{e}_{j,t}^{\varkappa}}{\bar{e}_j^{\varkappa}},\ \mathrm{Max}_{j=1,\dots N_y^{\varkappa}} \frac{\hat{y}_{j,t}^{\varkappa}}{\bar{y}_j^{\varkappa}} \right\};\quad \varkappa=1,\dots N-1 \tag{25}$$

3° Utwórz zbiór

$$\mathcal{K} = \{1,\dots N-1\} \tag{26}$$

4° Ustaw n=0

5° Ustaw n=n+1

6° Wybierz strukturę Λ^{ϱ} o największym priorytecie

$$\pi_t^{\varrho} = \underset{\varkappa \in \mathcal{K}}{\mathrm{Max}}\ \pi_t^{\varkappa} \tag{27}$$

7° Usuń indeks ϱ ze zbioru $\mathcal{H}$

$$\mathcal{H} = \mathcal{H} - \{\varrho\} \tag{28}$$

8° Oblicz maksymalną wielkość szarży przy strukturze Λ^{ϱ}

$$\hat{\lambda}_{\tau}^{\varrho} = \underset{\lambda \in \mathcal{Z}}{\mathrm{Max}}\ \lambda \ , \tag{29}$$

przy czym

$$\mathcal{Z} = \{\lambda : (0 \leq \lambda \leq \lambda_{\tau}^{max,\varrho}) \wedge (\bigwedge_{j=1,\dots N_u^{\varrho}} \lambda \cdot \hat{u}_{j,\tau}^{\varrho} \leq v_{j,\tau}^{\varrho *}) \wedge$$

$$\wedge (\bigwedge_{j=1,\dots N_e^{\varrho}} \lambda \cdot \hat{e}_{j,\tau}^{\varrho} \leq h_{j,\tau}^{\varrho *}) \wedge (\bigwedge_{j=1,\dots N_y^{\varrho}} \lambda \cdot \hat{y}_{j,\tau}^{\varrho} \leq w_j^{max,\varrho *} - w_{j,\tau}^{\varrho *})\} \ , \tag{30}$$

gdzie

$$v_{j,\tau}^{\varrho *} = v_{i,\tau} \ ; \quad j = j(\varrho, i)_u \tag{31}$$

$$h_{j,\tau}^{\varrho *} = h_{i,\tau} \ ; \quad j = j(\varrho, i)_e \tag{32}$$

$$\left.\begin{aligned} w_{j,\tau}^{\varrho *} &= w_{i,\tau} \\ w_j^{max,\varrho *} &= w_i^{max} \end{aligned}\right\} \ j = j(\varrho, i)_y \tag{33}$$

9° Zbadaj, czy struktura Λ^{ϱ} jest realizowalna, tzn. czy $\hat{\lambda}_{\tau}^{\varrho} \geq \lambda_{\tau}^{min,\varrho}$, (34)

Jeśli tak, przejdź do 13°.

10° Sprawdź, czy zbadano realizowalność wszystkich struktur, tzn. czy n=N-1. Jeśli nie, przejdź do 5°.

11° Drukuj komunikat: "URUCHOMIC ALGORYTM PONOWNIE ZA GODZINE".

12° Stop.

13° Podstaw

$$\tau_p = \tau \tag{35}$$

$$u_{j,\tau_p}^{\varrho *} = \hat{\lambda}_{\tau_p}^{\varrho} \cdot \hat{u}_{j,t}^{\varrho} \ ; \quad j = 1, \dots N_u^{\varrho} \tag{36}$$

$$e_{j,\tau_p}^{\varrho *} = \hat{\lambda}_{\tau_p}^{\varrho} \cdot \hat{e}_{j,t}^{\varrho} \ ; \quad j = 1, \dots N_e^{\varrho} \tag{37}$$

$$y_{j,\tau_p}^{\varrho *} = \hat{\lambda}_{\tau_p}^{\varrho} \cdot \hat{y}_{j,t}^{\varrho} \ ; \quad j = 1, \dots N_y^{\varrho} \tag{38}$$

$$\tau_k = \tau_p + T_p^{\varrho} + \mathrm{Max}\left\{ \underset{j=1,\dots N_u^{\varrho}}{\mathrm{Max}} \frac{u_{j,\tau_p}^{\varrho *}}{u_j^{max,\varrho}} , \underset{i=1,\dots N_e^{\varrho}}{\mathrm{Max}} \frac{e_{j,\tau_p}^{\varrho *}}{e_j^{max,\varrho}} , \underset{j=1,\dots N_y^{\varrho}}{\mathrm{Max}} \frac{y_{j,\tau_p}^{\varrho *}}{y_j^{max,\varrho}} \right\} \tag{39}$$

14° Drukuj $\tau_p, \tau_k, \varrho, u^{\varrho *}_{j,\tau_p}$ $(j=1,\dots N^{\varrho}_{u})$, $e^{\varrho *}_{j,\tau_p}$ $(j=1,\dots N^{\varrho}_{e})$,

$y^{\varrho *}_{j,\tau_p}$ $(j=1,\dots N^{\varrho}_{y})$.

15° Stop.

Przedstawiony wyżej schemat działania algorytmu harmonogramowania jest nieco uproszczony, ponieważ nie uwzględnia, że w rzeczywistości

- magazyny operacyjne poszczególnych półproduktów są równocześnie magazynami wyjściowymi i wejściowymi współpracujących ze sobą oddziałów,
- magazyny operacyjne pewnych materiałów mogą obsługiwać kilka różnych oddziałów produkcyjnych.

Niezbędne modyfikacje algorytmu harmonogramowania nie zmieniają zasadniczo sposobu jego działania a ich omawianie wymaga dość głębokiej analizy struktury zakładu przemysłowego.

LITERATURA

[1] M.Zaborowski: "Operatywne sterowanie produkcją w zakładach przemysłowych". Prace Krajowej Konferencji nt. "Nowoczesne systemy eksploatacji". Wrocław 1977.

[2] M.Zaborowski: Optymalizacja sterowania rozpływem materiałów w zakładach przemysłowych o produkcji masowej . Przyjęto do druku w "Podstawach Sterowania".

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ ГРАФИКОВ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Р е з ю м е

В работе представлен алгоритм определения начал и концов периодов работы заводских цехов, в которых происходят периодические технологические процессы, а также нагрузки этих цехов и ассортимента выпускаемых продуктов в этих цехах.

A. METHOD OF BATH PROCESS TIME DIAGRAM PREPARATION

S u m m a r y

The paper presents an algorithm designed to prepare the graphic schedule of the bath process installations. The algorithm appoints the beginnings and ends of on-load periods as well as the installations loads and the assortment of produced materials.