

# ZARZĄDZANIE PRODUKCJĄ

ZYGMUNT MAZUR  
MAREK DUDEK

## Sterowanie ciągłością przepływu produkcji w gniazdach wieloprzedsmiotowych

### 1. Wstęp

Sterowanie przepływem produkcji to zespół działań związanych z uruchamianiem procesu produkcji, śledzeniem jego realizacji i regulacją jego przepływu. Głównym celem sterowania jest wyprodukowanie wyrobów w ilościach i terminach określonych w planie przy zapewnieniu ciągłego przepływu. Sterowanie przepływem produkcji polega więc na takim zarządzaniu przepływem, aby uzyskać określoną ilość w określonym terminie. W sterowaniu przepływem produkcji korzysta się z podstawowych zasad logistyki. Podstawowa zasada logistyki to usprawnienie przepływu.

Najkorzystniejszym przepływem jest przepływ ciągły zsynchronizowany z ustalonymi terminami realizacji. Wymieniony przepływ pozwala na uzyskanie następujących efektów:

- zmniejszenie zapasów międzyoperacyjnych,
- dostępność w toku realizacji procesu stanowisk i środków transportowych,
- zmniejszenie ilości wyrobów wykonanych przedterminowo.

Osiągnięcie tych efektów jest możliwe poprzez zaprojektowanie systemu sterowania przepływem produkcji, który zapewni odpowiednią synchronizację zleceń. Synchronizacja powinna doprowadzić do realizacji każdej fazy wytwarzania wtedy, kiedy trzeba, a wyrobów finalnych zgodnie co do terminu i ilości.

### 2. Sterowanie produkcją w komórkach obróbki grupowej

W komórkach obróbki grupowej realizuje się produkcję grupy wyrobów. Komórki te cechują się dużą zmiennością wykonywanych zadań i zmiennością realizowanych przepływów. W takich warunkach wzrasta rola i znaczenie sterowania przepływem produkcji. Sterowanie przepływem produkcji w celu uzyskania założonych terminów realizacji zadań i ciągłości przepływu polega na śledzeniu i regulacji następujących parametrów:

- terminu rozpoczęcia ciągu operacji na danym stopniu,

- liczby równoległych stanowisk wykonujących równocześnie daną operację,
- wielkości partii transportowej.

Dla danej komórki obróbki grupowej wymienione parametry zmieniać można w granicach elastyczności istniejącej już struktury tej komórki. W możliwych granicach elastyczności struktury steruje się przepływami, dotrzymując ustalonych w planie produkcji założeń. Wynikiem prawidłowo działającego systemu sterowania powinno być dotrzymanie następującego warunku:

$$Cc_j \leq T_j$$

gdzie:

- $Cc_j$  — termin realizacji  $j$ -tego zadania przy danym wariacie ciągłego przepływu,
- $T_j$  — ustalony planem termin otrzymania żądanej wielkości produkcji  $j$ -tego zadania.

Sterowane parametry wpływają na termin realizacji poprzez oddziaływanie na długość cyklu wykonania danego zadania lub ich grupy. Wpływ parametrów na długość cyklu przedstawia następująca formuła:

$$Cc_j = r_1 \cdot \sum_{i=1}^{N-1} t_{i1} + \sum_{i=2}^N Sw_i + r_j \cdot \sum_{j=1}^M t_{Nj}$$

gdzie:

- $r_j$  — liczba sztuk partii transportowej dla  $j$ -tego wyrobu,
- $p_j$  — wielkość partii  $j$ -tego wyrobu w sztukach,  $p_j = \sum r_j$

$$t_{ij} = \frac{t_{oij}}{n_{ij}}$$

- $t_{oij}$  — czas trwania  $i$ -tej operacji na  $j$ -tym wyrobie,
- $n_{ij}$  — liczba równoległych stanowisk do wykonania  $i$ -tej operacji  $j$ -tego zadania,
- $Sw_i$  — przesunięcie względne terminu rozpoczęcia ciągu operacji na danym stopniu;  $Sw_1 = 0$

Parametry  $n_{ij}$ ,  $r_j$ ,  $Sw_i$  zmieniać można w granicach elastyczności struktury danej komórki. Struktura komórki to liczba wszystkich stanowisk, liczba stanowisk danego typu oraz system transportowy i jego organizacja wynikająca z przestrzennego rozmieszczenia stanowisk.

W sterowaniu równocześnie trzema parametrami i badaniu ich wpływu na terminy realizacji zadań autorzy proponują stosować technikę symulacji.

### 3. Opis procedury sterowania

Zgodnie z podanymi wcześniej założeniami ustalania reguł przepływu jako przedmiot badań wybrano procesy wytwórcze realizowane w gnieździe przedmiotowym ukierunkowanym, którego charakterystyka jest następująca:

- produkuje się  $M$  różnych wyrobów podobnych,
- gniazdo wyposażone jest we wszystkie niezbędne stanowiska potrzebne do realizacji wszystkich operacji technologicznych  $N$ ,
- liczba stanowisk danego typu  $n_i$  jest z góry określona w procesie projektowania gniazda,
- globalna wielkość produkcji  $P = \sum_j p_j$  może się zmieniać w ustalonych granicach,
- dysponujemy czasami jednostkowymi  $t_{o_{ij}}$  oraz przebiegami procesów technologicznych dla wszystkich wyrobów (marszruty); w procesach niektórych wyrobów dopuszcza się opuszczanie operacji,
- wyjściowy program produkcji jest programem wynikającym z terminowego portfela zamówień.

Projektowanie przepływów przebiegać będzie wg następującego algorytmu:

- a) szeregujemy przydzielone komórce zadania do wykonania wg terminów zamówień (zadanie pierwsze to takie, które ma najwcześniejszy termin wykonania),
- b) porządkujemy macierz  $t_{o_{ij}}$  wg ustalonej w punkcie a) kolejności; tworzymy macierz wartości  $|p_j \cdot t_{o_{ij}}|$  oraz macierz terminów  $|C_{ij}|$

$$C_{ij} = \tau_{ij} + \max(C_{i,j-1}, C_{i-1,j})$$

gdzie:

$\tau_{ij}$  — pracochłonność  $j$ -tego zadania na  $i$ -tej operacji

$$\tau_{ij} = p_j \cdot t_{o_{ij}}$$

lub

$$\tau_{ij} = p_j \cdot \frac{t_{o_{ij}}}{n_{ij}}$$

po wprowadzeniu równoległych stanowisk dla realizacji równocześnie  $i$ -tej operacji dla  $j$ -tego zadania,

lub

$$\tau_{ij} = r_j \cdot t_{o_{ij}}$$

przy realizacji  $j$ -tego zadania w partiach transportowych,

lub

$$\tau_{ij} = r_j \cdot \frac{t_{oij}}{n_{ij}}$$

przy realizacji  $j$ -tego zadania w partiach transportowych i wprowadzeniu równoległych stanowisk do realizacji równocześnie  $i$ -tej operacji  $j$ -tego zadania, gdzie:

$$\tau_{i1} = Sw_i + t_{oij}$$

$C_{ij}$  — czas, po jakim  $j$ -ty wyrób będzie po  $i$ -tej operacji ( $i$ -tej fazie realizacji).

c) wprowadzamy układ czasowo-zwarty, wyliczając jego parametry, stosując metodę węzłów synchronizacyjnych [1]:

— przesunięcie względne  $Sw_i$

— przesunięcie bezwzględne  $Sb_i$ , gdzie:  $Sb_i = \sum_{i=1}^{N-1} t_{i1} + \sum_{i=2}^N Sw_i$

d) sprawdzamy, czy spełniony jest warunek  $C_{Nj} \leq T_j$ , jeśli nie, to przystępujemy do formowania przepływu danego wyrobu,

e) wprowadzamy wielostrumieniowy przepływ dla operacji o  $\max t_{oij}$ ; jeżeli na danym stopniu  $i$ , na którym jest  $\max t_{oij} > 1$ , to wprowadzamy wielostrumieniowy przepływ.

Maksymalną liczbę stanowisk wprowadzoną do realizacji danej operacji określa warunek:

$$n_{ij} \leq \frac{\max t_{oij}}{\min t_{oij}}$$

Optymalną dla danych warunków liczbę równoległe pracujących stanowisk dobieramy drogą symulacji,

f) sporządzamy macierz wartości  $\left| \frac{t_{oij}}{n_{ij}} \right|$ , macierz wartości  $\left| p_j \cdot \frac{t_{oij}}{n_{ij}} \right|$  oraz macierz

nowych terminów  $\left| C'_{ij} \right|$ ,

g) wprowadzamy układ czasowo-zwarty,

h) sprawdzamy, czy spełniony jest warunek  $C'_{Nj} \leq T_j$ , gdy nie, to dla pierwszego wyrobu, który tego warunku nie spełnia, wprowadzamy przepływ w partiach transportowych,

i) potrzebną liczbę partii transportowych dla danego wyrobu  $j$  oraz liczbę sztuk wyrobów w partii obliczamy drogą symulacji, tak aby osiągnąć długość cyklu  $C_j^T$  dla danego wyrobu wynikającą z zależności:

$$C_j^T = T_j - C_{1,j-1}$$

Gdy z podanej zależności wyliczone wartości spełniają warunek  $r_j \geq p_j$ , to nie wprowadzamy podziału na partie transportowe, czyli  $r_j = p_j$ ;  $k_j = 1$ . Gdy  $r_j < p_j$ , to liczbę partii transportowych wyznacza się z warunku:

$$k_j = \frac{P_j}{r_j}$$

gdzie:

$k_j$  — liczba partii transportowych dla wyrobu  $j$ ; wartość  $k_j$  przyjmuje się jako najbliższą większą liczbę całkowitą,

j) sporządzamy macierz wartości  $\left| r_j \cdot \frac{t_{oj}}{n_{ij}} \right|$  oraz macierz nowych terminów  $\left| C_{ij}'' \right|$ ,

k) powtarzamy kroki i) oraz j) aż do spełnienia warunku  $C_{Nj}'' \leq T_j$

#### 4. Przykładowa demonstracja przedstawionego algorytmu

Do demonstracji problemu wzięto komórkę, w której należy zrealizować w danym okresie pięć wyrobów A, B, C, D, E. Marszruty technologiczne i czasy  $t_{oj}$  przedstawia macierz:

0,10	0,20	0,20	0,30	0,20
0,10	0,20	0,40	0,20	0,60
0,05	0,60	0,50	0,15	0,10
0,15	0,60	0,30	0,05	0,40
0,20	0,30	0,10	0,15	0,30

Komórka posiada następującą liczbę maszyn na poszczególnych stopniach

$$n_i = \begin{vmatrix} 2 \\ 2 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{vmatrix}$$

Wielkości produkcji wyrobów są następujące:

$$P_A = 20, P_B = 10, P_C = 10, P_D = 20, P_E = 10$$

Terminy realizacji zadań są następujące:

$$\tau_A = 25, \tau_B = 31, \tau_C = 18, \tau_D = 21, \tau_E = 28$$

Mając terminy zamówień na konkretne wyroby, uszeregowano realizację zadań:

C, D, A, E, B

Sporządzono macierz wartości  $p_j \cdot t_{oj}$

2,0	6,0	2,0	2,0	2,0
4,0	4,0	2,0	6,0	2,0
5,0	3,0	1,0	1,0	6,0
3,0	1,0	3,0	4,0	6,0
1,0	3,0	4,0	3,0	3,0

Wprowadzamy układ czasowo-zwarty.

2,0	6,0	2,0	2,0	2,0						Sw	Sb	
4,0	4,0	2,0	6,0	2,0	2,0	2,0	-2,0	0,0	-4,0			
						2,0			0,0	2,0	2,0	4,0
5,0	3,0	1,0	1,0	6,0	6,0	-1,0	-1,0	5,0	1,0			
								3,0	1,0	4,0	6,0	12,0
3,0	1,0	3,0	4,0	6,0	11,0	0,0	0,0	-2,0	2,0			
									0,0	0,0	6,0	17,0
1,0	3,0	4,0	3,0	3,0	14,0	0,0	0,0	0,0	3,0			
									3,0	3,0	9,0	23,0

Sporządzamy macierz terminów  $C_{ij}$

2,0	8,0	10,0	12,0	14,0
8,0	12,0	14,0	20,0	22,0
17,0	20,0	21,0	22,0	28,0
20,0	21,0	24,0	28,0	34,0
24,0	27,0	31,0	34,0	37,0

Porównanie terminów zakończenia zadań:

	C	D	A	E	B
Terminy realizacji	18	21	25	28	31
Możliwe terminy realizacji	24	27	31	34	37

Z porównania terminów zakończenia zadań wynika, iż należy usprawnić przepływy celem skrócenia cykli realizacji. Z podanej dla komórki liczby maszyn  $n_i$  sprawdzamy, czy najdłuższą operację dla danego wyrobu można wykonywać równolegle. Drogą symulacji wybrano:

Wyrób C	Nie jest to możliwe, charakterystyka czasowa bez zmian
Wyrób D	Jest możliwe wykonanie równocześnie operacji 1 na 2 stanowiskach
Wyrób A	Nie jest to możliwe, charakterystyka czasowa bez zmian
Wyrób E	Jest możliwe wykonanie równocześnie operacji 2 na 2 stanowiskach
Wyrób B	Nie jest to możliwe, charakterystyka czasowa bez zmian

Sporządzono macierz wartości  $p_j \cdot \frac{t_{o_{ij}}}{n_{ij}}$

2,0	3,0	2,0	2,0	2,0
4,0	4,0	2,0	3,0	2,0
5,0	3,0	1,0	1,0	6,0
3,0	1,0	3,0	4,0	6,0
1,0	3,0	4,0	3,0	3,0

Wprowadzamy układ czasowo-zwarty.

2,0	3,0	2,0	2,0	2,0					Sw	Sb		
4,0	4,0	2,0	3,0	2,0	2,0	-1,0	-2,0	0,0	-1,0			
						0,0				0,0	0,0	2,0
5,0	3,0	1,0	1,0	6,0	6,0	-1,0	-1,0	2,0	1,0			
						1,0				1,0	1,0	7,0
3,0	1,0	3,0	4,0	6,0	11,0	0,0	0,0	-2,0	2,0			
						0,0				0,0	1,0	12,0
1,0	3,0	4,0	3,0	3,0	14,0	0,0	0,0	0,0	3,0			
						3,0				3,0	4,0	18,0

Sporządzamy macierz terminów  $C'_{ij}$

2,0	5,0	7,0	9,0	11,0
6,0	10,0	12,0	15,0	17,0
12,0	15,0	16,0	17,0	23,0
15,0	16,0	19,0	23,0	29,0
19,0	22,0	26,0	29,0	32,0

Porównanie terminów zakończenia zadań:

	C	D	A	E	B
Terminy realizacji	18	21	25	28	31
Możliwe terminy realizacji	19	22	26	29	32

Z porównania terminów zakończenia zadań wynika, że terminy jeszcze nie są dotrzymane, mimo wprowadzenia wielostrumieniowości. Dalsze usprawnienie parametrów tych wyrobów może się odbyć poprzez wprowadzenie przepływu w partiach transportowych. Drogą symulacji można ustalić wariant takiego przepływu, który będzie gwarantował dotrzymanie terminów, np. wprowadzenie czterech partii transportowych dla wyrobu C. Dla takich warunków macierz wartości

$r_j \cdot \frac{t_{o_{ij}}}{n_{ij}}$  będzie wyglądała następująco:

0,50	0,50	0,50	0,50	3,00	2,00	2,00	2,00
1,00	1,00	1,00	1,00	4,00	2,00	3,00	2,00
1,25	1,25	1,25	1,25	3,00	1,00	1,00	6,00
0,75	0,75	0,75	0,75	1,00	3,00	4,00	6,00
0,25	0,25	0,25	0,25	3,00	4,00	3,00	3,00

Wprowadzamy układ czasowo-zwarty.

0,50	0,50	0,50	0,50	3,00	2,00	2,00	2,00											Sw	Sb			
1,00	1,00	1,00	1,00	4,00	2,00	3,00	2,00	0,50	-0,50	-0,50	-0,50	2,00	-2,00	0,00	-1,00							
									0,50							0,50	0,50	1,00				
1,25	1,25	1,25	1,25	3,00	1,00	1,00	6,00	1,50	-0,25	-0,25	-0,25	2,75	-1,00	2,00	1,00							
									2,00							1,00	1,00	4,00	4,50	6,00		
0,75	0,75	0,75	0,75	1,00	3,00	4,00	6,00	2,75	0,50	0,50	0,50	2,25	0,00	-2,00	2,00							
									0,50							0,50	0,50	2,25	0,00			
0,25	0,25	0,25	0,25	3,00	4,00	3,00	3,00	3,50	0,50	0,50	0,50	0,75	0,00	0,00	3,00							
									0,50							0,50	0,50	0,75	3,00	5,25	13,50	17,0

Sporządzamy macierz terminów  $C''_{ij}$

2,0	5,0	7,0	9,0	11,0
5,0	9,0	11,0	14,0	16,0
11,0	14,0	15,0	16,0	22,0
14,0	15,0	18,0	22,0	28,0
18,0	21,0	25,0	28,0	31,0



Porównanie terminów zakończenia zadań:

	C	D	A	E	B
Terminy realizacji	18	21	25	28	31
Możliwe terminy realizacji	18	21	25	28	31

Z porównania terminów zakończenia zadań wynika, że wszystkie terminy zostaną dotrzymane.

## 5. Podsumowanie

Zaproponowana procedura sterowania przepływami procesów komórki stwarza możliwość realizacji danej produkcji w ustalonym terminie. Przedstawiony przykład potwierdził przydatność proponowanego algorytmu do sterowania produkcją w komórkach obróbki grupowej, w których realizowane są procesy gniazdowe (każdy wyrób wymaga takiej samej kolejności wykonywania operacji, przy czym liczba operacji dla każdego wyrobu może być inna — występują opuszczania operacji). Przedstawiona procedura jest elastyczna, gdyż umożliwia wygenerowanie nowych przepływów (planu realizacji) dla zmiennych warunków początkowych lub powstałej zmiany w dowolnej fazie realizacji procesów komórki.

## Bibliografia

- [1] Grzybowski S., *Metoda węzłowa wyznaczania układów czasowo-zwartych*, „Przegląd Organizacji” 1973, nr 10.
- [2] Mazur Z., Obrzud J., Dudek M., *Zarządzanie cyklem produkcyjnym [w:] Komputerowo zintegrowane zarządzanie*, WNT, Zakopane 1999.
- [3] Mazur Z., Obrzud J., Dudek M., *Projektowanie harmonogramów synchronicznego wytwarzania [w:] Zarządzanie w przemyśle. Teoria i praktyka. Wyzwania XXI wieku*, Poldex, Kraków 1999.
- [4] Skowronek C., Sariusz-Wolski Z., *Logistyka w przedsiębiorstwie*, PWE, Warszawa 1999.
- [5] Wróblewski K.J., *Podstawy sterowania przepływem produkcji*, WNT, Warszawa 1993.