

Mirosław ZABOROWSKI
Politechnika Śląska

NADAŻNE HARMONOGRAMOWANIE PRODUKCJI*

Streszczenie. W pracy przedstawiono zarys metody sterowania nadażnego systemem produkcyjnym składającym się z agregatów wytwarzających synchronicznie po kilka produktów i algorytm bieżącego sterowania przełączeniami między wariantami uzbrojenia agregatów. Generowane przez algorytm decyzje planowania wykonawczego nadażają za operacyjnymi planami produkcji. Zamieszczono przykład działania algorytmu wraz z odpowiednimi przebiegami czasowymi zaległości między planami operacyjnymi i wykonawczymi.

THE FOLLOW-UP PRODUCTION SCHEDULING

Summary. The outline of the follow-up control method for a complex production system composed of synchronous manufacturing subsystems which concurrently produce several products has been presented in the paper. The main topic of the paper is the follow-up scheduling algorithm to current control of switching between production modes of such subsystems. Executive planning decisions made by the algorithm follow operational production plans. An example of the algorithm application with corresponding time diagrams of backlogs between operational and executive plans has been presented too.

1. Zarys metody nadażnego sterowania produkcją

W warunkach gospodarki rynkowej celem przedsiębiorstwa jest zaspokajanie potrzeb klientów. Dlatego każdy system zarządzania i sterowania produkcją można postrzegać jako system, którego funkcją jest dostosowywanie asortymentu i tempa produkcji do wpływających na bieżąco zamówień. Nadażanie produkcji za zamówieniami nigdy nie może być idealne. Można jednak postarać się o skonstruowanie takiego systemu zarządzania produkcją, w którym zaległości w nadażaniu produkcji za zamówieniami byłyby pod kontrolą i w który byłyby wbudowane mechanizmy sprzyjające minimalizacji tych zaległości. W pewnym zakresie cechy te posiada system Kanban metody Just-In-Time [1]. W ramach projektu badawczego KBN pt. „Metody koordynacji i lokalne algorytmy decyzyjne w systemach nadażnego sterowania produkcją” rozwijana jest metoda zarządzania produkcją, w której dla

* Pracę wykonano w ramach projektu badawczego KBN nr 8 T11A 020 18

wszelkich decyzji planistycznych zaległości w ich nadążaniu za odpowiednimi wielkościami wiodącymi są obliczane na bieżąco i bezpośrednio wykorzystywane w procedurach decyzyjnych.

Podobnie jak dla systemów CIM [3] korzystających między innymi ze znanej metody MRP II [2], także w systemie nadążnego sterowania produkcją sąsiadują ze sobą warstwy koordynacji zadań produkcyjnych, rozdziału obciążeń między jednostki organizacyjne i planowania wykonawczego. Zakłada się jednak, że jednostkami organizacyjnymi dla planowania operacyjnego (koordynacja zadań i rozdział obciążeń) nie są centra robocze, lecz agregaty produkcyjne, o których można założyć, że albo są to pojedyncze stanowiska robocze (maszyny), dla których obowiązuje warunek wzajemnego wykluczania się równoczesnej realizacji różnych zadań, albo są to komórki produkcyjne posiadające wewnętrzne mechanizmy synchronizacji operacji, dla których ewentualne warunki wykluczania z punktu widzenia planowania operacyjnego dotyczą nie operacji na maszynach, lecz procesów składających się z synchronicznie wykonywanych operacji. Przy tym należy pamiętać, że w danym wariantcie uzbrojenia maszyn w narzędzia mogą w nim działać współbieżnie procesy wytwarzania różnych produktów. Ponieważ wariant uzbrojenia agregatu określa jednoznacznie zbiór produktów, które mają być w nim wytwarzane, będzie on dalej nazywany wariantem produkcyjnym. Agregatem produkcyjnym może być:

- 1) stanowisko robocze, w którym między kolejnymi przebrojeniami może być wytwarzany jeden produkt,
- 2) elastyczny moduł produkcyjny, który przy danym załadowaniu magazynku narzędzi może wytwarzać synchronicznie kilka produktów, np. w sekwencji AABCCCAABCCCAA...,
- 3) potokowa linia produkcyjna, która między kolejnymi przebrojeniami może wytwarzać jeden produkt, przy czym wszystkie operacje procesu wytwarzania tego produktu przebiegają synchronicznie z jednym określonym taktom,
- 4) sekcjonowana linia potokowa, w której sekcjach między kolejnymi przebrojeniami są wytwarzane współbieżnie różne produkty (z niezależnymi od siebie taktami produkcyjnymi), przy czym nie tylko zestaw produktów, lecz także podział linii na sekcje może się zmieniać przy zmianie wariantu produkcyjnego,
- 5) elastyczne gniazdo produkcyjne, w którym na krzyżujących się marszrutach są współbieżnie i synchronicznie wytwarzane różne produkty, przy czym zestaw tych produktów, organizacja marszrut i takty produkcji zmieniają się po przebrojeniu magazynków narzędziowych, czyli po przejściu do innego wariantu produkcyjnego.

Definicja jednostki organizacyjnej elementarnej dla planowania operacyjnego jako takiego agregatu, który w każdym ze swych możliwych wariantów produkcyjnych zapewnia (przez synchronizację) idealne nadażanie przebiegu wewnętrznych operacji za swoimi wielkościami wiodącymi, prowadzi do precyzyjnego określenia funkcji planowania operacyjnego, planowania wykonawczego i sterowania bezpośredniego jako:

- 1) koordynacji i rozdziału zadań między agregaty, a ściślej między warianty produkcyjne agregatów, bez uwzględniania warunku niedopuszczalności równoczesnej pracy w różnych wariantach,
- 2) bieżącego decydowania o przebrojeniach agregatów, czyli o zmianach ich wariantów produkcyjnych,
- 3) sterowania przepływem produkcji wewnątrz agregatów w sposób wymuszający synchronizację procesów wytwarzania.

Do realizacji funkcji planowania wykonawczego przewidziano algorytm nadażnego harmonogramowania produkcji (NHP), wykorzystywany niezależnie do sterowania poszczególnymi agregatami systemu produkcyjnego.

2. Algorytm Nadażnego Harmonogramowania Produkcji

Krok 1. Czytaj i przetwarzaj dane stałe

Czytaj M, T^*, Δ, π

J_m, s_m , dla $m = 1..M$

p_{mj}, Y_{mj}^* , dla $j \in J_m, m = 1..M$

Oblicz $x_m^* := \text{Max}_{j \in J_m} \{ p_{mj} Y_{mj}^* \}$, dla $m = 1..M$, (1)

Oznaczenia i komentarze do kroku 1:

M – liczba wariantów produkcyjnych,

T^* – okres powtarzalności przy idealnej produkcji rytmicznej,

Δ – długość okresu planistycznego (liczba okresów planowania wykonawczego w jednym okresie planowania operacyjnego),

π – współczynnik wykorzystania zasobów odnawialnych, $0 < \pi < 1$,

m – numer wariantu produkcyjnego, $m = 1..M$,

J_m – zbiór numerów produktów wytwarzanych w wariacie m , $m=1..M$,

s_m – długość okresu przygotowawczego do pracy w m -tym wariacie,

p_{mj} – takt produkcji j -tego produktu w m -tym wariacie (liczony w okresach planowania wykonawczego; może być wielkością ułamkową),

Y_{mj}^* – wielkość partii w warunkach idealnej produkcji rytmicznej,

x_m^* – miara czasowa wielkości partii w m -tym wariacie w warunkach idealnej produkcji rytmicznej; jest to także wartość progowa miary czasowej zaległości w realizacji planów operacyjnych dla danego wariantu.

Dane stałe T^* , π , Y_{mj}^* są tak dobrane, aby spełniały warunki:

$$x_m^* > \frac{\pi(s_m + 1)}{1 - \pi} \quad (2)$$

$$\sum_{m=1}^M (s_m + \lceil x_m^* \rceil) < T^* , \quad (3)$$

przy czym warunek (3) obowiązuje, gdy przy produkcji idealnie rytmicznej każdy wariant produkcyjny występuje w okresie powtarzalności dokładnie jeden raz [5]. Warunek (2) wprowadzono na potrzeby dowodu twierdzenia o stabilności procesu NHP [4].

Krok 2. Czytaj stan początkowy

Czytaj t , k , l , t_l^p , t_k^h , a_t , b_t

x_{mt} , r_{mt} , dla $m = 1..M$

B_{mjt} , dla $j \in J_m$, $m = 1..M$

Oznaczenia i komentarze do kroku 2:

t – numer okresu planowania wykonawczego i jego chwili końcowej; długość okresu planowania wykonawczego wynosi 1, czas w systemie mierzony jest za pomocą t i jest to czas dyskretny (zaokrąglony w razie potrzeby do górnego oszacowania całkowitego),

l – numer okresu planowania operacyjnego i jego chwili końcowej, $l = 1, 2, \dots$,

k – numer okresu NHP (okresu obowiązywania decyzji algorytmu NHP) i jego chwili końcowej, $k = 1, 2, \dots$,

t_l^p – chwila końcowa l -tego okresu planowania,

t_k^h – chwila końcowa k -tego okresu NHP,

a_t – numer aktualnego wariantu produkcyjnego, $a_t \in \{0, 1, \dots, M\}$; $a_t = 0$ odpowiada postojowi,

b_t – liczba wariantów produkcyjnych, których zaległości nie przekraczają wartości progowych, $0 \leq b_t \leq M$,

B_{mjt} – zaległość w nadążaniu planów wykonawczych za planami operacyjnymi (pozostała do wykonania w chwili t część planu operacyjnego wytwarzania produktu j w wariacie produkcyjnym m),

$$B_{mjt} = B_{mj,t-1} + z_{mjt} - y_{mjt}, \text{ dla } j \in J_m, m = 1..M, t = 1, 2, \dots \quad (4)$$

y_{mjt} – plan wykonawczy wytwarzania produktu j w wariacie produkcyjnym m dla okresu t ,

z_{mjt} – wynikająca z planu operacyjnego wielkość wiodąca planu wykonawczego,

x_{mt} – miara czasowa zaległości w realizacji operacyjnego planu pracy w wariancie produkcyjnym m ,

r_{mt} – priorytet wariantu produkcyjnego, $1 \leq r_{mt} \leq M$.

W danej chwili czasu każdy wariant produkcyjny ma inny wskaźnik priorytetu r_{mt} . Wielkość ta, podobnie jak numer wariantu m , przybiera wartości całkowite od 1 do M . Priorytety wariantów są podzielone na dwa zbiory. Najwyższe priorytety, o wartościach $r_{mt} > b_t$, odpowiadają wariantom, których aktualne miary czasowe zaległości przekraczają wartości progowe, $x_{mt} > x_m^*$. Priorytety drugiej grupy o wartościach $r_{mt} \leq b_t$, wskazują na kolejność przyszłych okresów pracy w wariantach, których miary czasowe zaległości nie przekraczają, choć być może osiągają wartości progowe $x_{mt} \geq x_m^*$.

Krok 3. Czytaj plany operacyjne

Jeżeli $t = t_l^p$

to podstaw $l := l + 1$

$t_l^p := t + \Delta$

i czytaj Z_{mjl} , dla $j \in J_m, m=1..M$.

(5)

Oznaczenia i komentarze do kroku 3:

Z_{mjl} – operacyjny plan produkcji produktu j w wariancie produkcyjnym m dla okresu l . Procedura czytania planów operacyjnych nie jest wykonywana, jeżeli bieżący okres planowania wykonawczego nie jest ostatnim z należących do bieżącego okresu planowania operacyjnego. Jeżeli plany są czytane, to dotyczą następnego okresu planowania operacyjnego. Są też przypisywane następnemu okresowi planowania wykonawczego:

$$Z_{mjl} = \begin{cases} Z_{mjl}, & \text{dla } t = t_{l-1}^p + 1, l = 1, 2, \dots \\ 0, & \text{dla pozostałych } t = 1, 2, \dots \end{cases} \quad (6)$$

Plany operacyjne nie mogą przekraczać zdolności produkcyjnych agregatów. Dlatego suma czasów potrzebnych do wykonania planów nie może być większa od długości okresu planowania operacyjnego przemnożonej przez mniejszy od 1 współczynnik π .

$$\sum_{m=1}^M \text{Max}_{j \in J_m} \{p_{mj} Z_{mjl}\} \leq \pi \Delta \quad (7)$$

Krok 4. Wyznacz decyzje bieżące i nowy stan procesu NHP

Podstaw $B_{mjt}^+ := B_{mjt}$, dla $j \in J_m$, $m = 1..M$

$x_{mt}^+ := x_{mt}$, $r_{mt}^+ := r_{mt}$, dla $m = 1..M$

$a_t^+ := a_t$, $b_t^+ := b_t$

Jeśli $t = t_{j-1}^p$,

to podstaw $B_{mjt}^+ := B_{mjt}^+ + Z_{mjt}$, dla $j \in J_m$, $m = 1..M$ (8)

i oblicz $x_{mt}^+ := \text{Max}_{j \in J_m} \{ p_{mj} B_{mjt}^+ \}$, dla $m = 1..M$, (9)

i dla $m = 1..M$ wykonaj:

jeśli $x_{mt}^+ > x_m^0$ i $r_{mt} \leq b_t$

to podstaw $b_t^+ := b_t - 1$ (10)

$r_{mt}^+ := b_t$ (11)

$r_{it}^+ := r_{it} - 1$, dla $i = 1..M$, $r_{mt} < r_{it} \leq b_t$. (12)

Jeśli $t = t_k^h$,

to podstaw $k := k + 1$

i jeśli $b_t^+ = M$ i $\exists_{\substack{j \in J_a \\ r_{aj}^+ = M}} B_{ajt}^+ < Y_{aj}^+$, (13)

to podstaw $a_t^+ := 0$

$Y_{mjk} := 0$, dla $j \in J_m$, $m = 1..M$

$t_k^h := t_j^p$,

a jeśli nie, czyli $(b_t^+ < M)$ lub $(b_t^+ = M \text{ i } \forall_{\substack{j \in J_a \\ r_{aj}^+ = M}} B_{ajt}^+ \geq Y_{aj}^+)$, (14)

to podstaw: $a_t^+ := a \mid r_{at}^+ = M$ (15)

$a := a_t^+$,

$Y_{ajk} := B_{ajt}^+$, dla $j \in J_a$, (16)

$Y_{mjk} := 0$, dla $j \in J_m$, $m \in \{1..M\}$, $m \neq a$,

$t_k^h := \begin{cases} t + s_a + \lceil x_{at}^+ \rceil, & \text{gdya}_t^+ \neq a, \\ t + \lceil x_{at}^+ \rceil, & \text{gdya}_t^+ = a, \end{cases}$ (17)

$B_{ajt}^+ := 0$, dla $j \in J_a$

$x_{at}^+ := 0$

$b_t^+ := b_t - 1$ (18)

$r_{mt}^+ := r_{mt} + 1$, dla $m = 1..M$, $m \neq a$ (19)

$r_{at}^+ := 1$. (20)

Oznaczenia i komentarze do kroku 4:

B_{mjt}^+ – zaległość w nadążaniu planów wykonawczych za planami operacyjnymi po korekcie uwzględniającej znajomość planów operacyjnych udostępnionych w chwili t ,

a_t^+ – decyzja podjęta w chwili t o wariancie produkcyjnym dla okresu $t+1$,

b_t^+ – nowa liczba wariantów, których zaległości nie przekraczają wartości progowych,

x_{mt}^* – miara czasowa zaległości po korekcie uwzględniającej znajomość planów operacyjnych udostępnionych w chwili t ,

r_{mt}^+ – nowa wartość priorytetu wariantu produkcyjnego,

Y_{mjk} – wielkość partii produktu j w wariancie m w k -tym okresie NHP.

Procedura wyznaczania decyzji działa tylko po ostatnim okresie planowania wykonawczego należącym do aktualnego okresu NHP. Jeśli decyzje są wyznaczane, to dotyczą następnego okresu NHP. Są też przypisywane następnemu okresowi planowania wykonawczego.

Procedury wyznaczania nowego stanu algorytmu działają po każdym okresie planowania wykonawczego. Dlatego pierwszą czynnością kroku 4 jest przepisanie poprzednich współrzędnych stanu, a następną – ich ewentualna korekta, wykonywana, gdy aktualna chwila t jest chwilą wczytania nowych planów operacyjnych. Jeśli korekta zaległości w górę doprowadziła do przekroczenia wartości progowych, to liczbę b_t wariantów, które nie mają tej właściwości, należy odpowiednio zmniejszyć. Trzeba także zmienić priorytety niektórych wariantów. Wariant m , którego zaległości właśnie przekroczyły wartości progowe, przyjmuje najniższy priorytet w grupie wyższej, o wartości równej poprzedniej wartości b_t . Priorytety r_{it} z przedziału $r_{mt} + 1 \leq r_{it} \leq b_t$ zostają zmniejszone o 1, natomiast priorytety $r_{it} < r_{mt}$ i $r_{it} > b_t$ nie ulegają zmianom. Ustawienie wariantów, których zaległości świeżo przekroczyły wartości progowe, na końcu kolejki wariantów o tej własności jest analogiczne do reguły FIFO znanej z teorii szeregowania zadań.

Inną procedurą ustawiania priorytetów wariantów, zlokalizowaną na końcu kroku 4, jest nadawanie najniższego priorytetu, $r_{at} = 1$, wariantowi, którego okres pracy właśnie się rozpoczął, a zaległości zostały wyzerowane, i podwyższanie o 1 priorytetów wszystkich pozostałych wariantów. Jeżeli zaległości nie przekraczają, a co najwyżej osiągają wartości progowe, czyli $b_t = M$, to ta procedura wymusza cykliczne powtarzanie tej samej kolejności wariantów. Jest to istotne dla zbieżności algorytmu NHP [5], lecz nie ma znaczenia z punktu widzenia jego stabilności [4].

O gotowości danego wariantu do pracy na ogół rozstrzyga wartość miary czasowej jego zaległości. Jeśli $x_{mj}^+ > x_m^*$, to wariant jest gotowy, a jeśli $x_{mj}^+ < x_m^*$, to nie jest. Jednak jeśli miara czasowa zaległości jest dokładnie równa wartości progowej, to wariant jest uznawany za gotowy do pracy tylko wtedy, gdy zaległości dla wszystkich jego produktów osiągnęły już wartości progowe, czyli $B_{mj}^+ = Y_{mj}^*$. Zastrzeżenie to, wprowadzone na potrzeby dowodu twierdzenia o zbieżności algorytmu NHP [5], prowadzi do odpowiedniej rozbudowy warunków (13)(14). Pierwszy z nich jest warunkiem decyzji o postoju, a drugi – decyzji o pracy. W warunkach (13)(14) miary czasowe zaległości nie występują explicite, gdyż są reprezentowane przez inne współrzędne stanu. W warunku (13) zbyt małe wartości zaległości dla dowolnego produktu danego wariantu rozstrzygają o braku gotowości, więc miara czasowa zaległości nie musi być badana. Analogicznie, prawdziwość drugiego członu warunku (14) wystarcza, by $x_{mj}^+ = x_m^*$. Sprawdzenia te są wykonywane tylko dla wariantu o najwyższym priorytecie, $r_{mj}^+ = M$. Dzięki temu, gdy nie ma zaległości przekraczających wartości progowe, czyli $b_j^+ = M$, to algorytm czeka na osiągnięcie wartości progowych przez zaległości tego wariantu, który został ustawiony jako pierwszy w kolejce, nawet wtedy, gdy inne warianty już osiągnęły wartości progowe.

W okresie postoju wielkości wszystkich partii są równe zero, a czas trwania postoju kończy się w chwili czytania następnych planów operacyjnych, gdyż dopiero w tej chwili zaległości mogą wzrosnąć. Dla okresu pracy wybierany jest wariant produkcyjny o najwyższym priorytecie. Wielkości partii produktów wytwarzanych w okresie pracy są równe wartościom zaległości w chwili podejmowania decyzji, dzięki czemu zaległości dla wybranego wariantu produkcyjnego mogą być wyzerowane bezpośrednio po decyzji. Długość okresu pracy, od której zależy chwila zakończenia tego okresu, jest równa sumie czasu przezbrojenia agregatu do wybranego wariantu i czasu roboczego, równego zaokrąglonej w górę mierze czasowej zaległości. Jednak w rzadko występującym przypadku wyboru tego samego wariantu pracy, który był już wybrany poprzednio, nie ma potrzeby przezbrajania agregatu, a długość okresu pracy jest odpowiednio mniejsza.

Oznaczenia i komentarze do kroku 5:

T – horyzont planowania wykonawczego, nieistotny w przypadku wykorzystywania algorytmu NHP w ramach systemu nadążnego sterowania produkcją.

Krok 5. Przejdź do następnego okresu planowania wykonawczego

Podstaw $B_{mj,t+1} := B_{mjt}^+$, dla $j \in J_m$, $m = 1..M$,

$x_{m,t+1} := x_{mt}^+$, dla $m = 1..M$,

$r_{m,t+1} := r_{mt}^+$, dla $m = 1..M$,

$a_{t+1} := a_t^+$

$b_{t+1} := a_t^+$

W przypadku pracy w systemie nadążnego sterowania produkcją zawieś działanie algorytmu do chwili zakończenia aktualnego okresu planowania wykonawczego.

Podstaw $t := t+1$

W przypadku generacji harmonogramu dla założonego horyzontu planowania T sprawdź, czy $t = T$, a jeśli tak, to przejdź do kroku 6.

Przejdź do kroku 3.

Krok 6. Zapisz stan końcowy.

Zapisz t , k , l , t_i^p , t_k^h , a_t , b_t ,

x_{mt} , r_{mt} , dla $m = 1..M$,

B_{mjt} , dla $j \in J_m$, $m = 1..M$.

Stop.

Komentarz do kroku 6:

Stan końcowy może być przydatny jako stan początkowy, czytany w kroku 2 po ponownym uruchomieniu algorytmu. Ma to znaczenie w przypadku wykorzystywania algorytmu NHP do zwykłego harmonogramowania produkcji, to znaczy do wyznaczania prognozy przyszłych decyzji na podstawie prognozy planów operacyjnych.

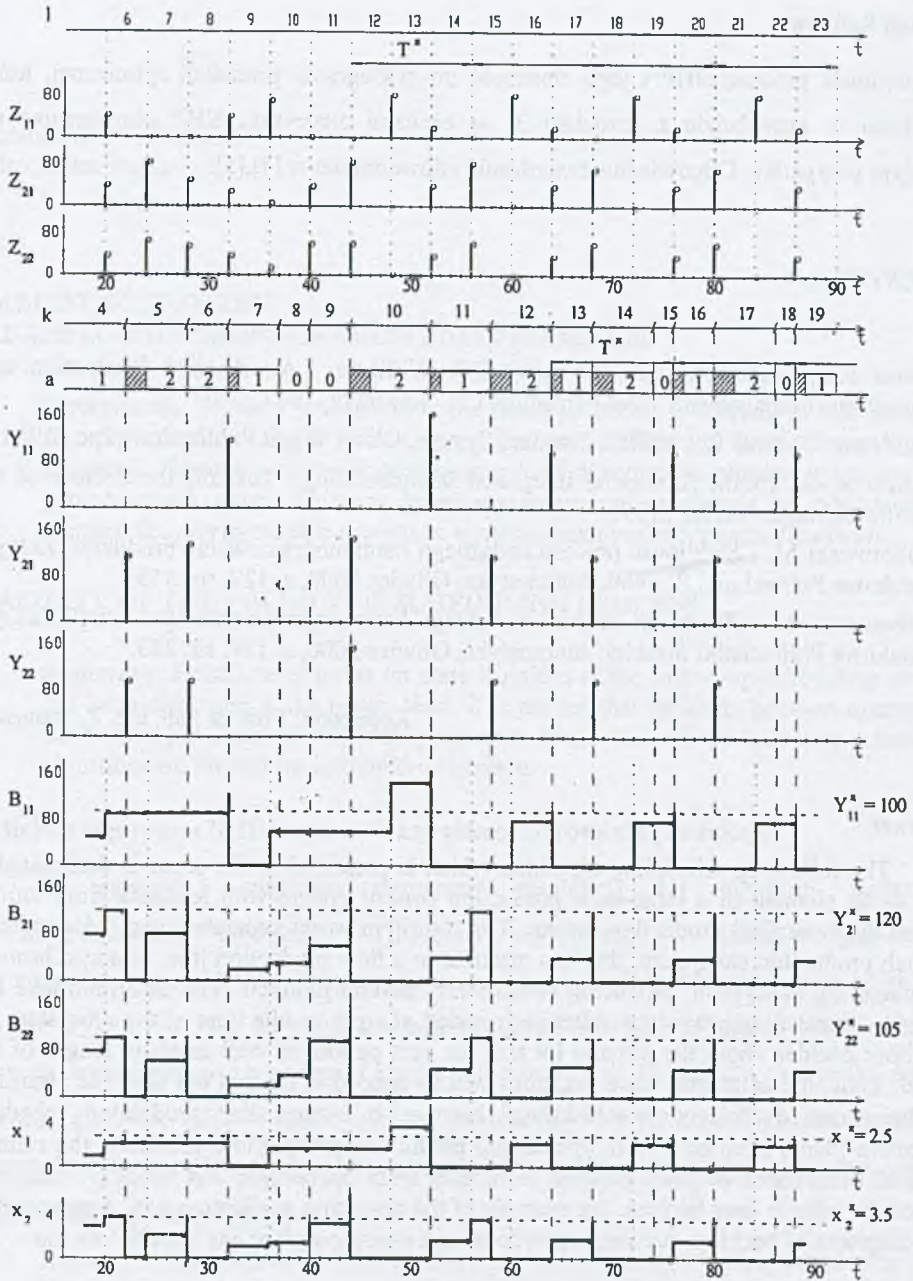
3. Przykład

Dane są: $M=2$, $T^*=12$, $\Delta=4$, $\pi=0.5$, $J_1=\{1\}$, $J_2=\{1,2\}$, $s_1=1$, $s_2=2$, $p_{11}=1/40$, $p_{21}=1/40$, $p_{22}=1/30$, $Y_{11}^*=100$, $Y_{21}^*=120$, $Y_{22}^*=105$ oraz plany operacyjne i początkowe wartości współrzędnych stanu przedstawione w tablicy 1. Decyzje generowane w kolejnych okresach przez algorytm NHP i odpowiednie współrzędne stanu również zamieszczono w tablicy 1. Łatwo sprawdzić, że dane stałe i plany operacyjne spełniają warunki (2)(3)(7). Przebiegi czasowe odpowiadające tablicy 1 pokazano na rysunku 1. Pola zakreśkowane w wykresie „a” reprezentują okresy przezbrojeń. Łatwo zauważyć, że układ NHP pracuje stabilnie mimo nieregularnych planów operacyjnych, a po pewnym czasie od chwili rozpoczęcia rytmicznych planów operacyjnych zaczyna generować idealnie rytmiczne plany wykonawcze.

Tablica 1

Plany operacyjne, plany wykonawcze i zależności między nimi

t	B ₁₁	B ₂₁	B ₂₂	l	Z ₁₁	Z ₂₁	Z ₂₂	t ^p	B* ₁₁	B* ₂₁	B* ₂₂	x* ₁	x* ₂	k	a	Y ₁₁	Y ₂₁	Y ₂₂	t ^h
20	50	80	75	5				20	90	120	105	2,25	3,5	4	1				22
21	90	120	105	6	40	40	30	24											
22									90	120	105	2,25	3,5						
23	90	0	0											5	2	-	120	105	28
24									90	80	60	2,25	2,0						
25	90	80	60	7	0	80	60	28											
26																			
27																			
28									90	140	105	2,25	3,5						
29	90	0	0	8	0	60	45	32						6	2	-	140	105	32
30																			
31																			
32									125	20	30	3,13	1,0						
33	0	20	30	9	35	20	30	36						7	1	125	-	-	37
34																			
35																			
36									65	30	40	1,63	1,33						
37	65	30	40	10	65	10	10	40	65	30	40	1,63	1,33						
38	65	30	40											8	0	-	-	-	40
39																			
40									65	70	100	1,63	3,33						
41	65	70	100	11	0	40	60	44						9	0	-	-	-	44
42																			
43																			
44									65	150	160	1,63	5,33						
45	65	0	0	12	0	80	60	48						10	2	-	150	160	52
46																			
47																			
48									145	0	0	3,63	0						
49	145	0	0	13	80	0	0	52											
50																			
51																			
52									165	40	45	4,13	1,5						
53	0	40	45	14	20	40	45	56						11	1	165	-	-	58
54																			
55																			
56									0	120	105	0	3,5						
57	0	120	105	15	0	80	60	60											
58									0	120	105	0	3,5						
59	0	0	0											12	2	-	120	105	64
60									80	0	0	2,0	0						
61	80	0	0	16	80	0	0	64											
62																			
63																			
64									100	40	45	2,5	1,5						
65	0	40	45	17	20	40	45	68						13	1	100	-	-	68
66																			
67																			
68									0	120	105	0	3,5						
69	0	0	0	18	0	80	60	72						14	2	-	120	105	74
70																			
71																			
72									80	0	0	2,0	0						
73	80	0	0	19	80	0	0	76											
74									80	0	0	2,0	0						
75	80	0	0											15	0	-	-	-	76
76									100	40	45	2,5	1,5						
77	0	40	45	20	20	40	45	80						16	1	100	-	-	80



Rys.1. Przykładowe przebiegi czasowe zaległości w nadążaniu planów wykonawczych za planami operacyjnymi

Fig.1. Exemplary time-diagrams of backlogs between operational and executive plans

4. Uwagi końcowe

Stabilność procesu NHP i jego zbieżność do cyklogramu produkcji rytmicznej, które zauważono w przykładzie z rozdziału 3, są cechami algorytmu NHP obowiązującymi w każdym przypadku. Odpowiednie twierdzenia udowodniono w [4],[5].

LITERATURA

1. Evans R.J., Anderson D.R., Sweeney D.J. Williams T.A.: Applied Production and Operations Management. West Publishing Co, New York, 1987
2. Landvater D., Gray C. : MRP II Standard System. Oliver Wight Publications, Inc., 1983.
3. Scheer A.-W. : CIM (Computer Integrated Manufacturing). Towards the Factory of the Future. Springer-Verlag , 1991.
4. Zaborowski M. : Stabilność procesu nadążnego harmonogramowania produkcji. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Automatyka, Gliwice 2000, z. 129, str. 375.
5. Zaborowski M. : Zbieżność procesu nadążnego harmonogramowania produkcji. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Automatyka, Gliwice 2000, z. 129, str. 383.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Z. Banaszak

Abstract

The follow-up scheduling algorithm which is presented in the paper is designated to work as an element of a large-scale production control system with feedback from current state of the controlled production system. The algorithm works separately and independently for each production subsystem, that is a machine or a flow production line or a synchronous manufacturing subsystem, producing concurrently several products. The algorithm acts like a priority dispatching procedure. After each period of work or idle time of the subsystem the algorithm decides about the job and lot size for next period, as well as about length of this period. Thus, the next time when decisions will be needed is worked out too. The algorithm has been named "follow-up scheduling" because it ensures that production schedules (executive plans) keep pace with operational production plans. More precisely, the running totals of differences between material flow rates from operational and executive plans are limited for infinite time horizon. An example of the algorithm application with corresponding time diagrams of backlogs between operational and executive plans has been shown too.