

Marek Kimmel  
Politechnika Śląska

## ANALIZA I MODELOWANIE NIEUSTALONEGO PROCESU MONTAŻU TAŚMOWEGO

**Streszczenie.** Referat zawiera propozycję prowadzenia dyskretnego procesu montażu taśmowego w przypadku produkcji wieloasortymentowej. Po formalizacji problemu opisane są trzy warianty modelowania procesu o wzrastającym stopniu złożoności.

### 1. Wstęp

Proces montażu taśmowego dla produkcji wieloasortymentowej rozważany był w literaturze [4] pod nazwą zadania balansowo - kolejnościowego. Przedstawione w referacie ujęcie nawiązuje do [2], a zastosowany model stosuje się bezpośrednio do linii montażu silnika w FSM - Bielsko.

Linia montażowa jest systemem stanowisk pracy o strukturze szeregowej. Na stanowiskach linii montażowej wykonywane są kolejne etapy montażu gotowego produktu /rys. 1/. Ilość stanowisk oznaczono jako  $M$ . Można uważać, że montowane produkty zamocowane są na tzw. zawieszkach transportera linii, których ilość  $M_1$  może być większa od  $M$ , ponieważ stanowiska linii nie zawsze są "dobrze upakowane". Odstęp pomiędzy zawieszkami wynosi 1. Rozważa się dalej przypadek, kiedy na linii, bez zmiany przydziału operacji na stanowiska montować można  $K$  typów produktu, przy czym dla każdego z nich każde stanowisko jest inaczej obciążone. Definiuje się więc macierz czasów stanowisk  $A = [a_{ij}]$ ;  $i = 1, \dots, M$ ;  $j = 1, \dots, K$ , której element  $a_{ij}$  jest czasem wykonania zespołu operacji  $i$ -tego stanowiska, pod warunkiem, że montowany jest na tym stanowisku produkt typu  $j$ -tego. Kolumny macierzy  $A$  dane są jako rozwiązania statycznego zadania balansowania /przydziału operacji/ linii montażowej [3]. Jeżeli więc na linii są montowane aktualnie produkty jednego typu /np. typu  $j$ -tego/, to maksymalna możliwa prędkość przesuwu transportera linii wyznaczona jest wzorami:

$$v_j = 1 / C_j \quad (1) \quad C_j = \max_{1 \leq i \leq M} \{a_{ij}\} \quad (2)$$

gdzie  $C_j$  - tzw. cykl linii. Stosowanie prędkości  $v$  większych od  $v_j$  powodowałoby usterki wykonania na stanowiskach o czasach wykonania większych od  $1/v$ . Sytuację, w której na linii montowane są produkty jednego rodzaju, traktuje się jako stan ustalony.

Przez nieustalony proces montażu /lub stan nieustalony linii/ rozumie się sytuację, w której montuje się równocześnie produkty różnych typów. Czas wykonania zespołu operacji na stanowisku  $i$ -tym wynosi wtedy:

$$\alpha_i^j = a_{ij} \quad (2')$$

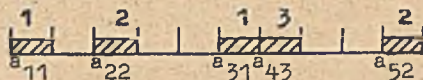
przy czym indeks "j" nie jest stały. Długość cyklu linii dana jest teraz wzorem:

$$C = \max_{1 \leq i \leq M} \{\alpha_i^j\} \quad (3)$$

i spełnia

$$C \leq \max_{j \in J^*} \{C_j\} = C' \quad (4)$$

gdzie  $J^*$  jest zbiorem numerów typów produktu, montowanych aktualnie na



Rys.1. Symboliczne oznaczenie linii montażowej ( $M=5, K=3$ ). Długość stanowisk -1. Odstępy pomiędzy stanowiskami są wielokrotnościami 1. Liczby nad linią są numerami typów produktów.

linii. Najprostsza strategia sterowania prędkością linii w stanie nieustalonym polega na utrzymywaniu prędkości linii na poziomie:

$$v' = 1/c' \quad (5)$$

Zaletą tej strategii jest niezawodność i prostota. Jest to jednak strategia nieekonomiczna /patrz nierówność (4)/. Celem referatu jest podanie bardziej ekonomicznych strategii dla sytuacji powyższej i pewnych sytuacji bardziej złożonych.

Należy dodać, że dla systemu dynamicznego, jakim jest linia montażowa, można podać opis w postaci równań stanu i wyjść. W tym celu wprowadza się dyskretny "czas" / $k=0,1,\dots,N$ / jako numer kolejnego cyklu linii. /Równanie (2) definiuje czas trwania cyklu; numer cyklu należy rozumieć jako numer egzemplarza produktu, jaki opuszcza linię, licząc od chwili jej uruchomienia./ Wektor stanu  $\underline{x}(k)$  / $M_z + 1$  - wymiarowy/ składa się z  $M_z$  składowych o wartościach całkowitych. Równanie:

$$x_j(k) = 1 \quad ; \quad j = 1, \dots, M_z \quad ; \quad k = 0, \dots, N \quad ; \quad l = 1, \dots, K \quad (6)$$

oznacza, że w  $k$ -tym cyklu na zawieszce  $j$ -tej /licząc od początku linii/ znajduje się produkt typu  $l$ -tego. Składowa  $x_{M_z+1}(k)$  wektora stanu jest zdefiniowana jako:

$$x_{M_z+1}(k) = T^k \quad (6')$$

gdzie  $T^k$  jest wyrażonym liczbą rzeczywistą momentem zakończenia na wszystkich stanowiskach operacji  $k$ -tego cyklu montażu. Sterowanie reprezentowane jest przez dwuwymiarowy wektor  $\underline{u}(k)$ . Składowa  $u_1(k)$  jest numerem typu produktu wprowadzanego na linię w  $k$ -tym cyklu, składowa  $u_2(k)$  - prędkością przesuwu transportera linii w  $k$ -tym cyklu. Postępując się wy-prowadzonymi dalej wzorami można funkcje wektorowe  $\underline{f}$  i  $\underline{g}$  występujące w równaniu stanu:

$$\underline{x}(k+1) = \underline{f}[\underline{x}(k)] + \underline{g}[\underline{u}(k)] \quad (7)$$

wyrazić analitycznie, odpowiednie oznaczenia są jednak skomplikowane, a przydatność wzoru (7) do modelowania jest problematyczna. Skalarne wyjście systemu można przedstawić jako:

$$y(k) = x_{M_z+1}(k) \quad (8)$$

a wskaźnik jakości, mający wymiar czasu jako:

$$L = y(N) - y(0) \quad (9) \quad /por.np. [1]/$$

Minimalizacja  $L$  oznacza zmontowanie zadanej ilości egzemplarzy produktu w jak najkrótszym czasie. W realnych warunkach zachodzą jednak specyficzne ograniczenia na sterowanie, dlatego też, sterowanie i wskaźnik jakości zostaną dalej zdefiniowane w inny sposób.

## 2. Sformułowanie zadań modelowania i sterowania

Zadanie modelowania stanów nieustalonych linii montażowej opisanej w punkcie 1 polega na tym, żeby dla danej struktury linii, określonej macierzą  $A$  i danej sekwencji produktu  $\underline{C}$  montowanego na linii znaleźć wektor czasów cykli linii  $\underline{C}$ ;  $\underline{C}^1 = T^{1+1} - T^1$  /. Znajomość wektora  $\underline{C}$  pozwala wyznaczyć:

- a/odpowiednie prędkości przesuwu linii, tj. wektor  $\underline{V}$ ,  
b/momenty zmian prędkości linii, tj. wektor  $\underline{T}$  /por. (6) /

ze wzoru :

$$T^1 = \sum_{i=1}^{i-1} C^1 \quad /10/$$

gdzie  $T^1$  i  $C^1$  odpowiednio - składowe wektorów  $\underline{T}$  i  $\underline{C}$ . Problem sterowania linią w stanie nieustalonym może zostać sformułowany dwójako:

A. Jako wybór algorytmu wyznaczania czasu aktualnego cyklu linii /składowa  $u_1(k)$  sterowania w (4) /.

B. Jako wybór sekwencji produktów montowanych na linii /składowa  $u_1(k)$  / przy ograniczeniach wynikających z planu i elastyczności systemów sprzężonych z linią. Przyjętym wskaźnikiem jakości jest w obu przypadkach suma składowych wektora  $\underline{C}$  dla ustalonej ilości sztuk produktu:

$$L^{(1)} = \sum_{i=1}^N C^1 \quad (11)$$

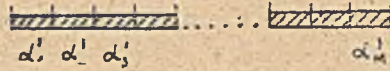
Oczywiście, optymalne sterowanie w sensie A lub B minimalizuje wskaźnik  $L^{(1)}$ .

Poniżej podano propozycję optymalizacji wskaźnika  $L^{(1)}$  dla trzech wariantów linii, nazywane dalej zadaniami I, II, III.

**3. Zadanie I**

Rozpatruje się linię, dla której  $M=M_2$ , przedstawioną na rysunku 2. Funkcjonowanie linii modeluje się dla dwóch wariantów sterowania w sensie A. Wariant I polega na obraniu strategii najprostszej i wyliczeniu długości cyklu C ze wzoru (4).

W wariantcie II wykorzystuje się wzór (3). Wariant I sterowania w sensie A sprowadza się do "ominięcia" stanu nieustalonego /rys. 3/, będzie więc dalej nazywany wariantem bez sterowania w sensie A. Sterowanie B rozważa się przy następujących ograniczeniach.



Rys.2. Linia z zadania I.

Przyjęto mianowicie, że sumaryczna ilość egzemplarzy produktu, które należy wprowadzić na linię wynosi N, w tym po  $N_j$  egzemplarzy typu j-tego. Oczywiście:

$$N = \sum_{j=1}^K N_j \quad (12)$$

i teoretyczna ilość możliwych sekwencji wynosi:

$$S = N! / (N_1! N_2! \dots N_K!) \quad (12')$$

Wprowadzone ograniczenie polega na przyjęciu za dopuszczalne sekwencji tylko takich, że wszystkie  $N_j$  egzemplarzy typu j-tego jest wprowadzane "jeden za drugim". Ma to jasne uzasadnienie w praktyce. Pozostaje więc

$$S' = K! \quad (13)$$

sekwencji. Dodatkowy problem stanowi fakt zależności rozwiązania od warunków początkowych. W momencie  $t=T_0$  na zawieszkach linii znajdują się egzemplarze produktu pozostałe z poprzedniego przebiegu. Teoretycznie możliwe jest tutaj:

$$U = K^M \quad (14)$$

wariantów. Rozpatrywane będą jednak tylko warunki początkowe "jednorodny", co ogranicza ilość wariantów do:

$$U' = K \quad (15)$$

Reasumując otrzymuje się:

$$W = U'S' = KK! \quad (16)$$

wariantów. Jeżeli K nie jest zbyt duże, np. rzędu 5, można zastosować przegląd zupełny sterowań w sensie B i wybrać sterowanie najlepsze.

Tabela I przedstawia wyciąg z wydruku programu modelującego, napisanego w języku FORTRAN. Parametry linii :

$M = 20, K = 4, l = 1, C_1 = 1.2, C_2 = 1.2, C_3 = 1.3, C_4 = 1.305$  /w sensie wzoru (1) /,  $N = 200, N_1 = 25, N_2 = 75, N_3 = 50, N_4 = 50$ .

Użyte wielkości mające wymiar długości i czasu są czysto umowne, jednakże ich rząd jest taki, że wyrażenie ich w metrach i minutach dалоby realistyczny rezultat.

**4. Zadanie II**

Wprowadzono bardziej zbliżone do rzeczywistości założenia dotyczące konfiguracji stanowisk linii. W zadaniu I każdemu stanowisku odpowiadała jedna zawieszka transportera. Sytuacja taka zachodzi tylko wyjątkowo. Oznacząc ilość zawieszek transportera przez  $M_i$  można w prosty sposób określić przyporządkowanie zawieszek stanowiskom. Definiuje się mianowicie ciąg  $\{\lambda_i\}$   $i = 1, \dots, M$ , którego i-ty wyraz określa numer zawieszki odpowiadającej i-temu stanowisku. Oczywiście zachodzi:



Rys.3. Dwie wersje sterowania A dla zadania I (wersja I - kropki, wersja II - kółka). Sytuacja na wykresie ilustruje przejście od montażu typu 1 do montażu typu 2.  $K=2, M=M_2=3$ .

Tablica I

Wyciąg z wydruku programu modelującego dla zadania I. Oznaczenie sekwencji wejściowej, np. 4321 oznacza kolejne wprowadzenie:  $N_4$  egzemplarzy typu 4,  $N_3$  - typu 3,  $N_2$  - typu 2,  $N_1$  typu 1. W kolumnie trzeciej w nawiasach podane są porównawczo wartości  $L^{(1)}$  dla sekwencji najgorszej w sensie sterowania B.

Warunek początkowy	Jedna z sekwencji optymalnych w sensie sterowania B.	Wskaźnik jakości $L^{(1)}$		Zysk na sterowaniu A
		ze sterowaniem A	bez sterowania A	
1	4 3 2 1	272.79 (276.7)	276.245	3.455
2	1 4 3 2	272.79 (276.71)	276.245	3.455
3	4 3 2 1	272.645 (276.94)	276.345	3.7
4	4 3 2 1	274.34 (278.81)	276.35	2.01

$$\lambda_M = M_z \quad (17) \quad \lambda_1 \leq 1 \quad (18)$$

przy czym w ostatnim wzorze nierówność przechodzi w równość dla  $M = M_z$ , tj. dla szczególnego przypadku, jakim jest zadanie I. Przykładowo dla linii z rysunku 1  $\{\lambda_i\} = \{1, 3, 6, 7, 10\}$ . Można obecnie podać ściśle postać wzoru (2') w zależności od sekwencji wejściowej  $\{J_1\}$   $l = 1, \dots, N$  i ciągów  $\{J_1\}$   $l = 1, \dots, M_z$  warunków początkowych. Wyrazy obu tych ciągów są numerami typów produktów. Tak więc zachodzi:

$$J_1, \tilde{J}_m = 1, \dots, K \quad (m = 1, \dots, M_z; l = 1, \dots, N) \quad (19)$$

Definiuje się następnie ciąg  $\{F_1\}$   $l = 1, \dots, M_z + N$  powstały ze "sklejenia" ciągów  $\{J_1\}$  i  $\{\tilde{J}_1\}$ . Ścisłej:

$$F_1 = \begin{cases} J_1 & \text{dla } 1 \leq l \leq N \\ \tilde{J}_{l-N} & \text{dla } N+1 \leq l \leq N+M_z \end{cases} \quad (20)$$

Otrzymuje się dla  $n$ -tego cyklu ( $n = 1, \dots, N$ ) ciąg  $\{\alpha_1^{(n)}\}$ ,  $i = 1, \dots, M$  czasów stanowisk, którego kolejne wyrazy spełniają:

$$\alpha_1^{(n)} = a_{1,j(n,i)}; \quad j(n,i) = F_{N+\lambda_1-n+1} \quad (21)$$

Zamiast szczegółowego uzasadnienia wzorów (20) i (21) podano prosty przykład (patrz rysunek 4).

Dla zadania II potwierdzają się wnioski, jakie można wyciągnąć analizując tabelę I. Po pierwsze, zastosowanie sterowania w sensie A powoduje zmniejszenie wskaźnika jakości, po drugie wybór sekwencji wejściowej ze zbioru sekwencji dopuszczalnych powoduje zróżnicowanie wartości wskaźnika. Można więc dobierając sterowania optymalizować stany nieustalone linii w sensie przyjętego wskaźnika jakości.

### 5. Zadanie III

W zadaniach I i II zakładano, że długość każdego stanowiska jest identyczna i równa odległości pomiędzy zawieszkami transportera linii. Takie stanowiska noszą nazwę zamkniętych [4]. W rzeczywistości niektóre stanowiska mogą zostać przedłużone w lewo lub w prawo (zakładamy, że transporter linii przesuwają się w prawo) stając się stanowiskami lewo-, bądź prawostronnie otwartymi (ew. obustronnie otwartymi). Łatwo sobie uźmysłować, że w stanie ustalonym otwieranie stanowisk niczego nie zmienia.

W stanach nieustalonych otwieranie stanowisk powoduje skrócenie niektórych cykli, co intuicyjnie jest jasne, a w ściślejszej postaci pokazane zostanie dalej.

Schemat stanowiska rozważanego w tym punkcie podaje rysunek 5. Zasada

algorytmu doboru sterowania A jest następująca. W każdym cyklu, którego długość jest

wyznaczona przez czas najbardziej obciążonego stanowiska, niektórym operatorom stanowisk pozostaje pewna rezerwa czasu. Wobec tego, cofają się do lewego końca stanowiska (zakłada się, że ta czynność nie zajmuje czasu) i jeżeli w granicach stanowiska znajduje się już kolejna zawieszka, wykorzystują rezerwę czasu na rozpoczęcie

$$A \begin{bmatrix} 1.0 & 0.6 \\ 0.7 & 0.9 \end{bmatrix}$$

$$M = 2$$

$$N = 3$$

$$M_2 = 3$$

$$\{\lambda_1\} = \{1, 5\}$$

$$\{\tilde{J}_1\} = \{1, 2, 1\}$$

$$\{J_1\} = \{2, 1, 1\}$$

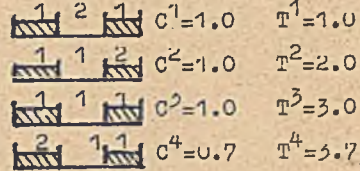
$$\{F_1\} = \{2, 1, 1, 1, 2, 1\}$$

$$n=1 \quad \{\alpha_1^{(1)}\} = \{1, 1\}$$

$$n=2 \quad \{\alpha_1^{(2)}\} = \{1, 2\}$$

$$n=3 \quad \{\alpha_1^{(3)}\} = \{1, 1\}$$

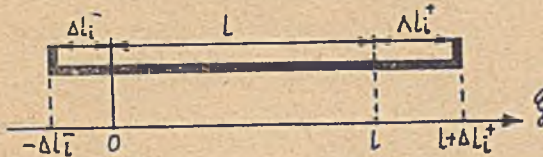
$$n=4 \quad \{\alpha_1^{(4)}\} = \{2, 1\}$$



Rys. 4. Prosty przykład sytuacji z zadania II.

montażu następnego egzemplarza. Rezerwa czasu może być niewykorzystana, lub wykorzystana tylko częściowo. W przypadku stanowisk zamkniętych nie mogła być wykorzystana nigdy, ponieważ w obrębie stanowiska mogła znajdować się tylko jedna zawieszka - długość stanowiska wynosiła tylko l. Koniec cyklu wyznaczony jest przez chwilę, w której najbardziej obciążone stanowisko wykona zespół

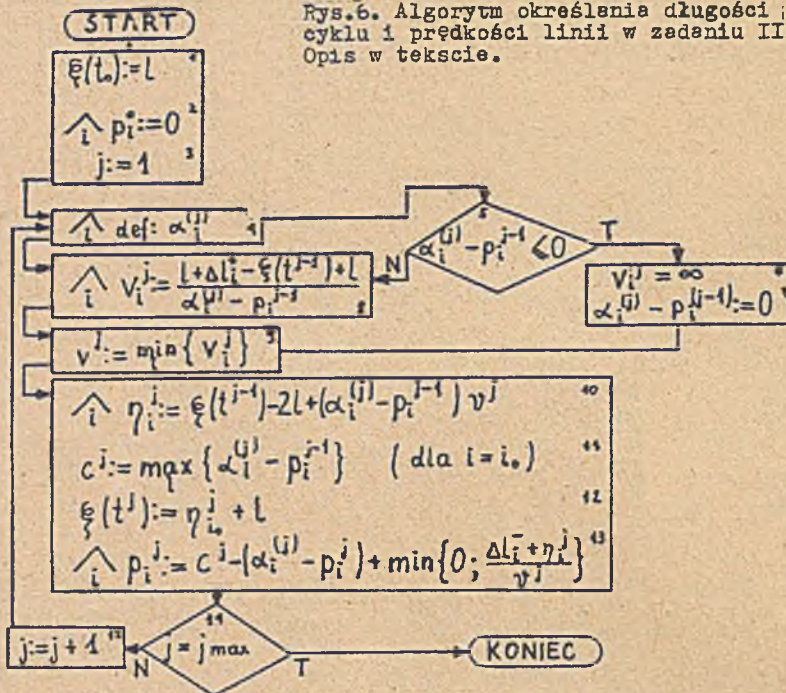
operacji montażu. Znaczenie rezerwy czasu w stanie nieustalonym linii polega na tym, że czas wykonania zespołu operacji montażu w danym cyklu jest pomniejszony o wykorzystaną część rezerwy czasu z cyklu poprzedniego.



$$\Delta l_i^- + \Delta l_i^+ \leq L$$

Rys. 5. Struktura dowolnego (i-tego) stanowiska linii z zadania III. Oznaczenia: l - odstęp między zawieszkami,  $\Delta l_i^-$  - lewy margines stanowiska,  $\Delta l_i^+$  - margines prawy,  $\xi$  współrzędna geometryczna.

Schemat blokowy algorytmu podany jest na rysunku 6. Oto jego opis. Niech  $\xi(t^j)$  oznacza wartość współrzędnej  $\xi$  w chwili, w której zakończył się j-ty cykl. Zakłada się na wstępie (pkt 1 algorytmu), że  $\xi(t^0) = l$  tj. zawieszka, na której będą wykonywane operacje pierwszego cyklu, zajmuje pozycję  $\xi = 0$ . Zakłada się dalej (pkt 2 alg.), że na żadnym stanowisku nie ma rezerwy czasu (tzn.  $p_i = 0$ ;  $i = 1, \dots, M$ ). Przechodzi się do rozwiązania pierwszego cyklu (ogólnie: j-tego cyklu). Określa się ciąg  $\alpha_i^{(j)}$   $i = 1, \dots, M$  czasów stanowisk za pomocą np. wzoru (21) (pkt 4 alg.). Jeżeli rezerwa z poprzedniego cyklu  $p_i^{(j-1)}$  dla jakiegoś stanowiska przekroczyła czas wykonania w j-tym cyklu  $\alpha_i^{(j)}$  (co teoretycznie jest możliwe dla bardzo długich stanowisk), nadaje się jej wartość zero (pkt 7 alg.), co oznacza, że operator może od razu przejść do tworzenia kolejnej rezerwy. Tak więc nie trzeba brać pod uwagę ograniczeń na prędkość transportera, wynikających z czasu tego stanowiska. Ten fakt uwzględnia się, nadając zmiennej  $p_i^{(j)}$  dostatecznie dużą wartość (pkt 6 alg.). W przypadku, kiedy rezerwa  $p_i^{(j)}$  nie przekroczyła wartości  $\alpha_i^{(j)}$ , ograniczenia na prędkość



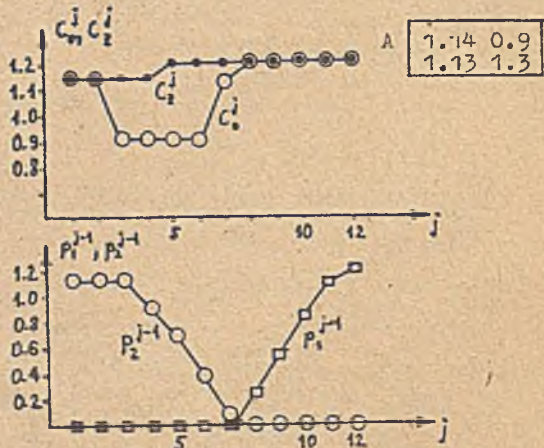
Rys.6. Algorytm określania długości cyklu i prędkości linii w zadaniu III. Opis w tekście.

transportera  $v^j$  ze względu na stanowisko  $i$ -te określa się w punkcie 8 algorytmu, biorąc pod uwagę dostępny odcinek stanowiska  $i$  część czasu stanowiska, równą  $\alpha_i^{(j)} - p_i^{j-1}$ . Prędkość transportera  $v^j$  w cyklu  $j$ -tym jest równa minimum z ograniczeń (pkt 9 alg.). Długość  $j$ -tego cyklu jest równa maksimum po  $i$  z wielkości  $\alpha_i^{(j)} - p_i^{j-1}$

(pkt 11 alg.), przy czym maksimum to jest osiągnięte dla  $i=i_0$ . Dalej należy wyliczyć rezerwę czasu  $p_i^j$ . W tym celu wyznacza się dla każdego stanowiska położenie kolejnej zawieszki w momencie, gdy na tym stanowisku zakończą się czynności  $j$ -tego cyklu (pkt 10 alg.). W punkcie 11 wyznacza się ponadto potrzebną do dalszych iteracji wielkość  $\xi(t^j)$ . Wzór w punkcie 13 pozwala obliczyć wykorzystaną część rezerwy cyklu. Na koniec, przechodzi się do następnego kroku iteracji, sprawdzając test 14 i powiększając numer cyklu ( $j$ ) o jeden.

UWAGI:

a) Można wykazać, że przy założeniu  $\Delta l_1^- = \Delta l_1^+ = 0$  algorytm daje zawsze:  $p_1^j = 0$ ,  $C_1^j = \max_1 \{ \alpha_i^{(j)} \}$ ,  $v^j = 1/C_1^j$ ,  $\xi(t^j) = 1$ , a więc zadanie III



Rys.7. Przebieg linii o stanowiskach otwartych z montażu typu 1 na montaż typu 2.  $C_1^j$ -cykl linii,  $C_2^j$ -cykl podbnej linii o stanowiskach zamkniętych.

Tablica II

Wyciąg z wydruku programu modelującego dla zadania III.  
Oznaczenia jak w tabeli I. Dodatkowo podano macierz A linii.

Warunek początkowy	Jedna z sekwencji optymalnych w sensie sterowania B.	Wskaźnik jakości I <sup>(1)</sup>		Zysk na sterowaniu A.
		ze sterowaniem A	bez sterowania A	
1	4 2 1 3	234.7 (237.88)	239.18	4.48
2	4 2 1 3	234.7 (237.88)	239.38	4.68

A :

1.0	1.2	1.14	0.9
1.1	0.8	1.13	1.2

upraszcza się do zadania II. Podobnie jest dla  $\Delta 1_1^- \neq 0, \Delta 1_1^+ \neq 0$  w stanie ustalonym.

b) Jeżeli wykorzystana część rezerwy czasu jest odpowiednio duża, to może się zdarzyć, że operator jednego ze stanowisk pracuje tylko w czasie rezerwowym, co jest równoznaczne z pracą w lewej części stanowiska.

Działanie algorytmu dla prostego przykładu można prześledzić na rysunku 7. Oto wnioski z tego przykładu:

- a) otwierając stanowiska "oszczędza się" na stanach nieustalonych,
- b) możliwe są długości cykli nie pokrywające się z czasem żadnego ze stanowisk,
- c) równość  $v_j = 1/C_j$  nie musi być spełniona,
- d) okazuje się, że po ustaleniu się długości cyklu może dalej zachodzić zmiana rezerwy czasu.

Tabela II jest wyciągiem z wydruku programu modelującego. Parametry linii:  $M = 2, M_2 = 4, K = 4, \{\lambda_i\} = \{2, 4\}, \Delta 1_1^+ = \Delta 1_1^- = 0.5, l_1 = 1.0, N = 200, N_1 = 25, N_2 = 75, N_3 = 50, N_4 = 50$ . Wnioski dotyczące sterowań A i B są podobne jak w zadaniach I i II.

6. Wnioski

Algorytmy wprowadzone w zadaniach I, II, III pozwalają na efektywne wyznaczenie prędkości przesuwu transportera linii dla różnych sterowań A i B przy ograniczeniach sformułowanych w punkcie 3. Zyski na sterowaniu zależą silnie od parametrów linii. Kwestia wyboru sekwencji optymalnej przy mniej, niż to było założone, rygorystycznych ograniczeniach pozostaje otwarta (por. [4]). Uzyskane wyniki wskazują na możliwość optymalizacji stanów nieustalonych linii montażowej przez sam dobór sekwencji wejściowej. Zastosowanie sterowania A jest nieco problematyczne ze względu na konieczność częstych zmian prędkości przesuwu transportera linii. Dodatkowym wnioskiem z zadania III jest potwierdzenie opłacalności stosowania stanowisk otwartych.

LITERATURA

[1] Kilbridge M., Wester L.: An Economic Model for the Division of Labour. Man. Sc. wol. 12, 6, 1966.  
[2] Marecki F.: Modelowanie symulacyjne linii montażowej samochodu małolitrażowego. Informatyka, 7-8/75.

- [3] Pawlik S.: Optymalizacja linii montażowej metodą symulacji cyfrowej. Mat.Sem.n/t: Zastosowania modelowania cyfrowego. Gliwice, 1976.
- [4] Thomopoulos N.T.: Line Balancing-Sequencing Mixed-Model Assembly. Man.Sc.vol.13.2.1967.

## АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ

### Резюме

В докладе предлагается способ ведения дискретного процесса сборки для многоассортиментного производства.

Приводится формальное описание проблемы и три варианта моделирования всё более сложного процесса.

## ANALYSIS AND MODELLING OF THE NON-STEADY ASSEMBLY LINE PROCESS

### Summary

In the paper a proposition how to steer the discrete process of line assembly in case of multi-model production is presented. The process is formally described, and three variants of increasing degree of complication are considered.