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

Aleksander Staszulonek
Politechnika Śląska

WYBRANE ZAGADNIENIA ANALIZY PROCESU PRZEJŚCIOWEGO W LINII MONTAŻOWEJ

Streszczenie. Referat zawiera sformułowanie problemu przejściowego w linii montażowej oraz definicje używanych pojęć. Dokonana jest analiza zjawiska na przykładzie procesu technologicznego o założonych parametrach. Proponuje się sposób obliczenia maksymalnego czasu trwania procesu przejściowego oraz sposób określania operacji, które należy wykonać na kolejnych stanowiskach, aby wyeliminować wpływ procesu przejściowego na jakość i wydajność produkcji.

1. Wstęp-sformułowanie problemu.

Dane jest zadanie polegające na montażu pewnego obiektu składającego się z N elementów. Operacje montażu wszystkich elementów muszą być wykonane na k stanowiskach umieszczonych szeregowo wzdłuż taśmy produkcyjnej. Ponieważ N > k na jednym stanowisku wykonuje się zazwyczaj kilka operacji. Liczba stanowisk montażu i liczba operacji są parametrami procesu. Problem automatycznego rozdzielania operacji na stanowiska jak również problem wyboru najlepszej kolejności montażu elementów w zależności od liczby uruchomionych na linii stanowisk rozwiązano przez stworzenie systemu komputerowego SILMONT /1/.
Jako element rozumie się element w powszechnie przyjętym znaczeniu jak również grupę elementów zmontowanych ze sobą w czasie tzw. operacji podmontażu.

Mianem struktury montażu nazwano określoną kolejność operacji montowania elementów.

Przyjęto, że struktura procesu technologicznego może być zmienna w zależności od liczby stanowisk uruchomionych na linii.

W praktyce produkcyjnej występują następujące sytuacje:
- zmiana liczby stanowisk przy nie zmienionej strukturze,
- zmiana struktury przy tej samej liczbie stanowisk,
- równoczesna zmiana liczby stanowisk i zmiana struktury montażu.

Kryterium maksymalnej wydajności powoduje, że wymienione sytuacje pociągają za sobą konieczność zmiany rozdziału operacji między stanowiska, w związku z czym niektóre operacje mogą zostać pominięte. Tym samym wystąpi pewna ilość braków. Zjawisko to przyjęto określać mianem procesu przejściowego w linii. Proces przejściowy występuje przede wszystkim przy wielozmianowym systemie pracy w początkowym okresie pracy każdej zmiany powodując opóźnienie rozruchu linii, a także w każdym innym momencie, gdy następuje zmiana struktury procesu, liczby stanowisk lub obie zmiany równocześnie, czyli gdy zmienia się stan statyczny linii. Stan linii można dokładnie opisać za pomocą tablicy utworzonej w następujący sposób:
- w kolumnach tablicy, które odpowiadają kolejnym stanowiskom montażowym umieszczone są numery technologiczne operacji opatrzone znakiem " + " jeśli operacja została wykonana uprzednio albo znakiem " - ", jeśli operacja będzie wykonana na stanowisku i-tym lub następnym /i=1,...,k/
- w wierszach tablicy występują numery technologiczne operacji różniące się jedynie znakami. Liczba wierszy jest równa liczbie operacji technologicznych tworzących proces.

/Sposób tworzenia tablicy stanu linii podano na rysunku 1/.

$$X = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1i} & \dots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2i} & \dots & a_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{j1} & a_{j2} & \dots & a_{ji} & \dots & a_{jk} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{Ni} & \dots & a_{Nk} \end{bmatrix}$$

Rys 1. Tablica stanu procesu montażu

W praktyce produkcyjnej eliminacja wpływu procesu przejściowego odbywa się na zasadzie samokontroli, powodując, że w początkowym okresie pracy nowej zmiany linia nie może być uruchomiona lub musi pracować z prędkością mniejszą od prędkości właściwej dla aktualnej struktury montażu i liczby stanowisk. Z tych względów jest celowa analiza zjawiska i możliwości eliminowania jego wpływu na proces.

2. Analiza problemu

Zjawisko procesu przejściowego poddano analizie na znacznie uproszczonym przykładzie umożliwiającym jednak zachowanie cech charakterystycznych procesu i zapewniającym wystąpienie wszystkich sytuacji wypunktowanych we wstępie. Założono, że przykładowy proces składa się z 15 operacji. Spośród wielu dopuszczalnych teoretycznie struktur, praktyczne znaczenie nadano jedynie dwom. Liczba stanowisk, na których zachodzi montaż, może być zmienna w granicach od 3 do 5. Dla tak określonych warunków liczba możliwych stanów statycznych linii jest równa

$$S_{st} = w \cdot n \,, \qquad /1/$$

gdzie: S_{st} – liczba możliwych stanów statycznych procesu,

n – liczba możliwych struktur procesu montażu,

$w = w_{max} - w_{min} + 1$ różnica między maksymalną i minimalną liczbą stanowisk na linii.

Liczba możliwych procesów przejściowych między dwoma dowolnymi stanami ustalonymi jest równa

$$S_{pp} = 2\binom{S_{st}}{2} = \frac{S_{st}!}{(S_{st}-2)!} \,, \qquad /2/$$

gdzie: S_{pp} – liczba możliwych procesów przejściowych.

Na podstawie /1/ i /2/ dla warunków przykładu otrzymuje się liczbę 15 różnych procesów przejściowych. Procesy przejścia między dwoma identycznymi stanami statycznymi nie są oczywiście w liczbie S_{pp} uwzględniane jako przypadki trywialne nie wymagające interwencji.

Założone struktury pokazano poniżej. P_k oznacza wektor kodów operacji technologicznych wchodzących w skład procesu, k=1,2.

$$P_1 = [1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9\ 10\ 11\ 12\ 13\ 14\ 15]$$
$$P_2 = [4\ 3\ 2\ 1\ 11\ 10\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9\ 15\ 13\ 14\ 12] \qquad /3/$$

Dla przyjętych struktur założono rozdział operacji między stanowiska. Na tej podstawie można z łatwością określić tablice stanów statycznych linii /4/. Do analizy wzięto proces przejściowy między stanami X_1 oraz X_6. W tym procesie występują największe różnice między początkowym a końcowym stanem statycznym linii, co pozwala pokazać w sposób pełny

zjawiska towarzyszące procesom przejściowym.

$$X_1 = \begin{bmatrix} -1 & +1 & +1 \\ -2 & +2 & +2 \\ -3 & +3 & +3 \\ -4 & +4 & +4 \\ -5 & +5 & +5 \\ -6 & -6 & +6 \\ -7 & -7 & +7 \\ -8 & -8 & +8 \\ -9 & -9 & +9 \\ -10 & -10 & +10 \\ -11 & -11 & -11 \\ -12 & -12 & -12 \\ -13 & -13 & -13 \\ -14 & -14 & -14 \\ -15 & -15 & -15 \end{bmatrix} \quad X_2 = \begin{bmatrix} -1 & +1 & +1 & +1 \\ -2 & +2 & +2 & +2 \\ -3 & +3 & +3 & +3 \\ -4 & -4 & +4 & +4 \\ -5 & -5 & +5 & +5 \\ -6 & -6 & +6 & +6 \\ -7 & -7 & +7 & +7 \\ -8 & -8 & -8 & +8 \\ -9 & -9 & -9 & +9 \\ -10 & -10 & -10 & +10 \\ -11 & -11 & -11 & -11 \\ -12 & -12 & -12 & -12 \\ -13 & -13 & -13 & -13 \\ -14 & -14 & -14 & -14 \\ -15 & -15 & -15 & -15 \end{bmatrix} \quad X_3 = \begin{bmatrix} -1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -2 & +2 & +2 & +2 & +2 \\ -3 & +3 & +3 & +3 & +3 \\ -4 & -4 & +4 & +4 & +4 \\ -5 & -5 & +5 & +5 & +5 \\ -6 & -6 & +6 & +6 & +6 \\ -7 & -7 & -7 & +7 & +7 \\ -8 & -8 & -8 & +8 & +8 \\ -9 & -9 & -9 & +9 & +9 \\ -10 & -10 & -10 & -10 & +10 \\ -11 & -11 & -11 & -11 & +11 \\ -12 & -12 & -12 & -12 & +12 \\ -13 & -13 & -13 & -13 & -13 \\ -14 & -14 & -14 & -14 & -14 \\ -15 & -15 & -15 & -15 & -15 \end{bmatrix}$$

$$X_4 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & +1 \\ -2 & +2 & +2 \\ -3 & +3 & +3 \\ -4 & +4 & +4 \\ -5 & -5 & +5 \\ -6 & -6 & +6 \\ -7 & -7 & +7 \\ -8 & -8 & -8 \\ -9 & -9 & -9 \\ -10 & -10 & +10 \\ -11 & -11 & +11 \\ -12 & -12 & -12 \\ -13 & -13 & -13 \\ -14 & -14 & -14 \\ -15 & -15 & -15 \end{bmatrix} \quad X_5 = \begin{bmatrix} -1 & +1 & +1 & +1 \\ -2 & +2 & +2 & +2 \\ -3 & +3 & +3 & +3 \\ -4 & +4 & +4 & +4 \\ -5 & -5 & +5 & +5 \\ -6 & -6 & +6 & +6 \\ -7 & -7 & +7 & +7 \\ -8 & -8 & -8 & +8 \\ -9 & -9 & -9 & +9 \\ -10 & -10 & +10 & +10 \\ -11 & -11 & +11 & +11 \\ -12 & -12 & -12 & -12 \\ -13 & -13 & -13 & -13 \\ -14 & -14 & -14 & -14 \\ -15 & -15 & -15 & -15 \end{bmatrix} \quad X_6 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & +1 & +1 & +1 \\ -2 & +2 & +2 & +2 & +2 \\ -3 & +3 & +3 & +3 & +3 \\ -4 & +4 & +4 & +4 & +4 \\ -5 & -5 & -5 & +5 & +5 \\ -6 & -6 & -6 & +6 & +6 \\ -7 & -7 & -7 & +7 & +7 \\ -8 & -8 & -8 & -8 & +8 \\ -9 & -9 & -9 & -9 & +9 \\ -10 & -10 & +10 & +10 & +10 \\ -11 & -11 & +11 & +11 & +11 \\ -12 & -12 & -12 & -12 & -12 \\ -13 & -13 & -13 & -13 & -13 \\ -14 & -14 & -14 & -14 & -14 \\ -15 & -15 & -15 & -15 & +15 \end{bmatrix}$$

/4/

Przydział operacji na stanowiska można odczytać w łatwy sposób z tablicy stanu statycznego linii. Na stanowisku i-tym wykonywane będą operacje o kodach technologicznych

$$r_{ji} = 0,5\ /a_{j\,i+1} - a_{ji}/ \qquad j = 1,2,3,\ldots,N \quad i = 1,2,\ldots,k-1$$

dla i = k

$$r_{ki} = 0,5\ /P_i - a_{ki}/ \qquad /5/$$

Wygodnie jest utworzyć dla dalszych rozważań tablicę operacji przydzielonych na kolejne stanowiska. Przykładową tablicę przydziału operacji dla stanu X_6 podano dalej.

$$R_{06}^{T} = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 11 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 6 & 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8 & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 12 & 13 & 14 & 0 \end{bmatrix} \qquad /6/$$

W analizowanym przykładzie zachodzi zmiana liczby stanowisk z 3 na 5, oraz zmiana wektora struktury P_1 na wektor P_2. Porównując odpowiednie wektory kolumnowe tablic X_1 i X_6 można zauważyć, że na pierwszym stanowisku proces przejściowy nie wystąpi, gdyż zaawansowanie montażu obiektu jest takie samo jak dla stanu ustalonego. Wobec tego monter obsługujący to stanowisko będzie wykonywał tylko operacje zgodne z przydziałem dla stanu X_6. Na drugim stanowisku pojawia się obiekt, którego montaż rozpoczęty został przy stanie X_1. Część operacji została wykonana wcześniej ; niektóre z nich powinny być wykonane na stanowisku drugim. Mianowicie element pierwszy został zamontowany na stanowisku 1, wobec tego monter wykonuje operacje 10 i 11, a nie jak w stanie X_6 1,10 i 11. W tym samym czasie na stanowisku trzecim pojawia się obiekt ze stanem X_1, w którym element 11 nie został zamontowany. Nieuwzględnienie tej sytuacji spowoduje wystąpienie braku. Równocześnie okazuje się, że operacje 5,6,7 mogą zostać pominięte, gdyż wykonano je wcześniej. Na stanowisku czwartym znajduje się obiekt kompletnie wykonany w stanie X_1, co zostało uwidocznione przez dopisanie do tablicy X_1 wektorów kolumnowych P_1, tak, aby X_1 i X_6 miały te same wymiary. Na tym etapie analizy można wskazać interesującą możliwość uruchomienia taśmy montażowej z szybkością większą niż w stanie X_6, o ile tylko suma czasów operacji na pierwszym stanowisku jest mniejsza od czasu cyklu i większa od sumy czasów operacji wykonywanych na następnych stanowiskach. Należy zaznaczyć, że taki przebieg zjawisk jest słuszny dla pierwszego cyklu procesu przejściowego. Dla czasów $T < t < 2T$ zjawiska zachodzą podobnie, z tą jednak różnicą, że inne operacje będą wykonywane dodatkowo. W celu określenia, które z nich są dodatkowe można utworzyć tablicę określoną wyrażeniem

$$O_{pp} = 0,5\ /X_6 - X_1 + 2R_{0,6}/, \qquad /7/$$

gdzie: O_{pp} – tablica modyfikacji stanu początkowego,

R_{06} – tablica przydziału operacji na stanowiska w końcowym stanie statycznym.

Postać wyrażenia /7/ dla omawianego przykładu pokazano poniżej. Elementy tablicy modyfikacji stanu początkowego mogą przyjmować wartości całkowite ujemne, dodatnie lub zero. Wartości dodatnie O_{pp} oznaczają kody technologiczne operacji, które powinny być wykonane na odpowiednich stanowiskach w analizowanym cyklu procesu przejściowego. Wartości ujemne sygnalizują, że operacje o tych kodach zostały nadrobione w poprzednim stanie statycznym. Tablicę O_{pp} można więc przedstawić w postaci sumy dwóch tablic: jednej zawierającej tylko wyrazy dodatnie lub zera,

$$
\begin{bmatrix}
0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
+2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
+3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
+4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & -5 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & -8 & 0 & 0 \\
0 & 0 & -9 & 0 & 0 \\
0 & +10 & 0 & 0 & 0 \\
0 & +11 & +11 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & -12 & 0 \\
0 & 0 & 0 & -13 & 0 \\
0 & 0 & 0 & -14 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{bmatrix}
= \frac{1}{2}
\left\{
\begin{bmatrix}
-1 & -1 & +1 & +1 & +1 \\
-2 & +2 & +2 & +2 & +2 \\
-3 & +3 & +3 & +3 & +3 \\
-4 & +4 & +4 & +4 & +4 \\
-5 & -5 & -5 & +5 & +5 \\
-6 & -6 & -6 & +6 & +6 \\
-7 & -7 & -7 & +7 & +7 \\
-8 & -8 & -8 & -8 & +8 \\
-9 & -9 & -9 & -9 & +9 \\
-10 & -10 & +10 & +10 & +10 \\
-11 & -11 & +11 & +11 & +11 \\
-12 & -12 & -12 & -12 & -12 \\
-13 & -13 & -13 & -13 & -13 \\
-14 & -14 & -14 & -14 & -14 \\
-15 & -15 & -15 & -15 & +15
\end{bmatrix}
+
\right.
$$

$$
-
\begin{bmatrix}
-1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\
-2 & +2 & +2 & +2 & +2 \\
-3 & +3 & +3 & +3 & +3 \\
-4 & +4 & +4 & +4 & +4 \\
-5 & +5 & +5 & +5 & +5 \\
-6 & -6 & +6 & +6 & +6 \\
-7 & -7 & +7 & +7 & +7 \\
-8 & -8 & +8 & +8 & +8 \\
-9 & -9 & +9 & +9 & +9 \\
-10 & -10 & +10 & +10 & +10 \\
-11 & -11 & -11 & +11 & +11 \\
-12 & -12 & -12 & +12 & +12 \\
-13 & -13 & -13 & +13 & +13 \\
-14 & -14 & -14 & +14 & +14 \\
-15 & -15 & -15 & +15 & +15
\end{bmatrix}
+ 2
\left.
\begin{bmatrix}
0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 5 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 6 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 7 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 8 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 9 & 0 \\
0 & 10 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 11 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 12 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 13 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 14 \\
0 & 0 & 0 & 15 & 0
\end{bmatrix}
\right\}
\qquad /8/
$$

nazwanej tablicą modyfikacji częściowej stanu początkowego, oraz drugiej zawierającej tylko elementy ujemne lub zera określonej jako tablica zaniku procesu początkowego.

$$O_{pp} = O_{mp} + O_{zp}, \qquad /9/$$

gdzie: O_{mp} - tablica modyfikacji częściowej,

O_{zp} - tablica zaniku procesu przejściowego.

Tworząc wyrażenie

$$X_z = X_1 + 2\,O_{mp} \qquad /10/$$

dokonujemy modyfikacji stanu początkowego. Tablica X_z uwidacznia zmiany zaszłe w procesie w czasie pierwszego cyklu.

Tablicę stanu procesu na początku następnego cyklu tworzymy w następujący sposób:

$$X^{ij}_{i,n+1} = X^{i,j-1}_{z} \qquad \text{dla } j=2,\ 3,\ \ldots,\ k$$

$$X^{ij}_{i,n+1} = X^{ij}_{i,n} \qquad \text{dla } j = i \qquad /11/$$

przy czym i = 1, 2,..., N

Tablicę modyfikacji częściowej i zaniku procesu przejściowego dla omawianego przykładu, a także tablicę stanu procesu na początku następnego cyklu pokazano poniżej. Ostatnią z tych tablic przedstawiono w postaci transponowanej.

$$O_{mp} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ +2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ +3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ +4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & +10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & +11 & +11 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad O_{zp} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -12 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -13 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -14 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$X^T_{n+1} = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -3 & -4 & -5 & -6 & -7 & -8 & -9 & -10 & -11 & -12 & -13 & -14 & -15 \\ -1 & +2 & +3 & +4 & -5 & -6 & -7 & -8 & -9 & -10 & -11 & -12 & -13 & -14 & -15 \\ +1 & +2 & +3 & +4 & +5 & -6 & -7 & -8 & -9 & +10 & +11 & -12 & -13 & -14 & -15 \\ +1 & +2 & +3 & +4 & +5 & +6 & +7 & +8 & +9 & +10 & +11 & -12 & -13 & -14 & -15 \\ +1 & +2 & +3 & +4 & +5 & +6 & +7 & +8 & +9 & +10 & +11 & +12 & +13 & +14 & +15 \end{bmatrix}$$

/12/

Omawiany przykład dotyczył przypadku zwiększania liczby stanowisk montażu. Aby wyrównać wymiary macierzy stanów statycznych procesu dopisywano do końca macierzy X_i dwa wektory kolumnowe P_i. W przypadku zmniejszania liczby stanowisk należy do macierzy stanu końcowego dopisać z przodu dwa wektory kolumnowe $-P_i$. Ogólnie dopisuje się

$$m = s_p - s_w \qquad /13/$$

wektorów kolumnowych P_i z odpowiednim znakiem w zależności od t[illegible], czy liczba stanowisk ulega zmniejszeniu, czy też powiększeniu. Pozostałe zjawiska zachodzą tak samo i podane zależności są słuszne.

Wpisując do zależności /7/ w miejsce X_i tablicę $X_{i,n+1}$ otrzymujemy tablicę $O_{pp,n+1}$ dla następnego cyklu. Powtarzając w dalszym ciągu pokazaną wyżej procedurę rozdzielania tablicy O_{pp} i modyfikowania tablicy stanu początkowego otrzymujemy ciąg tablic O_{mp}, który po kilku cyklach będzie identyczny z tablicą R_{06}. Osiągnięcie równości

$$O_{mp} = R_{06} \qquad /14/$$

sygnalizuje zakończenie procesu przejściowego w linii montażowej. Równocześnie tablica O_{zp} stanie się równa zeru.

Uogólniając powyższe rozważania można podać układ równań, który pozwala określić przebieg procesu przejściowego w linii montażowej.

$$O_{pp}\,/n/ = 0{,}5\,/X_k - X_p/n/ + 2\,R_{ok}\,/$$

$$O_{pp}\,/n/ = O_{mp}\,/n/ + O_{zp}\,/n/$$

$$X_z\,/n/ = X_p\,/n/ + 2\,O_{mp}\,/n/$$

$$X_p/n+1/\;:\;x^p_{ij}\,/n+1/ = \begin{cases} x^{i,j-1}_z/n/ & \text{dla } j=2,\,3,\,\ldots,\,k \\ x^p_{ij}/n/ & j=1 \end{cases}$$

$$i = 1,\,2,\,\ldots,\,N \qquad /15/$$

gdzie:
- n – wskaźnik cyklu procesu przejściowego
- $O_{pp}/n/$ – tablica modyfikacji stanu początkowego
- X_k – tablica stanu końcowego
- R_{ok} – tablica przydziału operacji na stanowiska w końcowym stanie statycznym
- $X_p/n/$ – tablica stanu procesu w cyklu n
- $O_{mp}/n/$ – tablica modyfikacji częściowej
- $O_{zp}/n/$ – tablica zaniku procesu przejściowego
- $X_z/n/$ – zmodyfikowana tablica stanu procesu.

Na podstawie powyższych rozważań łatwo określić rzeczywisty czas trwania procesu przejściowego linii. W tym celu należy określić minimalny czas pracy niezbędny na wykonanie wszystkich operacji w n-tym cyklu procesu przejściowego.

$$T^n_c = \max_j \Big/ \sum_{i=1}^{N} t\,/O^{ij}_{mp}\,/n/// \qquad /16/$$

gdzie: T^n_c – minimalny czas n-tego cyklu w procesie przejściowym

$t/\,O^{ij}_{mp}\,/n//$ – czas wykonywania operacji i-tej na stanowisku j.

Jeśli $O^{ij}_{mp}\,/n/ = 0$ to odpowiedni czas $t/0/$ też równy jest zeru.

Całkowity minimalny czas trwania procesu przejściowego określa zależność:

$$t^{pp}_{min} = \sum_{n=1}^{i} T^n_c \qquad /17/$$

gdzie: t^{pp}_{min} – minimalny czas trwania procesu przejściowego

Jeżeli istnieje możliwość regulacji prędkości przesuwu taśmy proporcjonalnie do czasu cyklu, to osiągane korzyści są maksymalne.

3. Wnioski.

Rozpatrzony przykład sugeruje możliwość eliminowania lub ograniczenia wpływu procesu przejściowego na przebieg montażu taśmowego.
Znajomość przebiegu procesu przejściowego pozwala na znaczne skrócenie lub zupełne wyeliminowanie przestoju taśmy po wystąpieniu zakłócenia, powodując znaczne zwiększenie wydajności pracy. Zmniejszeniu powinna ulec liczba braków spowodowanych zmianą stanu procesu.

Jeśli istnieją warunki techniczne korzystne jest sterowanie szybkością przesuwu taśmy w procesie przejściowym.
Przy czasach cyklu porównywalnych z cyklem w stanie ustalonym osiągane korzyści są nieznaczne, w związku z czym można uruchomić taśmę z prędkością równą prędkości dla stanu końcowego.

LITERATURA

[1]. Kowalowski H., Marecki F. i inni.: Optymalizacja pracy linii montażowej silnika. Raport z pracy naukowo-badawczej. Instytut Automatyki, Politechnika Śląska, Gliwice, 1977.

[2]. Marecki F.: Modelowanie symulacyjne linii montażowej samochodu małolitrażowego. Informatyka nr 7-8, 1975.

ИЗБРАННЫЕ ВОПРОСЫ АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА НА СБОРОЧНОЙ ЛИНИИ

Р е з ю м е

В работе даётся формулировка проблемы переходного процесса на монтажной линии, а также определение употребляемых понятий.

Анализируется и предлагается способ расчёта максимального времени продолжительности переходного процесса.

THE ANALYSIS OF CHOSEN PROBLEMS OF THE ASSEMBLY LINE TRANSIENT PROCESS

S u m m a r y

The paper presents formulation of the transient process problem and definitions of applied notions. The analysis of the problem is presented in application for some technological process. The main problem discussed is the elimination of transient process influence on production quality and efficiency.