

Mirosław Zaborowski
Politechnika Śląska

QUASICIAĞEA SYMULACJA PRZEPŁYMU MATERIAŁÓW PRZEZ AGREGATY O PROCESACH
TECHNOLOGICZNYCH DYSKRETNYCH*

Streszczenie. W pracy przedstawiono algorytmy symulacji przepływu materiałów przez agregaty produkcyjne zorganizowane w potok synchroniczny z wymuszonym taktom i agregaty o prostszych formach organizacji produkcji. W obu algorytmach wykorzystuje się metode śledzenia działań ze stałym krokiem aktualizacji czasu zegarowego.

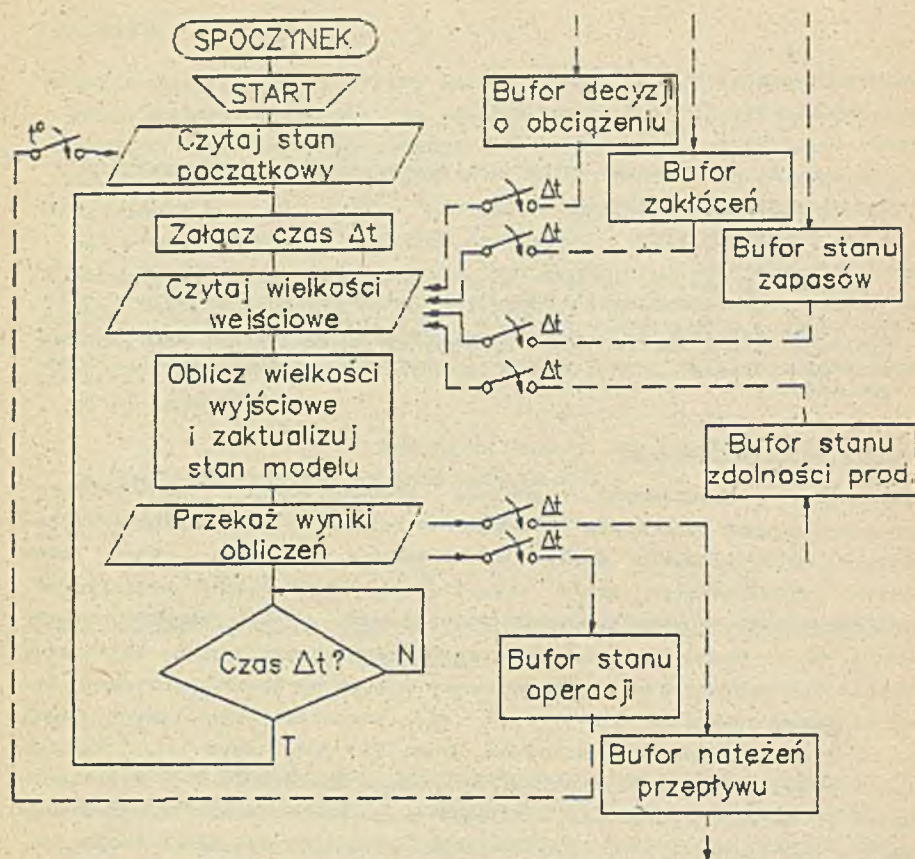
1. Wielkości wyjściowe modelu

Wielkościami wyjściowymi agregatu produkcyjnego jako obiektu sterowania przepływem materiałów są natężenia przepływu w jego zewnętrznych strumieniach materiałowych. Jeśli w trakcie symulacji czas jest uaktualniany metoda stałego kroku (rys.1), to wielkościami wyjściowymi modelu są ciągi ilości materiałów przepływających w kolejnych okresach próbkowania. W przypadku dyskretnych procesów technologicznych są to liczby sztuk detali lub podzespołów przepływających w tych okresach. Wielkości te będziemy oznaczać symbolami $u_i, i=1, \dots, I^u$ - dla strumieni wejściowych oraz $y_j, j=1, \dots, I^y$ - dla strumieni wyjściowych (rys.2), przy czym I^u, I^y - liczby wejściowych i wyjściowych strumieni materiałowych agregatu. Dla strumieni wejściowych będących strumieniami wiodącymi stosować będziemy również inne oznaczenie - $w_j, j=1, \dots, I^v$, przy czym I^v - liczba strumieni wiodących agregatu [5]. Decyzje sterowania obciążeniem agregatu w danym okresie próbkowania będą oznaczane symbolami $w_j^k, j=1, \dots, I^v$ [6].

Cechą charakterystyczną procesów dyskretnych jest przepływ detali w pewnych wyróżnionych chwilach i brak przepływu w okresach między tymi chwilami. Symulacja powinna umożliwiać określenie tych chwil z dobrą dokładnością, a zatem okres próbkowania Δt powinien być wielokrotnie mniejszy od taktu pracy agregatu. Przy takim założeniu obserwowane przebiegi czasowe są zbliżone do przebiegów, które otrzymanoby w przypadku obserwacji ciągłej w czasie, i w tym sensie można tu mówić o symulacji quasiciągłej.

Przy odpowiednio krótkim okresie próbkowania Δt można mieć pewność, że w każdym z tych okresów przepływie w i -tym strumieniu wejściowym albo liczba sztuk wprowadzanych do agregatu jednorazowo - u_i^n ($i=1, \dots, I^u$), albo

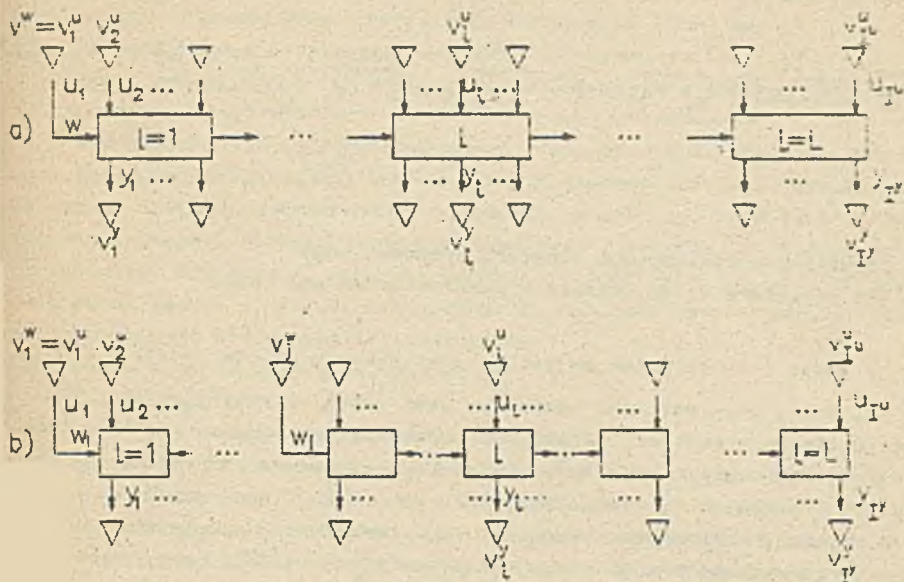
*Praca była częściowo finansowana przez RP.I.02 "Teoria sterowania i optymalizacji ciągłych układów dynamicznych i procesów dyskretnych"



Rys.1. Struktura algorytmu symulacji przepływu materiałów przez agregat produkcyjny

Fig.1. The structure of the algorithm for simulation of material flow through a manufacturing aggregate

nic. Odpowiednie wielkości dla wiodących strumieni wejściowych oznaczono symbolem w_j^{in} ($j=1, \dots, I^W$), a dla strumieni wyjściowych - y_i^{out} ($i=1, \dots, I^Y$). Wszystkie te wielkości są na ogół równe 1. Przepływ w strumieniach wyjściowych również najczęściej może przyjmować tylko dwie wartości - albo y_i^{out} , albo nic. Dotyczy to także strumieni odpływających ze stanowisk kontroli jakości lub ze stanowisk roboczych z selekcją wyrobów [4], gdzie $y_i = d_i^Y$, natomiast d_i^Y jest zmienną losową przyjmującą wartości 0 albo 1.



Rys.2. Struktury agregatów zorganizowanych w potok synchroniczny z wymuszonym i z niewymuszonym taktem

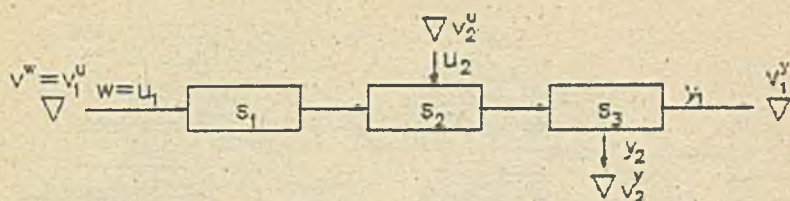
Fig.2. The structures of aggregates organized as synchronous flow shop systems with forced and flexible production paces

Tylko wtedy, gdy y_i jest zmienną losową, a równocześnie $y_i^{jn} > 1$, liczba sztuk przepływających w okresie próbkowania w danym strumieniu wyjściowym może przyjmować wartości całkowite różne od 0 i od y_i^{jn} .

2. Struktura agregatu

Rozważać będziemy agregaty składające się z L szeregowo połączonych stanowisk roboczych (rys.2). Przyporządkowanie strumieni materiałowych do stanowisk roboczych będziemy kodować za pomocą wektorów k^u, k^v o współrzędnych $k_i^u \in \{1, \dots, L\}$, $k_i^v \in \{1, \dots, L\}$. Są to indeksy stanowisk, do których dopływają ($i=1, \dots, I^u$), bądź z których odpływają ($i=1, \dots, I^v$) poszczególne strumienie zewnętrzne agregatu.

Strumienie wiodące będą formalnie odróżniane od pozostałych strumieni wyjściowych za pomocą wektora k^v o wymiarze I^v i współrzędnych:



Rys.3. Struktura przykładowego agregatu produkcyjnego
Fig.3. The structure of an exemplary manufacturing aggregate

$k_i^v = \begin{cases} j, & \text{jeśli } i\text{-ty strumień wejściowy jest } j\text{-tym wiodącym, } j \in \{1, \dots, I^v\} \\ -j, & \text{jeśli } i\text{-ty strumień wejściowy jest } j\text{-tym zależnym, } j \in \{1, \dots, I^z\} \end{cases}$
 I^z jest tu liczbą strumieni zależnych, spełniającą warunek $I^v + I^z = I^u + I^y$.
 Jeśli $I^v > 1$, to każdej wielkości wiodącej odpowiada określony zbiór stanowisk roboczych o nadających za nią obciążeniach [5].
 Przyporządkowanie stanowisk roboczych do strumieni wiodących będzie kodowane za pomocą wektora k^a o współrzędnych $k_i^a \in \{1, \dots, I^v\}$, przy czym k_i^a jest indeksem wielkości wiodącej, za którą nadała obciążenie 1-tego stanowiska. Jeśli wielkość wiodąca jest jedna, co w praktyce zachodzi dla każdego agregatu zorganizowanego w potok synchroniczny z wymuszonym taktem (rys.2a) i dla większości agregatów o innych formach organizacji produkcji, to wektory k^v , k^a są zbędne. Można wówczas przyjąć umowę, że strumień wiodący jest pierwszym strumieniem wejściowym.

W przypadku produkcji niepotokowej lub potoku asynchronicznego agregat składa się z pojedynczego stanowiska roboczego ($L=1$) i ma tylko jedną wielkość wiodącą ($I^v=1$). Dla przykładowego agregatu przedstawionego na rys.3 jest $L=3$, $I^u=2$, $I^y=2$, $I^v=1$, $I^z=3$, $k_1^u=1$, $k_2^u=2$, $k_1^y=k_2^y=3$, $k_1^v=1$, $k_2^v=-1$, $k_1^a=k_2^a=k_3^a=1$.

3. Algorytm symulacji w przypadku potoku synchronicznego z wymuszonym taktem

Algorytm symulacji przepływu materiałów przez agregat można przedstawić w postaci procedury obliczeniowej, wykonywanej w każdym okresie próbkowania (rys.1). Wartości natężeń przepływu u_i , y_i są obliczane na podstawie następujących wielkości:

- s_i - stan zajętości 1-tego stanowiska, $i=1, \dots, L$, przy czym $s_i=1$, gdy stanowisko jest zajęte, natomiast $s_i=0$, gdy jest zwolnione,
- x^i - stan zaawansowania taktu pracy [6],

w^l - decyzja o tempie zmian stanu zaawansowania taktu pracy [6],
 w^i - decyzja o przepływie materiałów w strumieniu wiodącym,
 d_i^y - zmienna losowa przyjmująca wartości ze zbioru $\{0, 1, \dots, y_i^{ln}\}$, $(i=1, \dots, I^y)$.
 Jeśli przepływ w i -tym strumieniu wyjściowym nie podlega przypadkowym zmianom, to $d_i^y = y_i^{ln}$.

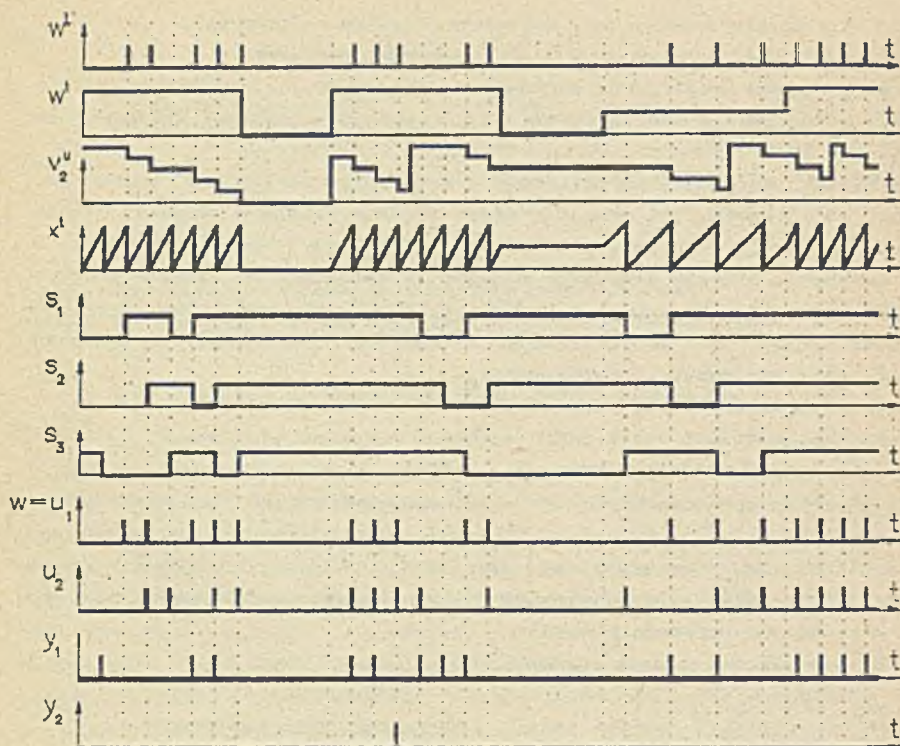
W przypadku potoku synchronicznego z wymuszonym taktom nie można ani wprowadzić do agregatu, ani usunąć z niego żadnego detalu w czasie między kolejnymi chwilami wyróżnionymi, w których kończy się jeden takt pracy, a zaczyna następny. Dlatego algorytm symulacji sprawdza w każdym okresie próbkowania, czy stan x^l osiągnął wartość 1. Jeśli nie, to żadne operacje poza aktualizacją x^l nie są wykonywane. W chwilach wyróżnionych algorytm oblicza kolejno dla wszystkich stanowisk:

- przepływ w strumieniach wyjściowych,
- nowy stan zajętości,
- przepływ w strumieniach wejściowych.

Nie jest przy tym sprawdzany ani stan zapasów w magazynach sąsiadujących z agregatem v_i^u ($i=1, \dots, I^u$), v_i^y ($i=1, \dots, I^y$), ani stan zdolności produkcyjnej agregatu w^m . Wielkości te oddziałują na przepływ materiałów przez agregat za pośrednictwem zmiennych decyzyjnych sterowania obciążeniem chwilowym w^l , w^i , które są od nich uzależnione [6].

Działanie algorytmu jest następujące:

- | | |
|--|--|
| $\left. \begin{aligned} u_i &:= 0, \text{ dla } i=1, \dots, I^u \\ y_i &:= 0, \text{ dla } i=1, \dots, I^y \end{aligned} \right\}$ | - ustawienie wstępne |
| <p>Jeśli $x^l < 1$, idź do 6°</p> $x^l := 0$ <p>1: = L</p> | <p>- takt nie zakończony</p> <p>- początek taktu</p> |
| <p>1° Jeśli $s_l = 0$, idź do 2°</p> $y_i := d_i^y, \text{ dla } i=1, \dots, I^y, k_i^y = 1$ | <p>- stanowisko puste</p> <p>- odpływ materiałów</p> |
| <p>2° Jeśli $l > 1$, idź do 3°</p> $s_l := \begin{cases} 0, & \text{gdy } w^l = 0 \\ 1, & \text{gdy } w^l > 0 \end{cases}$ | <p>- zwolnienie stanowiska l</p> <p>- zajęcie stanowiska l</p> |
| <p>Idź do 4°</p> <p>3° $s_l := s_{l-1}$</p> | <p>- przeniesienie stanu zajętości z poprzedniego stanowiska</p> <p>- stanowisko zwolnione</p> |
| <p>4° Jeśli $s_l = 0$, idź do 5°</p> $u_i := u_i^{ln}, \text{ dla } i=1, \dots, I^u, k_i^u = 1$ | <p>- dopływ materiałów</p> |
| <p>5° 1: = 1-1</p> <p>Jeśli $l \geq 1$, idź do 1°</p> | |
| <p>6° $x^l := x^l + \frac{w^l}{w^{ln}} \Delta t$</p> | <p>- przyrost stanu zaawansowania taktu</p> |



Rys.4. Przykład 1 przebiegów czasowych natężeń przepływu i współrzędnych stanu agregatu

Fig.4. The 1-st example of the flow rates and state variables courses of a manufacturing aggregate

Przykładowe przebiegi czasowe natężeń przepływu i współrzędnych stanu, otrzymane w wyniku zastosowania tego algorytmu do agregatu o strukturze jak na rys.3, zostały pokazane na rys.4.

4. Algorytm symulacji przepływu materiałów przez agregaty o prostszych formach organizacji produkcji

W przypadku potoku synchronicznego bez wymuszonego taktu rolę stanu zaawansowania taktu pracy x^l odgrywa wektor stanów zaawansowania operacji wykonywanych na poszczególnych stanowiskach roboczych x_l , $l=1, \dots, L$.

wprowadza to odpowiedni wzrost złożoności algorytmu symulacji przepływu materiałów. Algorytm komplikuje się dodatkowo z następujących przyczyn:

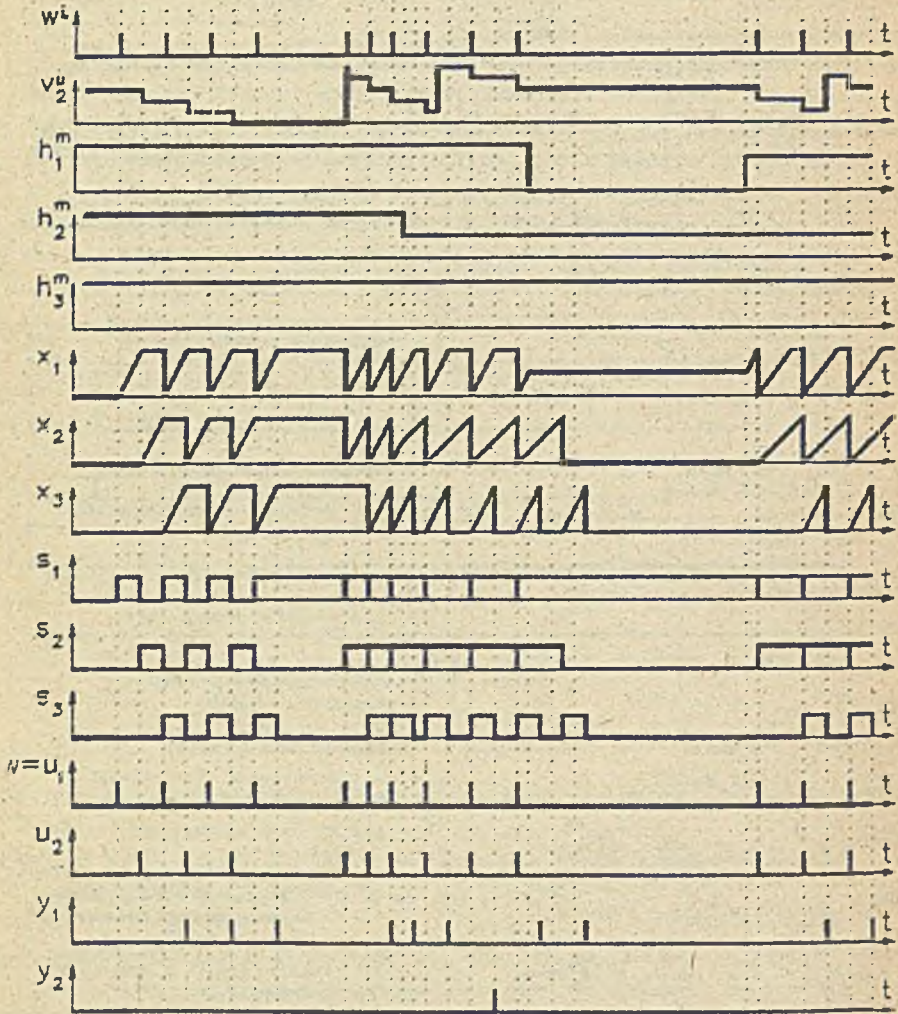
Tempo wykonywania operacji h_l , $l=1, \dots, L$, jest sumą składowej deterministycznej h_l^m odzwierciedlającej zmiany zdolności produkcyjnej danego stanowiska i składowej losowej g_l .

Zmiany stanu zajętości poszczególnych stanowisk są uwarunkowane nie tylko stanem zajętości sąsiednich stanowisk, lecz także stanem zaawansowania operacji i stanem zapasów w sąsiadujących magazynach.

główną przyczyną wzrostu komplikacji algorytmu jest uogólnienie go na przypadek, gdy liczba strumieni wiodących jest większa od 1 (rys.2b).

Po uwzględnieniu wszystkich wyżej wymienionych zmian i uogólnień można zaproponować następujący algorytm symulacji przepływu materiałów przez agregat produkcyjny:

- | | |
|--|--|
| $u_l := 0$, dla $l=1, \dots, I^u$ | } - ustawienie wstępne |
| $y_l := 0$, dla $l=1, \dots, I^y$ | |
| $j := I^y$ | |
| $l := L$ | |
| Jeśli $x_l < 1$, idź do 2° | - operacja nie zakończona |
| Jeśli $\bigvee_{i \in \{1, \dots, I^y\}, k_l^y=1} v_l^y > v_l^{ym} - y_l^{jn}$, idź do 2° | - przepełnione magazyny wyjściowe |
| $y_l := d_l^y$, dla $l=1, \dots, I^y, k_l^y=1$ | - odpływ materiałów |
| $s_l := 0$ | - zwolnienie stanowiska |
| Jeśli $l=1$, idź do 4° | } - do stanowiska l dopływa strumień wiodący |
| Jeśli $k_{l-1}^o < j$, idź do 4° | |
| Jeśli $s_l = 1$, idź do 3° | - stanowisko zajęte |
| Jeśli $x_{l-1} < 1$, idź do 3° | - na poprzednim stanowisku operacja nie zakończona |
| Jeśli $\bigvee_{i \in \{1, \dots, I^u\}, k_l^u=1} v_l^u < u_l^{jn}$, idź do 3° | - opróżnione magazyny wejściowe |
| Jeśli $\bigvee_{i \in \{1, \dots, I^y\}, k_l^y=1-1} v_l^y > v_l^{ym} - y_l^{jn}$, idź do 3° | - na poprzednim stanowisku przepełnione magazyny wyjściowe |
| $y_l := y_l^{jn}$, dla $l=1, \dots, I^y, k_l^y=1-1$ | - odpływ materiałów z poprzedniego stanowiska |
| $s_{l-1} := 0$ | - zwolnienie poprzedniego stanowiska |
| $s_l := 1$ | - zajęcie stanowiska |
| $u_l := u_l^{jn}$, dla $l=1, \dots, I^u, k_l^u=1$ | - dopływ materiałów |
| $x_l := 0$ | - początek operacji |
| $l := l-1$ | |



Rys.5. Przykład 2 przebiegów czasowych natężeń przepływu i współrzędnych stanu agregatu

Fig.5. The 2-nd example of the flow rates and state variables courses of a manufacturing aggregate

Idź do 2°

- 4° Jeśli $s_l=1$, idź do 5° - stanowisko zajęte
- Jeśli $v \in (1, \dots, I^u)$, $v_l^u < u_l^{jn}$, idź do 5° - opróżnione magazyny materiałów dopływających w strumieniach zależnych
 $k_l^u=1, k_l^v < 0$
- $u_l := w_j^l$, dla $l=1, \dots, I^u$, $k_l^v=j$ - wykonanie decyzji o dopływie w strumieniu wiodącym
- Jeśli $w_j^l=0$, idź do 5° - brak dopływu w strumieniu wiodącym
- $s_l := 1$ - zajęcie stanowiska
- $u_l := u_l^{jn}$, dla $l=1, \dots, I^u$, $k_l^u=1, k_l^v < 0$ - dopływ materiałów w strumieniach zależnych
- $x_l := 0$ - początek operacji
- 5° Jeśli $l=1$, idź do 6°
- $j := j-1$
- $l := l-1$
- Idź do 1°
- 6° $h_l := \begin{cases} 0, & \text{gdy } x_l \geq 1 \\ h_l^m + d_l, & \text{gdy } x_l < 1 \end{cases}$, dla $l=1, \dots, L$ - ustalenie tempa wykonywania operacji
- $x_l := x_l + h_l \Delta t$, dla $l=1, \dots, L$ - przyrost stanu zaawansowania operacji

Przyjmując $L=1$, $I^v=1$ otrzymujemy algorytm symulacji przepływu materiałów przez pojedyncze stanowisko robocze. W tej postaci można korzystać z algorytmu dla prostszych form organizacji produkcji: potoku asynchronicznego i produkcji niepotokowej.

Przykładowe przebiegi czasowe natężeń przepływu i współrzędnych stanu agregatu o strukturze jak na rys.3 zostały pokazane na rys.5.

LITERATURA

- [1] Gordon G.: Symulacja systemów. WNT, Warszawa 1974.
- [2] Kowalowski H. i inni: Automatyzacja dyskretnych procesów przemysłowych. WNT, Warszawa 1984.
- [3] Lis S.: Organizacja i ekonomika procesów produkcyjnych w przemyśle maszynowym. PWN, Warszawa 1984.
- [4] Zaborowski M.: Agregacja stanowisk roboczych dla potrzeb sterowania dyskretnymi procesami produkcji. ZN Pol.Sl., s. Automatyka, z.85, Gliwice 1986.
- [5] Zaborowski M.: Modele matematyczne agregatów o procesach technologicznych dyskretnych. ZN Pol.Sl., s. Automatyka, z.94, Gliwice

© 1988.

[6] Zaborowski M.: Sterowanie nadajne obciążeniem chwilowym agregatów o procesach technologicznych dyskretnych. IN Pol.Sl., s. Automatyka, z.95, Gliwice 1988.

Recenzent: Doo.dr hab.inż.K.Wala

Wpłynęło do Redakcji do 1988-04-30.

КВАЗИПРЕРЫВНАЯ СИМУЛЯЦИЯ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПО АГРЕГАТАМ С ДИС- КРЕТНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Р е з ю м е

В работе представлены два алгоритма симуляции процесса движения материалов по производственным агрегатам, в которых происходит синхронное поточное производство с вынужденным тактом и по агрегатам с более простыми формами агрегации производства. В обоих случаях используется метод наблюдения действий с постоянным периодом квантования времени.

QUASICONTINUOUS SIMULATION OF MATERIAL FLOW THROUGH MANUFACTURING AGGREGATES WITH DISCRETE TECHNOLOGICAL PROCESSES

С и ж е т

Two algorithms for simulation of material flow through manufacturing aggregates have been presented in this paper. The first one applies to aggregates organized as synchronous flow shop systems with forced production paces. The second one is suitable for aggregates with simpler organization forms. Both of them use machine-based simulation method with a constant sampling period.