

Wiesław Pierzchała, Stanisław Rusinek
Politechnika Krakowska

SYMULACJA MACIERZOWA KRÓTKOTERMINOWEGO PLANU PRODUKCYJNEGO DLA SYSTEMU FMS-P1000

Streszczenie. W pracy przedstawiono zastosowanie metody macierzowej do symulacji pracy rzeczywistego systemu produkcyjnego FMS-P1000. Symulacja krótkoterminowego (tygodniowego) planu produkcyjnego była podstawą do analizy przydatności metody do weryfikacji planów produkcyjnych.

1. Wprowadzenie

Program ESPSYM, symulujący funkcjonowanie elastycznego systemu produkcyjnego (ESP), powstał w ramach badań prowadzonych w Instytucie Technologii Maszyn Politechniki Krakowskiej dla Centralnego Programu Badań Podstawowych 02.04. Jest on oparty na oryginalnym modelu macierzowym, w którym system podlega zdekomponowaniu poprzez wyodrębnienie zbioru czynności elementarnych oraz elementów biorących w nich udział. Model ten był prezentowany wcześniej, m.in. w pracach [1,2,3]. Opracowany algorytm umożliwia symulację funkcjonowania systemu, przekształcając model według czasu bieżącego, co ma istotne znaczenie w zastosowaniach do sterowania i nadzorowania ESP, zasadniczych dla rozwiązywanego problemu badawczego. Oprogramowanie napisano w języku C i uruchomiono na mikrokomputerze IBM PC.

Dane potrzebne do zbudowania modelu symulacyjnego któregośkolwiek systemu rzeczywistego znacznie wykraczają poza informacje prospektowe i są bardzo trudne do uzyskania. Z konieczności więc program testowano na hipotetycznych przykładach. Wykorzystując kontakty nawiązane w ramach wieloletniej współpracy Instytutu Technologii Maszyn Politechniki Krakowskiej z Sekcją Technologii Uniwersytetu Technicznego w Karl-Marx-Stadt, podjęto starania o dane odnośnie systemu FMS-P1000/2-6, zainstalowanego i pracującego w Kombinacie Obrabiarkowym "Fritz-Heckert". Informacje uzyskane od użytkowników oraz spostrzeżenia autorów poczynione w trakcie bezpośredniej obserwacji działania systemu podczas pobytu w NRD, uznano za wystarczające dla podjęcia prób zamodelowania tego obiektu. Przewidując, że zadanie to będzie znacznie przewyższało rozmiarami wszystkie wcześniej rozpatrywane i badane za pomocą programu ESPSYM modele, oczekiwano uzyskania wyników umożliwiających wyrobienie sobie poglądu odnośnie kilku, nie

rozstrzygniętych dotychczas kwestii. W związku z tym podjęte prace miały cztery zasadnicze cele:

- Stwierdzenie, w jakim stopniu program ESPSYM spełni oczekiwania autorów w przypadku próby modelowania i badań symulacyjnych rzeczywistego, stosunkowo dużego systemu.
- Określenie ewentualnych ograniczeń dla budowanych modeli (np. ich rozmiarów) wynikających z typu i konfiguracji zastosowanego sprzętu komputerowego.
- Zrealizowanie w modelu i sprawdzenie skuteczności prostej, stosowanej w praktyce taktyki sterowania systemem, polegającej na możliwie bezwzględnym obciążaniu wolnej obrabiarki.
- Wskazanie, w oparciu o zebrane doświadczenia, kierunku i zakresu pożądanych modyfikacji programu, ułatwiających jego użytkowanie.

2. Opis systemu FMS-P1000/2-6

Jak już wspomniano, elastyczny system produkcyjny FMS-P1000/2-6 jest zainstalowany i pracuje w Kombinacie Obrabiarkowym "Fritz-Heckert" w Karl-Marx-Stadt. Przeznaczony jest do obróbki korpusów o wymiarach od 300 do 1000 mm i masie do 1000 kg. Uzyskuje roczną wydajność około 4600 szt., pracując przez 20 godzin na dobę. Obrabia 28 różnych przedmiotów. Uzyskiwana dokładność jest rzędu 0.02mm.

W skład systemu wchodzi (rys. 1):

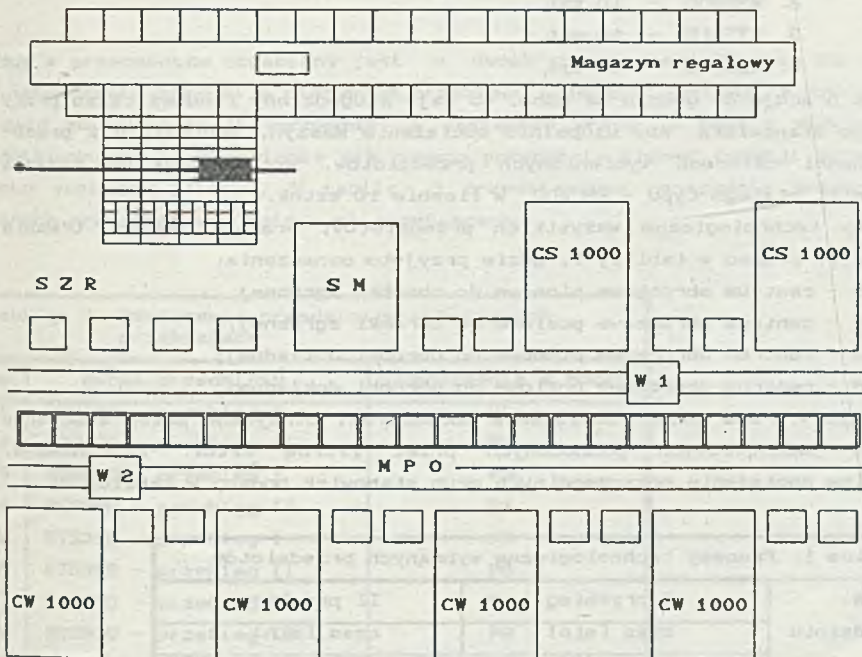
- cztery poziome centra obróbkowe typu CW1000;
- dwa pionowe centra obróbkowe typu CS1000;
- stanowisko mycia i chłodzenia (SMD);
- dwa szynowe wózki transportowe (W1, W2);
- cztery stanowiska mocowania przedmiotów na paletach (SZR);
- magazyn wewnętrzny przedmiotów obrabianych (MPO);
- magazyn zewnętrzny regałowy.

Przedmioty przeznaczone do obróbki w systemie pobierane są z magazynu regałowego (zewnętrznego) i kierowane do stanowiska mocowania na paletach. Po zamocowaniu przedmiot wraz z paletą przewożony jest do magazynu wewnętrznego systemu (MPO) lub bezpośrednio do centrum obróbkowego.

Analiza realizowanych aktualnie w systemie procesów technologicznych [5,6] pozwala stwierdzić, że:

- w systemie wykonywana jest obróbka zgrubna i dokładna, przy czym, ze względów technologicznych, wydzielono do obróbki zgrubnej dwa centra typu CW i jedno typu CS;
- obróbka przedmiotów wykonywana jest w jednym, dwóch lub trzech przebiegach;

Każdy przebieg to zmiana zamocowania przedmiotu na palecie. Przed każdą operacją mocowania, jak również przed obróbką dokładną i po zakończeniu obróbki przedmiot trafia na stanowisko mycia. Tak więc proces technologiczny przedmiotu określa liczbę przebiegów (zamocowań), a w ramach każdego przebiegu kolejność operacji zgrubnych i dokładnych.



MPO - magazyn przedmiotów obrabianych

SZR - stacja załadowczo-rozładowcza

W1, W2 - wózki szynowe

SM - stacja mycia i chłodzenia

CW 1000 - poziome centra obróbkowe

CS 1000 - pionowe centra obróbkowe

Rys. 1. Konfiguracja systemu FMS-P1000/2-6

Fig. 1. Configuration of FMS-P1000/2-6 system

3. Dobór asortymentu dla krótkoterminowego planu produkcyjnego

Na podstawie informacji uzyskanych od użytkowników systemu [6] przyjęto, że będzie symulowany tygodniowy plan produkcji, w którym zlecono wykonanie czterech typów przedmiotów:

1. DTS400 - 5 szt.
2. RSS800 - 10 szt.
3. ETS315 - 10 szt.
4. RSS500 - 10 szt.

System pracuje 20 godzin na dobę, co daje stugodzinny fundusz czasu pracy każdego stanowiska. Aby uzupełnić obciążenie maszyn, wynikające z pracochłonności czterech wymienionych przedmiotów, wprowadzono do zadania przedmiot piątego typu - KS 400, w liczbie 10 sztuk.

Procesy technologiczne wszystkich przedmiotów, wraz z czasami trwania operacji, podano w tabelicy 1, gdzie przyjęto oznaczenia:

- CSz - centrum obróbkowe pionowe do obróbki zgrubnej;
- CWz - centrum obróbkowe poziome do obróbki zgrubnej;
- CSd - centrum obróbkowe pionowe do obróbki dokładnej;
- CWd - centrum obróbkowe poziome do obróbki dokładnej.

W dolnym wierszu podano obciążenia obrabiarek, otrzymane przez sumowanie czasów jednostkowych pomnożonych przez liczbę sztuk. Zaplanowane, globalne obciążenie poszczególnych grup stanowisk podano w tabelicy 2.

| Nazwa przedmiotu | I przebieg | | | | II przebieg | | | |
|------------------|------------|------|-----|------|-------------|------|------|------|
| | czas [min] | | | | czas [min] | | | |
| | CSz | CWz | CSd | CWd | CSz | CWz | CSd | CWd |
| DTS400 | --- | 30 | --- | 50 | 100 | 120 | 140 | 150 |
| RSS800 | --- | 90 | --- | 110 | --- | 180 | --- | 200 |
| ETS315 | --- | 30 | --- | 50 | 100 | 120 | 140 | 150 |
| RSS500 | --- | 80 | --- | 100 | 170 | 150 | --- | 190 |
| KS400 | --- | 30 | --- | 50 | 100 | 120 | 140 | 150 |
| Obciążenie | --- | 2450 | --- | 3350 | 4200 | 6300 | 3500 | 7650 |

Określając kolejność operacji należy uwzględnić następujące wymagania:

- przed każdą obróbką dokładną oraz przed wyjściem z systemu przedmiot jest myły;
- przy przejściu ze stanowiska CS na stanowisko CW (i na odwrót) przedmiot musi przejść przez magazyn wewnętrzny (MPO). Wynika to ze struktury systemu.

| CSz | CWz | CSd | CWd |
|-----|-----|-----|-----|
| 70 | 73 | 58 | 92 |

Każdy z przedmiotów obrabiany jest w dwóch przebiegach. Oznacza to, że po zakończeniu obróbki w pierwszym przebiegu przedmiot wychodzi z systemu w celu zmiany pozycji mocowania, a następnie wraca. Z punktu widzenia modelu oznacza to pojawienie się nowego przedmiotu (nowej pozycji przedmiotu względem palety). W tablicy 3 przedstawiono oznaczenia poszczególnych przedmiotów w kolejnych przebiegach.

| Lp. | Nazwa przedmiotu | Oznaczenie w modelu |
|-----|----------------------|---------------------|
| 1 | DTS400 - przebieg I | P1 |
| 2 | DTS400 - przebieg II | P2 |
| 3 | RSS800 - przebieg I | P3 |
| 4 | RSS800 - przebieg II | P4 |
| 5 | ETS315 - przebieg I | P5 |
| 6 | ETS315 - przebieg II | P6 |
| 7 | RSS500 - przebieg I | P7 |
| 8 | RSS500 - przebieg II | P8 |
| 9 | KS400 - przebieg I | P9 |
| 10 | KS400 - przebieg II | P10 |

Marszruty technologiczne wykonywanych przedmiotów przedstawiono w tablicy 4. Nazwy elementów systemu ujęte w nawiasy oznaczają, że elementy te mogą być użyte bądź nie, w zależności od aktualnej sytuacji w systemie, np. SM -->(MPO)-->SZR oznacza, że przedmiot po wyjściu ze stacji mycia (SM) może być przekazany do magazynu wewnętrznego (MPO) lub bezpośrednio do stanowiska mocowania przedmiotów (SZR), w zależności od wolnych miejsc składowania palet.

| Tablica 4. Marszruty technologiczne | | |
|-------------------------------------|------------------|--|
| Lp. | Oznaczn. przedm. | Przebieg |
| 1 | P1 | SZR-->MPO-->CW1z(CW2z)-->MPO-->SM-->MPO--> -->CW1d(CW2d)-->MPO-->SM-->(MPO)-->SZR |
| 2 | P2 | SZR-->(MPO)-->CSz-->MPO-->CW1z(CW2z)-->MPO--> -->SM-->(MPO)-->CSd-->(MPO)-->SM-->MPO--> -->CW1d(CW2d)-->MPO-->SM-->(MPO)-->SZR |
| 3 | P3 | Jak P1 |
| 4 | P4 | SZR-->MPO-->CW1z(CW2z)-->MPO-->SM-->MPO--> -->CW1d(CW2d)-->MPO-->SM-->(MPO)-->SZR |
| 5 | P5 | Jak P1 |
| 6 | P6 | Jak P2 |
| 7 | P7 | Jak P1 |
| 8 | P8 | SZR-->(MPO)-->CSz-->MPO-->CW1z(CW2z)-->MPO--> -->SM-->MPO-->CW1d(CW2d)-->MPO-->SM-->(MPO)--> -->SZR |
| 9 | P9 | Jak P1 |
| 10 | P10 | Jak P2 |

4. Dane

Niezbędne dane do programu ESPSYM stanowią:

- zbiory wyjść;
- czasy trwania czynności;
- warunki taktyczne.

W systemie wydzielono ogółem 285 czynności. W tabelicy 5 przedstawiono zbiory wyjść dla czynności odnoszących się tylko do przedmiotu/P1. W nazwie czynności "-->" oznacza transport, natomiast "*" obróbkę. Np. (W1,P1),SZR -->MPO oznacza transport P1 za pomocą W1 z SZR do MPO. W ostatniej kolumnie podano czasy trwania czynności.

5. Decyzje taktyczne

Istotną cechą macierzowego modelu ESP jest to, że na każdym etapie funkcjonowania systemu wskazuje on wszystkie czynności, których rozpoczęcie jest możliwe, ze względu na dostępność wszystkich niezbędnych elementów w wymaganej liczebności. Aby nie dopuścić do rozpoczęcia czynności możliwej, jednakże w danej fazie procesu niepożądaney, wprowad-

Tablica 5. Zbiory wyjść (przedmiot P1)

| Nr | Element | CW1z | CW2z | CW1d | CW2d | SM | P1 | W1 | W2 | czas |
|-----|----------------------|------|------|------|------|-----|-----|----|----|------|
| | Nazwa czynności | 1 | 2 | 3 | 4 | 7 | 8 | 18 | 19 | [min |
| 2 | (W1, P1), SZR-->MPO | | | | | | B | C | | 1 |
| 16 | (W1, P1), MPO-->SZR | | | | | | end | C | | 1 |
| 26 | (W1, P1), SM-->SZR | | | | | A | end | C | | 1 |
| 36 | P1, CW1z * | 46 | | | | | 46 | | | 30 |
| 46 | (W2, P1), CW1z-->MPO | 56 | | | | | 203 | | D | 1 |
| 56 | (W2, P1), MPO-->CW1z | 36 | | | | | 36 | | D | 1 |
| 66 | P1, CW2z * | | 76 | | | | 76 | | | 30 |
| 76 | (W2, P1), CW2z-->MPO | | 86 | | | | 203 | | D | 1 |
| 86 | (W2, P1), MPO-->CW2z | | 66 | | | | 66 | | D | 1 |
| 96 | P1, CW1d * | | | 106 | | | 106 | | | 50 |
| 106 | (W2, P1), CW1d-->MPO | | | 116 | | | 249 | | D | 1 |
| 116 | (W2, P1), MPO-->CW1d | | | 96 | | | 96 | | D | 1 |
| 126 | P1, CW2d * | | | | 136 | | 136 | | | 50 |
| 136 | (W2, P1), CW2d-->MPO | | | | 146 | | 249 | | D | 1 |
| 146 | (W2, P1), MPO-->CW2d | | | | 126 | | 126 | | D | 1 |
| 177 | P1, SM * | | | | | 193 | 193 | | | 10 |
| 193 | (W1, P1), SM-->MPO | | | | | A | 116 | C | | 1 |
| 203 | (W1, P1), MPO-->SM | | | | | 177 | 177 | C | | 1 |
| 225 | P1, SM * | | | | | 26 | 26 | | | 10 |
| 239 | (W1, P1), SM-->MPO | | | | | A | 16 | C | | 1 |
| 249 | (W1, P1), MPO-->SM | | | | | 225 | 225 | C | | |

$$A = \langle 171 + 173, 203 + 212, 249 + 258, 262 + 264 \rangle$$

$$B = \langle 56, 86 \rangle$$

$$C = \langle 2 + 35, 160 + 176, 187 + 212, 239 + 264 \rangle$$

$$D = \langle 46 + 125, 136 + 155 \rangle$$

"end" - przedmiot gotowy (opuszcza system).

dzono dodatkowe warunki taktyczne przyporządkowane niektórym czynnościom. Warunki te mają postać prostych nierówności algebraicznych wiążących liczniki czynności zakończonych [4]. Program realizuje następującą regułę taktyczną:

czynność może być rozpoczęta jedynie wówczas, gdy spełnione są wszystkie warunki, które zostały jej przypisane.

Plan produkcji, przygotowany wcześniej i zbilansowany ze względu na wielkość obciążenia obrabiarek, jest w rzeczywistości wykonywany w ten sposób, że wolna obrabiarka jest możliwie bezzwłocznie obciążana. W modelu symulacyjnym, realizację tej zasady skutecznie zapewnia zastosowana prosta reguła, polegająca na natychmiastowym rozpoczynaniu czynności możliwej do wykonania.

Wprowadzone do modelu warunki taktyczne, wstrzymujące wykonanie czynności możliwej, są niezbędne z dwóch powodów. Pierwsza grupa warunków wynika z ograniczonej wielkości magazynu MPO. Zapobiegają one pobieraniu kolejnych przedmiotów do obróbki, gdy nie ma dla nich wolnego miejsca w systemie, np. warunek:

$$n_2 < n_{16} + n_{26} + 3,$$

wiązący czynności $j = 2$ ((W1,P1),SZR-->MPO), $j = 16$ ((W1,P1),MPO-->SZR) oraz $j = 26$ ((W1,P1),SM-->SZR) zapewnia, że w każdej fazie symulacji w magazynie MPO znajdują się co najwyżej trzy przedmioty typu P1.

Druga grupa warunków wynika z pożądanej równomierności spływu gotowych wyrobów, np. warunek:

$$n_{12} + n_{164} < n_{58} + n_{88} + 2$$

wiązący czynności $j = 12$ ((W1,P2),SZR-->CSz), $j = 164$ ((W1,P2),MPO-->CSz) $j = 58$ ((W2,P3),MPO-->CW1z) oraz $j = 88$ ((W2,P3),MPO-->CW2z) zapewnia, że w każdej fazie symulacji liczby przyjętych do obróbki przedmiotów typu P2 i P3 nie różnią się więcej niż o dwa.

6. Wyniki symulacji

Eksperyment symulacyjny wykazał, że czas potrzebny na wykonanie zaplanowanej liczby przedmiotów wynosi 5 dni, 6 godzin, 34 minuty. Uzyskane obciążenie stanowisk podano w tablicy 6.

Tablica 6. Obciążenie stanowisk [%]

| CW1z | CW1d | CW2z | CW2d | CSz | CSd |
|------|------|------|------|-----|-----|
| 74 | 90 | 65 | 65 | 67 | 56 |

7. Zakończenie

Przeprowadzone badania w pełni potwierdziły poprawność macierzowego modelu ESP. Na uwagę zasługuje szybkość działania programu ESPSYM, osiągana dzięki zastosowaniu w algorytmie bardzo prostych przekształceń algebraicznych. Warto tutaj dodać, że przyjęty sposób wizualizacji wyników, polegający na wyświetlaniu na każdym etapie zbioru czynności, które można rozpocząć oraz zbioru czynności wykonywanych, w znacznym stopniu wydłuża czas liczenia. Tymczasem sposób ten ma sens jedynie w momencie przerwania symulacji lub w przypadku symulacji krokowej, a więc raczej w zastosowaniach dydaktycznych. Ciągła praca programu, ze względu na szybkość zmian, czyni wyświetlane informacje praktycznie nieczytelnymi. Mimo zaobserwowanego, bardzo istotnego wpływu potrzebnego na to czasu, przykład pokazał, że nawet znaczne zwiększenie rozmiarów zadania w słabo widocznym stopniu zwalnia pracę programu. Tym niemniej modyfikacja sposobu wizualizacji wyników, zwłaszcza dla trybu pracy ciągłej, jest pożądana, gdyż można tą drogą skrócić czas trwania eksperymentu symulacyjnego. Przy tej okazji można byłoby także zapewnić wyświetlanie innych interesujących wyników, które w aktualnej wersji programu nie są podawane (np. terminów zakończenia wykonywania poszczególnych partii wyrobów).

Badany przykład znajdował się blisko bariery pamięciowej na zastosowanym sprzęcie (mikrokomputer klasy IBM PC/XT/AT, system operacyjny DOS 3.30). Niestety, niemożliwe jest powiązanie tego ograniczenia z rozmiarami zadania, określanymi przez liczbę czynności elementarnych i elementów systemu. Jak zauważono, zapotrzebowanie na pamięć może się znacznie różnić dla zadań o zbliżonych rozmiarach. Dzieje się tak dlatego, ponieważ liczba elementów macierzy, tworzonych na podstawie danych zbiorów wyjść i przechowywanych w pamięci operacyjnej, zależy od liczebności tych zbiorów, a nie ich liczby. Macierze te są macierzami rzadkimi, toteż zastosowano efektywny sposób zapamiętywania tylko elementów istotnych i dalsza oszczędność jest tutaj niemożliwa. Z kolei wykorzystanie do tego celu pamięci zewnętrznych, jakkolwiek możliwe, prowadziłoby zapewne do znacznego zwolnienia przetwarzania modelu symulacyjnego.

Z punktu widzenia podstawowego kryterium efektywności ESP, związanego z maksymalizacją współczynników wykorzystania obrabiarek, eksperyment potwierdził skuteczność zastosowanej prostej taktyki w doborze kolejności rozpoczynania dopuszczalnych czynności. Taktyka ta, polegająca na możliwie bezwzględnym obciążaniu wolnej obrabiarki, z zapewnieniem równomiernego spływu wyrobów poszczególnych typów, została w modelu łatwo zrealizowana poprzez natychmiastowe rozpoczynanie pierwszej z dopuszczalnych czynności, dla której spełnione są przyporządkowane jej warunki taktyczne.

Wyrażany przez użytkowników systemu FMS-P1000/2-6, wynikający z doświadczenia, pogląd o wystarczającej w praktyce skuteczności takiego postępowania uzyskał symulacyjne uzasadnienie w postaci wysokich wartości współczynników obciążenia obrabiarek.

Wraz ze wzrostem rozmiarów badanych modeli coraz bardziej odczuwalna jest pracochłonność przygotowania danych do programu. W modelu macierzowym dane te zostały w sposób przejrzysty ułożone, co zważywszy na złożoność systemu elastycznego, znacznie ułatwia ich przygotowanie i do pewnego stopnia, ogranicza możliwość popełniania błędów. Tym niemniej celowe byłoby opracowanie programu pomocniczego, współpracującego z właściwym programem symulacyjnym. Powinien on wspomagać projektanta przy porządkowaniu i zestawianiu danych w takiej konfiguracji, jakiej wymaga program ESPSYM. Ponadto powinien umożliwiać łatwe modyfikowanie (po zawieszeniu symulacji) zawartości macierzy opisujących model systemu i jego aktualny stan. Dzięki temu można byłoby np. w wygodny sposób zmieniać zestaw produkowanych wyrobów w trakcie eksperymentu i symulować dłuższe okresy pracy ESP przy zmiennym asortymencie.

LITERATURA

- [1] Cyklis J. : Towards Simple Simulation of FMS. Monografie Politechniki Krakowskiej, nr 58, Kraków 1987.
- [2] Cyklis J. : Algorytm symulacji ESP. VI Krajowa Konferencja Automatyzacji Dyskretnych Procesów Przemysłowych, Kozubnik 1988, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, z. 96, Gliwice 1988.
- [3] Cyklis J., Pierzchała W. : Simulation and Control of FMS on its Operational Level. 6-th Symposium on Information Control Problems in Manufacturing Technology INCOM'89, Madryt 1989.
- [4] Cyklis J., Chmiel J., Pierzchała W., Rusinek S., Szadkowska J. : Weryfikacja koncepcji podłączenia sterowania modułu rzeczywistego do programu symulującego działanie ESP. Sprawozdanie dla CPBP 02.04. ITM PK, Kraków 1989.
- [5] Prospekty Kombinatu Obrabiarkowego "Fritz-Heckert" Karl-Marx-Stadt nr 7762/85 i 7164/87.
- [6] Wywiad przeprowadzony w Kombinacie "Fritz-Heckert" - Informacja użytkowników systemu FMS-P1000, Karl-Marx-Stadt, 05.1989. (materiały niepublikowane).

Recenzent: Doc.dr h.inż. J.Klamka

Wpłynęło do Redakcji do 1990-04-30.

MATRIX SIMULATION OF A SHORT-TERM PRODUCTION PLAN FOR FMS-1000

Summary

This paper describes the matrix method for simulation of the flexible production system FMS-P1000. The simulation of a short-term (one week) production plan was used as a way of checking the usefulness of this method to verifying the production plans.

МАТРИЧНАЯ СИМУЛЯЦИЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНА ДЛЯ СИСТЕМЫ
ФМС-П1000

Резюме

В работе представлено применение матричного метода для моделирования гибкой производственной системы ФМС-П1000. Моделирование краткосрочного (недельного) производственного плана являлось основой для анализа применимости метода для симуляционной верификации производственных планов.