

Staniław Rusinek  
Politechnika Krakowska

## SYMULACJA PRACY LINII POTOKOWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM NIEKTÓRYCH ZAKŁÓCEN

**Streszczenie.** W opracowaniu przedstawiono model matematyczny i przyjętą metodykę symulacji linii potokowych asynchronicznych, jedno- przedmiotowych. Proponowany model uwzględnia losowy charakter zdarzeń występujących w systemie oraz niektóre zakłócenia wewnętrzne /braki, awarie/ i ograniczenia /pojemność magazynu międzyoperacyjnego/.

### 1. Wstęp.

Linie potokowe asynchroniczne są często stosowaną formą organizacji procesu produkcyjnego, szczególnie w produkcji wielkoseryjnej i masowej. Określone w warunkach zdeterminowanych parametry linii /ilość stanowisk, wydajność, cykl/ często odbiegają swoimi wartościami od parametrów uzyskiwanych w warunkach rzeczywistych. Spowodowane to jest losowym charakterem procesów zachodzących w linii oraz oddziaływaniem wielu zakłóceń zewnętrznych i wewnętrznych. W związku z tym określenie parametrów linii i jej ewentualna optymalizacja przy użyciu metod analitycznych jest bardzo trudna lub wręcz niemożliwa. Zadawalające efekty w tym zakresie daje zastosowanie symulacji cyfrowej [4,5].

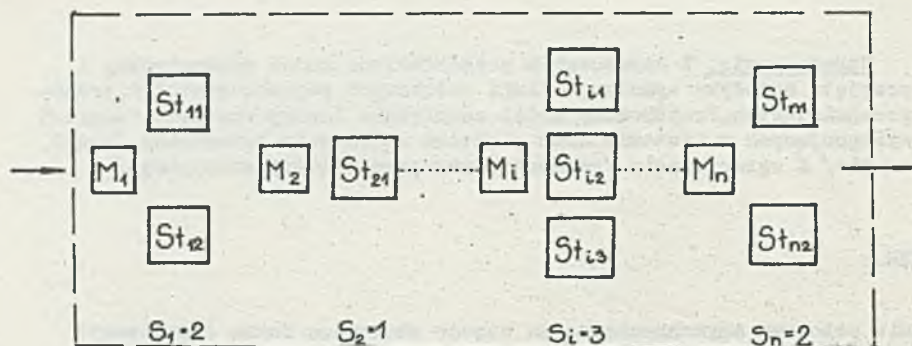
### 2. Cel badań i założenia do modelu.

Celem proponowanych badań symulacyjnych jest:

- a/ określenie cyklu produkcyjnego,
- b/ określenie wydajności linii,
- c/ analiza kształtowania się zapasów międzyoperacyjnych,
- d/ optymalizacja pracy linii /minimalizacja cyklu i zapasów międzyoperacyjnych, maksymalizacja wydajności/ realizowana przez analizę różnych wariantów struktury i dla różnych danych wejściowych.

Realizacja wymienionych wyżej celów dla linii potokowej jednoprzedsietowej w odniesieniu do warunków rzeczywistych przeprowadzona będzie przy użyciu

modelu matematycznego. Model ten opisuje następujący system: w linii wykonywane są "n" różnych operacji, przy czym każdą z operacji wykonywać może jedno lub więcej stanowisk. Ilość stanowisk wykonujących i-tą operację  $/i=1,2,\dots,n/$  tworzy zbiór  $S/i/$ . Opisaną sytuację ilustruje rys.1. [2].



Rys.1. Ogólna struktura linii.

Stanowiska wykonujące i-tą operację oznaczone są za pomocą indeksu  $j=1,2,\dots,S/i/$ . Przed każdym zespołem stanowisk wykonujących określoną operację znajduje się magazyn międzyoperacyjny  $/M_i/$ . Magazyny te, z wyjątkiem pierwszego, posiadają określoną pojemność, przekroczenie której powoduje wyłączenie z pracy stanowisk wykonujących pierwszą operację. Wyłączenie to następuje z pewnym opóźnieniem czasowym w stosunku do terminu przekroczenia pojemności magazynu. Detale dostarczane są do linii w odstępach czasowych wg przyjętego rozkładu prawdopodobieństwa i zajmują miejsce na stanowisku /jeżeli jest ono wolne/ lub w magazynie. Po zakończeniu kolejnej operacji detal przekazywany jest do następnego magazynu /lub stanowiska/ i natychmiast pobierany jest następny detal z poprzedniego magazynu. Stanowisko może ulec awarii i wtedy wyłączone jest z pracy na określony przedział czasu. W wyniku niewłaściwie wykonanej operacji detal może być wybrakowany, a wtedy opuszcza system /nie jest przekazywany na następne stanowisko/. Pomija się czas transportu między stanowiskami a czas trwania operacji /jako zmienna losowa/ uwzględnia również czas przygotowawczo-zakończeniowy. W systemie rozróżnia się następujące zdarzenia: dostawa detalu /partii detali/ do linii, zakończenie dowolnej /z wyjątkiem ostatniej/ operacji, zakończenie ostatniej operacji, przekroczenie pojemności magazynu, awaria stanowiska, pojawienie się



braku.

### 3. Model matematyczny

Przyjęto następujące oznaczenia:

TP - termin rozpoczęcia symulacji,

TK - termin zakończenia symulacji,

T - czas bieżący symulacji,

TPK<sub>i</sub> - termin dostawy detalu do i-tej operacji,

Y - odstępy czasowe między dostawami detali do linii /zmienna losowa/,

X<sub>i</sub> - czas trwania i-tej operacji /zmienna losowa/,

KO<sub>ij</sub> - zmienna zero-jedynkowa oznaczająca zajęcie j-ego stanowiska przez i-tą operację,

KO<sub>Li</sub> - zawartość magazynu przed i-tą operacją,

KO<sub>LOi</sub> - pojemność magazynu przed i-tą operacją,

KB - ilość detali wykonanych w linii,

TZO<sub>ij</sub> - termin zakończenia i-tej operacji na j-tym stanowisku,

K<sub>i</sub> - ilość zmian stanu przy i-tej operacji,

X<sub>IAi</sub> - intensywność uszkodzeń stanowisk wykonujących i-tą operację,

TB - termin blokady linii /przekroczenie pojemności magazynu/,

NB - zmienna zero-jedynkowa określająca trwanie blokady,

M<sub>ij</sub> - zmienna zero-jedynkowa określająca stan awarii j-ego stanowiska, przy i-tej operacji,

OP - opóźnienie informacyjne przy blokadzie linii /stała/,

TR<sub>ij</sub> - termin remontu /usuwania awarii/,

RE<sub>i</sub> - czas trwania remontu /zmienna losowa/,

RO - zmienna losowa z rozkładu równomiernego,

IBR - ilość braków,

A<sub>i</sub> - parametr stały charakteryzujący ilość braków dla i-tej operacji,

TRP<sub>ij</sub> - termin poprzedniej awarii j-ego stanowiska przy i-tej operacji,

Dla każdego rodzaju zdarzenia określona zostanie funkcja planująca i funkcja zmiany stanu [3]:

a/ dostawa detalu do linii:

funkcja planująca:

$$\begin{cases} T = TPK_1 \\ TPT = TPK_1 + Y \end{cases} \quad /t/$$

funkcja zmiany stanu:

$$\begin{cases} \bigwedge_{j \in S_1} [(K01j=1 \vee M1j=1 \vee NB=1) \Rightarrow (K01j=K01j+1)] \\ \bigvee_{j \in S_1} [(K01j=0 \wedge M1j=0 \wedge NB=0) \Rightarrow (K01j=1 \wedge TZ01j=T+X1)] \end{cases} \quad /2/$$

b/ zakończenie i-tej operacji /i=1,2,...,n-1/:

funkcja planująca:

$$\begin{cases} T = TZ01j \\ TZ01j = TPK(i+1) \end{cases} \quad /3/$$

funkcja zmiany stanu:

dla i-tej operacji -

$$\begin{cases} \bigvee_{j \in S_1} [(K01j > 0) \Rightarrow (K01j=K01j-1 \wedge TZ01j=T+X1)] \\ \bigvee_{j \in S_1} [(K01j=0) \Rightarrow (K01j=0 \wedge TZ01j=TK)] \end{cases} \quad /4/$$

dla i+1 operacji -

$$\begin{cases} \bigwedge_{j \in S_{i+1}} [(K0(i+1), j) = 1 \vee M(i+1), j) = 1) \Rightarrow (K0(i+1), j) = K0(i+1), j + 1)] \\ \bigvee_{j \in S_{i+1}} [(K0(i+1), j) = 0 \wedge M(i+1), j) = 0) \Rightarrow (K0(i+1), j) = 1 \wedge TZ0(i+1), j) = T+X(i+1)] \end{cases} \quad /5/$$

c/ zakończenie n-tej operacji:

funkcja planująca:

$$T = TZ0n \quad /6/$$

funkcja zmiany stanu:

$$\begin{cases} \bigvee_{j \in S_n} [(K0Ln > 0) \Rightarrow (K0Ln=K0Ln-1 \wedge TZ0nj=T+Xn)] \\ \bigvee_{j \in S_n} [(K0Ln=0) \Rightarrow (K0nj=0 \wedge TZ0nj=TK)] \\ KB = KB + 1 \end{cases} \quad /7/$$

d/ przekroczenie pojemności magazynu przed i-tą operacją:

funkcja planująca:

$$\begin{cases} T = TB \\ TB = TK \\ NB = 1 \\ TZ01j = TK \end{cases} \quad /8/$$

funkcja zmiany stanu:

$$\begin{cases} \bigvee_{i=1,2,\dots,n} (K0Li > K0Li) \Rightarrow (TB = T + CP) \\ \bigwedge_{i=1,2,\dots,n} (K0Li \leq K0Li) \Rightarrow (NB = 0) \end{cases} \quad /9/$$

e/ pojawienie się awarii w systemie:

przyjęto wykładnicze prawo niezawodności [1]:

$$P/t/i = 1 - e^{-\lambda t}$$

a wg oznaczeń z modelu:

$$P_i = 1 - \text{EXP}/XIAixt/ \quad /10/$$



gdzie:  $t = T - TR_{ij}$

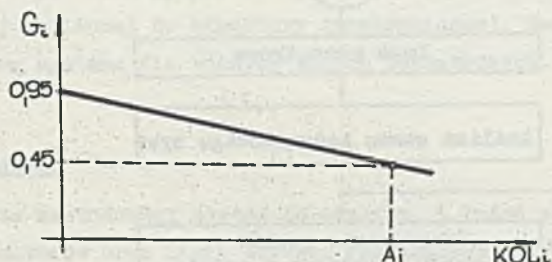
funkcja planująca dla awarii:

$$\begin{cases} T = TR_{ij} \\ TR_{ij} = TR_{ij} \\ TR_{ij} = TK \\ M_{ij} = 0 \end{cases} \quad /11/$$

funkcja zmiany stanu /określona przez odwrócenie dystrybuanty/:

$$\forall_{i \in I} [(RO < P_i) \Rightarrow (TR_{ij} = T + HE_1 \wedge M_{ij} = 1)] \quad /12/$$

f/ pojawienie się braku - przyjęto, że ilość i termin pojawienia się braku dla i-tej operacji są funkcją stopnia skomplikowania operacji i wielkości zapasu przed i-tą operacją /rys.2/.



Rys.2. Przyjęta zależność częstości pojawiania się braku od wielkości kolejki.

Zależność z rys.2. opisać można następującą formułą:

$$G_1 = - \frac{0,5}{K_1} KOL_i + 0,95 \quad /13/$$

Pojawienie się braku określi zależność:

$$(RO > G_1) \Rightarrow (IBR = IBR + 1) \quad /14/$$

Warunek ten jest sprawdzany po każdym zakończeniu operacji i jeżeli jest spełniony, to detal jest usuwany z linii /pomija się realizację funkcji/5//.

Obliczanie wartości średnich w modelu - oprócz bieżącej charakterystyki systemu w czasie symulacji algorytm określa następujące wielkości końcowe:

- ilość detali wykonanych w linii:  $KB$
- średnia wartość cyklu:  $CS = \frac{TK-TP}{KB}$  /15/

- sumaryczny czas remontu stanowisk przy i-tej operacji:

$$STR_i = STR_i + HE_1 \quad /16/$$

- wskaźnik "pracy produkcyjnej" /współczynnik obciążenia/:

$$WPP = \frac{\sum X_i}{T} \quad /17/$$

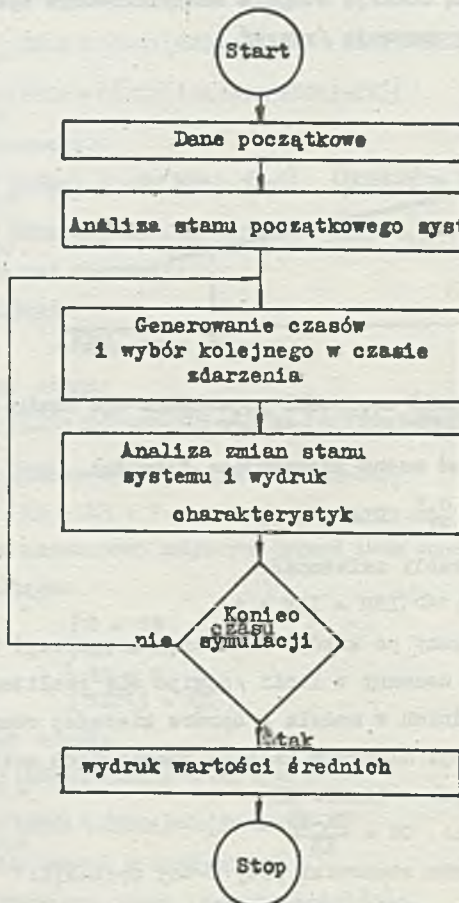
- średnia wartość zapasu międzyoperacyjnego:

$$SKOli = \frac{\sum KOLi}{K1}$$

/18/

#### 4. Realizacja eksperymentu i uzyskiwane wyniki.

Przedstawiony w poprzednim punkcie model zastosowany został w algorytmie symulacji linii. Ogólną strukturę algorytmu przedstawia rys. 3.



Rys.3. Ogólna struktura algorytmu symulacji.

Algorytm ten zaprojektowany został w układzie "zdarzenie-zdarzenie". Po wczytaniu danych początkowych i analizie stanu początkowego systemu w każdym przebiegu symulacyjnym dokonywany jest opis stanu systemu dla kolejnego w czasie zdarzenia. Jako kryterium przerwania symulacji przyjęto czas symulacji. Algorytm opisany został w języku programowania FORTRAN i uruchomiony na EMC CYBER-72. Adekwatność modelu sprawdzono przez porównanie wartości średnich parametrów systemu uzyskiwanych z eksperymentu symulacyjnego z wartościami występującymi w systemie rzeczywistym. Przygotowany w ten sposób model zastosowany został do optymalizacji struktury /ilość stanowisk wykonujących tę samą operację/ i parametrów /cykl, zapasy międzyoperacyjne/ linii przepływowej. Celem optymalizacji było uzyskanie charakterystyki linii asynchronicznej zbliżonej do struktury synchronicznej. Realizowano to przez analizę modelową systemu dla różnych danych początkowych.

## 5. Wnioski końcowe.

Opisany algorytm zastosowany został do analizy i badań projektowych linii montażu kondensatorów oraz linii obróbki mechanicznej grzejników wodnych. Uzyskane wyniki były w pełni zadowalające. Mimo to należy zaznaczyć, że nie uwzględnia on opisu wielu zjawisk występujących w systemach rzeczywistych tego typu, a które w określonych warunkach mogą mieć istotny wpływ na uzyskiwane wyniki. W sytuacji takiej konieczne jest uzupełnienie opisu systemu.

## LITERATURA

- [1] Bojarski W.W. : Wprowadzenie do oceny niezawodności działania układów technicznych. PWN, Warszawa 1975.
- [2] Cyklis J. Rusinek S. : Zu einigen Problemen der Simulation von Fertigungsstatten. Konf. Tage des Betriebsingenieurs. Karl-Marx-Stadt 1979.
- [3] Kołodziński E. Pietkiewicz T. : Adekwatność modeli symulacyjnych. Postępy Cybernetyki. Nr 2. 1978.
- [4] Marecki F. : Modelowanie cyfrowe procesu montażu silnika samochodu. Konf. Zastosowanie komputerów w przemyśle. Szczecin 1978.
- [5] Nosowski W. : Model symulacyjny produkcji rytmicznej. Przegląd Organizacji. Nr 1. 1974.



## СИМУЛЯЦИЯ РАБОТЫ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ С УЧЁТОМ НЕКОТОРЫХ ПОМЕХ

## Резюме

В работе представлено математическую модель и принятую методику симуляции асинхронных, одноэземплярных поточных линий. Предлагаемая модель учитывает случайный характер событий выступающих в системе а также некоторые внутренние помехи (аварии) и ограничения (ёмкость междуоперационных складов).

## THE SIMULATION OF THE ASSEMBLING WORKING LINES CONSIDERING SOME NOISES

## Summary

In the paper a mathematical model and assumed method of simulation of non-balanced single item assambling line is presented. The proposed model considers random distribution of events which occur in a system and some internal noises (break-downs) as well as some restrictions (capacity of intertask stores).