

Barbara Pabiniak-Kujawa*

ZASTOSOWANIE SYMULACJI
DO BADANIA NIEZAWODNOŚCI PROCESU PRODUKCYJNEGO
NA PRZYKŁADZIE PRZEMYSŁU JEDWABNICZEGO

Ciągły wzrost wymagań co do jakości produkowanych wyrobów zmusza do doskonalenia organizacji procesów wytwarzania i podnoszenia stanu technicznego maszyn i urządzeń.

Problemami tymi zajmuje się między innymi teoria niezawodności i teoria rezerwacji.

W artykule, na przykładzie Zakładów Przemysłu Jedwabniczego "MIRANDA" w Turku, rozważany jest problem zastosowania metody symulacyjnej do tworzenia takiej rezerwy maszyn i urządzeń produkcyjnych, która pozwoli na zapewnienie żądanego poziomu niezawodności procesu produkcyjnego przy uwzględnieniu odpowiednich warunków ograniczających.

Ze względu na technologię produkcji badaniem objęty został zakład produkujący dzianiny podszewkowe, wytwarzane na dziewiarskich maszynach osnowowych i wykończane we własnej wykończalni.

Produkcja podstawowa zakładu składa się z trzech grup wyrobów (wg asortymentu wyrobu gotowego): dzianin drukowanych, dzianin barwionych i dzianin wytwarzanych z przędzy barwionej.

Produkcja dzianin charakteryzuje się względnie stałym procesem technologicznym, tzn. bez względu na rodzaj asortymentu

* Dr, adiunkt w Instytucie Ekonometrii i Statystyki Uniwersytetu Łódzkiego.

na poszczególnych maszynach wykonywane są te same operacje. Mimo to, możliwości dokonywania zmian w asortymencie są ograniczone. Wynika to z charakterystycznych przebiegów technologicznych dla poszczególnych grup asortymentowych, zwłaszcza w końcowej fazie procesu.

Proces wytwarzania dzianin można zaliczyć do typu produkcji dużych partii lub masowej o szeregowej strukturze procesu. Ze względu na niektóre operacje jest to struktura mieszana, szeregowo-równoległa.

O niezawodnym przebiegu procesu decyduje przede wszystkim rytmiczny wpływ produkcji z operacji wcześniejszych na stanowiska wykonujące następne operacje technologiczne oraz równomierne obciążenie kolejnych operacji tak, by nieprzewidziane przestoje nie powodowały łańcuchowej reakcji przestojów w całym procesie.

Ważną rolę odgrywają tu również zapasy surowca i zapasy międzyoperacyjne. Według obowiązujących norm zapasy te kształtują się następująco: zapas 24-godzinny dla magazynów międzyoperacyjnych, a dla głównego magazynu surowca zapas 72-godzinny (3 doby).

Przedsiębiorstwo składa się z dwóch wydziałów: dziewiarni i wykończalni, połączonych ze sobą szeregowo. Wyrób końcowy dziewiarni jest surowcem dla wydziału wykończalni. Na wydziale dziewiarni wyodrębnione są oddziały:

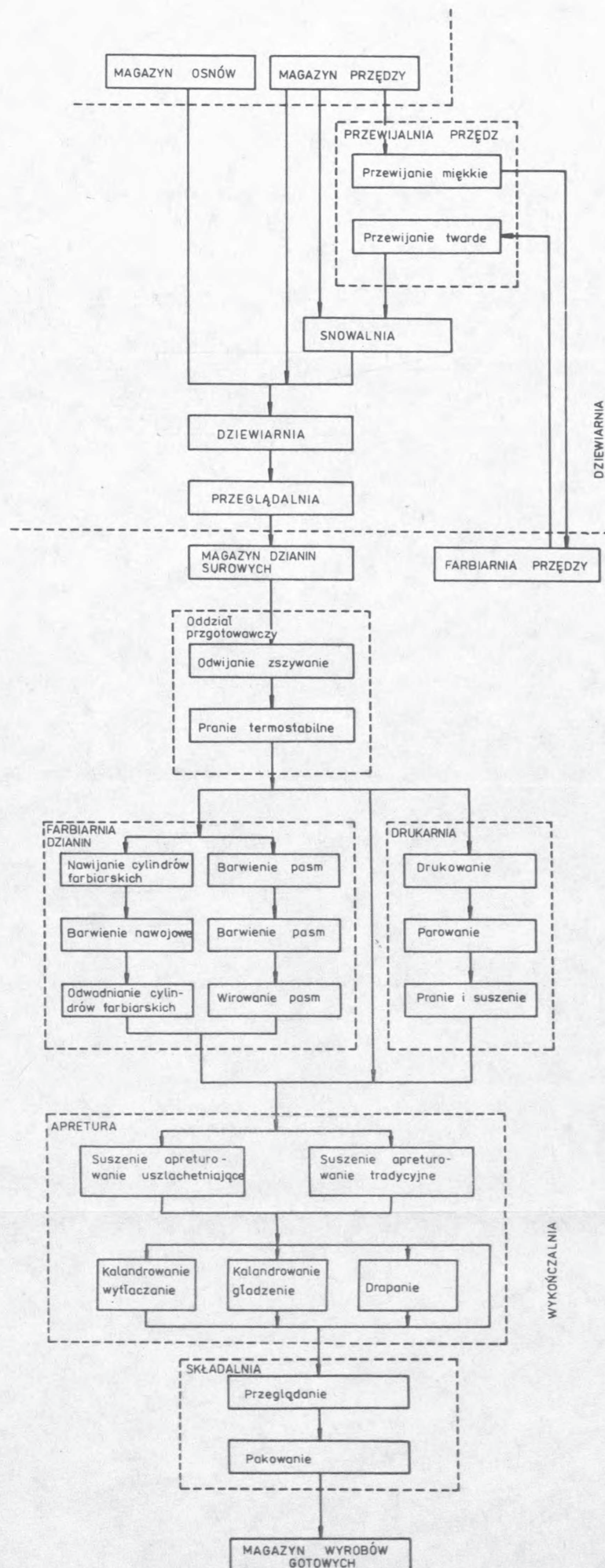
- przewijalnia przędz,
- snowalnia,
- dziewiarnia,
- przeglądalnia dzianin surowych.

Wykończalnia składa się z sześciu oddziałów:

- oddziału przygotowawczego (obróbki wstępnej),
- farbiarni przędz,
- farbiarni dzianin,
- drukarni,
- apretury,
- składalni.

Dokładne powiązania pomiędzy poszczególnymi wydziałami produkcyjnymi i wewnątrz wydziałów przedstawione zostały na schemacie przepływu produkcji (schemat 1).

Schemat przepływu produkcji



Z zamieszczonego schematu wynika, że szeregowy ciąg technologiczny jedynie w trzech operacjach posiada grupy maszyn wykonujących równoległe operacje, tj. dla różnych cykli produkcyjnych. Te grupy maszyn potraktować można jako naturalną rezerwę względem siebie.

W operacji farbowania i drukowania są to barwiarki nawojowe, barwiarki pasmowe i drukarki. W operacji apretowania - suszarki termostabilizatory, a w operacji wykończania - kalandry wytłaczarki, kalandry gładziki i draparki. Lecz zastąpienie np. barwiarów drukarkami (w przypadku np. awarii tych pierwszych) pociąga za sobą zmiany asortymentowe, jak również wymaga dodatkowego obciążenia maszyn w operacjach towarzyszących drukowaniu.

Maszyny w pozostałych operacjach zaliczyć można do maszyn jednoczynnościowych, a więc takich, które nie mogą, ze względu na swą specyfikę, stanowić naturalnej rezerwy dla innych maszyn.

Zaznaczyć należy również, że proces technologiczny produkcji dzianin związany jest z problemem powstawania odpadów, niemal po każdej operacji. Odpadki spowodowane są odrzucaniem końcówki przędzy, zrywami, ścinkami dzianiny, skurczaniem dzianiny, czy też wycinaniem braków. Procentowy udział odpadów dla poszczególnych operacji kształtuje się na różnym poziomie. Na wydziale dziewiarni udział odpadków waha się od 0,5% na snowarkach do 1% w operacji dziania. Łącznie dla tego wydziału odpadki stanowią 1,3% ciężaru globalnego zapotrzebowania na przędzę.

Na wydziale wykończalni natomiast, udział odpadków wynosi aż 5% w stosunku do globalnego ciężaru dzianin surowych.

Z tego też powodu zapotrzebowanie na przędzę wyrażone w kg nie jest równe ilości (w kg) wyprodukowanej dzianiny. Uwaga ta ma istotne znaczenie przy obliczaniu zapotrzebowania na surowce i dlatego też uwzględniona została w symulacyjnej procedurze obliczeniowej w modelu.

W projekcie technicznym zakładu moce przerobowe poszczególnych wydziałów produkcyjnych liczono w oparciu o czas pracy maszyn liczony w następujący sposób: dla dziewiarni przyjęto trzyzmienny czas pracy, przy dwuzmianowej pracy w sobotę i 15 minutowej przerwie na każdej zmianie, przyjmując 10% czasu na postoje techniczno-organizacyjne, efektywna liczba godzin pracy maszyn na tym wydziale wynosi 5850 godzin rocznie; dla wykończalni

ni, przy uwzględnieniu 14-dniowego postoju wydziałowego, dyspozycyjny czas pracy maszyn wynosi 6206 godz/rob. Praca na tym wydziale trwa pełne trzy zmiany.

Model symulacyjny

Rozpatrując proces produkcyjny z punktu widzenia jego niezawodności możemy przyjąć różne kryteria oceny tej niezawodności.

W przeprowadzonych badaniach za podstawowe kryterium przyjęto zwiększenie niezawodności procesu przez stworzenie rezerwy dla urządzeń bezpośrednio produkcyjnych.

Pominięto w rozważaniach problem zapasów międzyoperacyjnych, transportu, zatrudnienia itp. zdając sobie w pełni sprawę z niewątpliwie dużej wagi tych czynników w kształtowaniu się niezawodności procesu produkcyjnego. Ze względu jednak na niemożliwość rozważenia tak szerokiego problemu przyjęto upraszczające założenie, że nieuwzględnione w analizie procesu czynniki są na poziomie wystarczającym do zapewnienia ciągłości procesu. Tak więc, przy budowie modelu symulacyjnego za podstawę przyjęto niezawodność urządzeń wytwórczych, biorących udział w procesie produkcyjnym, jako podstawowego czynnika kreującego sprawność całego procesu - a zatem mającego wpływ na wielkość i rodzaj rezerw tworzących dla urządzeń wytwórczych.

Jako charakterystykę niezawodności przyjęto współczynnik gotowości maszyn:

$$w_i = \frac{T_i(t)}{T_i(t) + W_i(t)} \quad (1)$$

gdzie:

$T_i(t)$ - średni czas bezawaryjnej pracy maszyn,

$W_i(t)$ - średni czas przestoju.

W wyborze tej charakterystyki kierowano się przede wszystkim faktem, że jest to podstawowa charakterystyka dla elementu ze skończonym czasem odnowy (naprawą). Tym właśnie cechują się

maszyny biorące udział w procesie produkcji dzianin. Ponadto współczynnik ten określa średni udział czasu, w którym element (maszyna) przebywa w stanie zdolności do pracy, co z punktu widzenia sprawnego funkcjonowania procesu jest niezmiernie istotne.

Do rozwiązania problemu, dla których maszyn i w jakiej ilości należy tworzyć rezerwę, przyjęto metodę symulacyjną, ponieważ jak to zobaczymy dalej:

- nie wszystkie związki modelu można opisać matematycznie,
- te, które można wyrazić za pomocą równań lub nierówności, nie zawsze są liniowe,
- wiele wielkości występujących w modelu ma charakter losowy,
- metoda ta pozwala na sterowanie kilkoma wielkościami modelu jednocześnie,
- można było dokonać analizy wrażliwości rozwiązania na zmiany zadawanych parametrów.

Przedstawiony poniżej model, chociaż oparty został na analizie przykładowego procesu produkcyjnego, ma jednak charakter ogólny, gdyż opisywany typ procesu produkcyjnego (produkcja dużych partii lub masowa) jest dominujący w procesach nieaparaturowych, a szczególnie w przemyśle włókienniczym.

Przy budowie modelu, który posłużył do rozwiązania zagadnienia optymalnej rezerwacji, przyjęto następujące założenia:

1. Za element procesu uważa się grupę maszyn o podobnych parametrach użytkowych i przeznaczeniu produkcyjnym.
2. Dowolny element procesu psuje się niezależnie od uszkodzeń innych elementów. Przez uszkodzenie elementu rozumiemy uszkodzenia przynajmniej jednej maszyny w grupie, powodujące obniżenie mocy produkcyjnych grupy maszyn. W szczególnym przypadku może to być uszkodzenie wszystkich maszyn w grupie.
3. Rezerwę ustala się dla elementu procesu, czyli dla grupy maszyn.
4. Elementy uszkodzone są naprawialne. Po naprawie włączane są ponownie do procesu.
5. Dla wszystkich elementów procesu stosujemy ten sam rodzaj rezerwacji.
6. Czas pracy oraz czasy odnowy są zmiennymi losowymi o jednakowych funkcjach rozkładu prawdopodobieństwa.
7. Zakład przemysłowy, zwiększając sprawność procesu przez

sterowanie rezerwą maszyn, jest ograniczony limitami środków finansowych, jak również powierzchnią hal produkcyjnych.

Poczynione założenia (1-7) mają charakter ogólny. Spełnione mogą być dla każdego procesu produkcyjnego omawianego typu.

Park maszynowy zakładu podzielono na grupy z punktu widzenia wykonywanych przez nie tych samych operacji technologicznych. Kolejność operacji ustalono według reżimu technologicznego wyrobów. Przez "i" oznaczono numer operacji. Operacje, które są wykonywane jednocześnie (w czasie), ale dla innego asortymentu wyrobu ponumerowano tak, jak gdyby następowały po sobie. Jest to numeracja sztuczna, lecz nie zmienia w gruncie rzeczy opisanego przebiegu wyrobów przez operacje. Pozwala jednak na ustalenie szeregowej struktury procesu, wygodnej z punktu widzenia obliczeń.

Maszyny wykonujące tę samą operację podzielone zostały na podgrupy (typy), jeżeli różniły się parametrami lub wykonywały daną operację dla innej grupy wyrobów. Na przykład maszyny zaliczone do wykonujących operację dziania podzielono na cztery podgrupy ze względu na różnorodność parametrów użytkowych tych maszyn. Są to dziewiarki dwugrzebieniowe K2, trzygrzebieniowe K3 czterogrzebieniowe K4 i dziewiarki Weftlock KMS8. Natomiast maszyny zaliczone do operacji barwienia i druku podzielono na podgrupy w zależności od rodzaju wykonywanej czynności: barwiarki nawojowe, barwiarki pasmowe i drukarki.

Maszyny różnych typów, ale należące do tej samej operacji charakteryzują się tym, że stanowią dla siebie swoistego rodzaju naturalną rezerwę.

Typy maszyn oznaczono numerem "j". Wyrób przechodzi przez poszczególne operacje i typy maszyn w tych operacjach w zależności od:

- 1) przynależności do jednej z trzech grup asortymentu:
 - dzianin kolorowo dzianych,
 - dzianin barwionych,
 - dzianin drukowanych,
- 2) rodzaju apretury:
 - uszlachetniającej,
 - tradycyjnej,
- 3) sposobu wykończenia:
 - wytłaczania,

- gładzenia,
- drapania.

Od przebiegu wyrobu przez poszczególne grupy maszyn zależy określenie wymaganych udziałów mocy produkcyjnych poszczególnych typów maszyn, w odniesieniu do ogólnej mocy produkcyjnej procesu.

Przykładowo: z założeń projektu technicznego zakładu wynika, że ilościowy udział dzianin drukowanych w ogólnej ilości produkcji wynosić powinien 28%, a więc moc przerobowa maszyn drukarskich, jak również maszyn towarzyszących operacji drukowania (parowanie, pranie po druku) powinna stanowić 28% ogólnej mocy produkcyjnej procesu.

Natomiast grupy maszyn, przez które według reżimu technologicznego przechodzi cała produkcja, bez względu na asortyment, powinny mieć moc przerobową równą 100%.

Rodzaj surowca nie wpływa na przebieg wyrobu przez poszczególne operacje.

Dla wyliczenia wydajności grupy maszyn danego typu należy znać ilość tych maszyn oraz wydajność jednej maszyny. Ze względu na różnorodność (co do grubości, ciężaru i jakości) przędzy służącej jako surowiec, wydajność maszyny (wyrażona w kg/godz) wyliczono biorąc wartości przeciętne dla okresu obliczeniowego $t = 1$ rok.

Wydajność maszyn j -tego typu w i -tej operacji określa wektor M_{ij} .

Przyjęto również założenie, że park maszynowy przedsiębiorstwa powinien być dostosowany do istniejącej ilości maszyn wykonujących podstawową operację procesu i ich możliwości produkcyjnych.

W omawianym zakładzie produkcyjnym operacją podstawową jest "dzianie". Maszynami, do których dostosowany winien być cały proces, są dziewiarki. Operacji "dziania" z powyższych względów oraz dla uproszczenia obliczeń nadano odrębny numer (zerowy) nie związany z jej rzeczywistą kolejnością w procesie produkcyjnym.

W ten sposób uniezależniono wyniki obliczenia ilości maszyn rezerwowych od wielkości planów produkcyjnych, co wydaje się być logiczne. Bezsensowna byłaby bowiem konieczność zmiany

posiadanego parku maszynowego przy każdorazowej zmianie planu produkcji. W tym przypadku wystarczy nałożyć warunek, by wielkość planów produkcyjnych zakładu dostosowywana była do mocy produkcyjnych grupy maszyn głównych procesu - dziewiarek.

W modelu użyto następujących oznaczeń:

i - numer operacji, gdzie $i = 0, 1, 2, \dots, l$,

l - ilość operacji,

j - typ maszyn, $j = 1, 2, \dots, j(i)$,

$j(i)$ - ilość typów maszyn w i -tej operacji.

Dane:

m_{ij} - ilość maszyn podstawowych j -tego typu w i -tej operacji,

M_{ij} - średnia normatywna wydajność maszyny j -tego typu w i -tej operacji,

T_{ij} - średni rzeczywisty czas pracy (suma czasów pracy między awariami) maszyny "ij" w okresie t ,

V_{ij} - średnia wydajność grupy maszyn j -tego typu w i -tej operacji,

u_{ij} - założony procentowy udział mocy produkcyjnej maszyn grupy "ij" w stosunku do ogólnej mocy procesu,

O_{ij} - ilość odpadów (w %) powstających w i -tej operacji na maszynach j -tego typu,

Z_{ij} - początkowe zapotrzebowanie na surowiec maszyn j -tego typu w i -tej operacji,

z_{ij} - początkowe zapotrzebowanie na surowiec pojedynczej maszyny "ij",

C_{ij} - jednostkowy koszt zakupu maszyny z grupy "ij",

ω_{ij} - współczynnik gotowości maszyny z grupy "ij",

Zmienne decyzyjne:

x_{ij} - ilość maszyn rezerwowych j -tego typu w i -tej operacji,

h_{ij} - współczynnik obciążenia maszyn rezerwowych grupy "ij" (stopień wykorzystania mocy produkcyjnych),

$R(x)$ - niezawodność procesu produkcyjnego.

Warunki i ograniczenia:

$$V_{ij} = m_{ij} \cdot M_{ij} \cdot T_{ij} + x_{ij} \cdot M_{ij} \cdot T_{ij} \cdot h_{ij} \quad \text{dla } i \neq 0 \quad (2)$$

$$V_{oj} = m_{oj} \cdot M_{oj} \cdot T_{oj} \quad (3)$$

$$\sum_j v_{ij} > \sum_j v_{oj} \quad \text{dla } i = 1, 2, \dots, l \quad (4)$$

$$\omega'_{ij} = \omega_{ij} + (1 - \omega_{ij}) \cdot (1 - h_{ij}) \quad (5)$$

$$\bar{\omega}_{ij} = \frac{m_{ij} \cdot \omega_{ij} + x_{ij} \cdot \omega'_{ij}}{m_{ij} + x_{ij}} \quad (6)$$

Ze względu na występowanie odpadów w każdej niemal operacji technologicznej (co szczegółowo omówione zostało w objaśnieniach do modelu), warunki (2-4) przyjmują postać:

$$Z_{ij} = \frac{V_{ij}}{u_{ij} (1 - o_{ij})} \quad \text{dla } i \neq 0 \quad (7)$$

$$Z_{oj} = \frac{V_{oj}}{1 - o_{oj}} \quad (8)$$

Współczynnik gotowości dla maszyn rezerwowych wyznaczony został jako współczynnik gotowości maszyn podstawowych ważony współczynnikiem obciążenia rezerwy. Dla maszyn rezerwowych pracujących w pełnym obciążeniu (takim samym jak maszyny podstawowe) wartość współczynnika gotowości $\omega'_{ij} = \omega_{ij}$.

Wartość współczynnika ω'_{ij} wzrasta proporcjonalnie do zmniejszania się obciążenia rezerwy. Wynika to z faktu, że maszyna o mniejszym współczynniku h_{ij} pracuje w krótszym czasie w stosunku do maszyny podstawowej, jest więc w mniejszym stopniu narażona na uszkodzenia. Tym samym większe jest prawdopodobieństwo jej zdolności do pracy, niż maszyny w pełni obciążonej.

Na wybór możliwie najlepszej polityki dysponowania wyznaczoną rezerwą pozwoliło wprowadzenie do modelu funkcji kryterium w dwóch postaciach: $R_1(x)$ i $R(x)$ (bloki 14 i 15 schematu blokowego). Funkcja $R_1(x)$ określa niezawodność procesu w przypadku, gdy maszyna rezerwowa włączana jest do procesu tylko na czas trwania awarii i naprawy maszyny podstawowej. Po usunięciu uszkodzenia maszyna rezerwowa ponownie znajduje się w stanie oczekiwania

(jest nieobciążona). Współczynnik gotowości maszyn rezerwowych jest równy ω'_{ij} (wzór 5).

W przypadku, gdy maszyny rezerwowe włączone do procesu pozostają tam do czasu swojej awarii, a maszyny podstawowe po naprawie przechodzą do rezerwy, wszystkie maszyny będą obciążone w takim samym stopniu. Dlatego też dla wszystkich maszyn (rezerwowych i podstawowych) danej grupy przyjęto jednakowy współczynnik gotowości $\bar{\omega}_{ij}$ (warunek 6), równy średniej ważonej współczynnika gotowości maszyn podstawowych i maszyn rezerwowych. Niezawodność procesu w tym przypadku określa funkcja $R(x)$.

Konieczne było również wyznaczenie wielkości kosztów zakupu maszyn rezerwowych. Może okazać się, że koszty brakujących maszyn rezerwowych są zbyt wysokie ze względu na limity finansowe przeznaczone na ten cel. Koszty te stanowią dodatkową funkcję kryterium.

Procedurę obliczeniową modelu przedstawiono w postaci schematu blokowego (schemat 2).

Uwagi do schematu blokowego:

1. Przy obliczaniu wartości zmiennych x_{ij} przyjęto zasadę całkowitości wyników. x_{ij} jest liczbą całkowitą, nie mniejszą od $\frac{\Delta Z_{ij}}{z_j}$.

2. Procedura wyznaczania wartości zmiennych x_{ij} powtarzana jest dla różnych wartości współczynników gotowości ω_{ij} (generowanych przez podprocedurę programu obliczeniowego) a tym samym dla różnych wartości rzeczywistego czasu pracy maszyn.

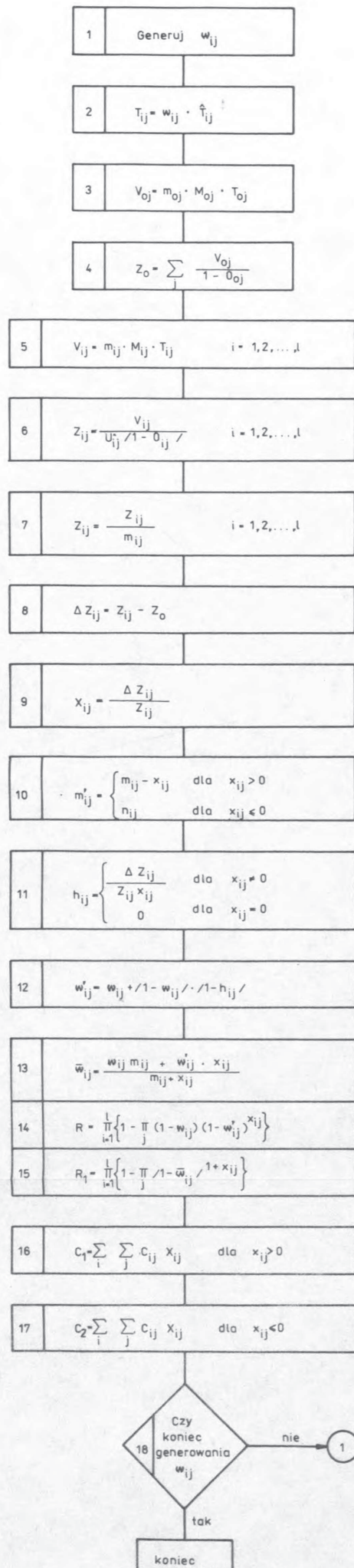
Ma to na celu zbadanie wrażliwości rozwiązania na nieprzewidziane awarie maszyn (wpływające istotnie na wielkość czasu pracy tych maszyn).

Ilość przebiegów symulacyjnych wyznaczona została przez wielkość przedziału zmienności dla współczynników ω_{ij} . Procedura obliczeniowa zakończona została w momencie, gdy generowane wartości osiągnęły krańcowe wartości wyznaczonego przedziału zmienności.

Obliczenia wykonano na emc Odra 1304 wykorzystując program napisany w języku ALGOL ICL 1900.

W wyniku obliczeń otrzymano pożądane ilości maszyn rezerwowych

Schemat blokowy



oraz stopień ich obciążenia dla poszczególnych typów maszyn biorących udział w procesie produkcji.

Dokonano również analizy wrażliwości wielkości rezerwy na zmianę współczynników gotowości poszczególnych grup maszyn.

Obliczenia przeprowadzono symulując wartości współczynników gotowości maszyn głównych procesu, przy ustalonym poziomie pozostałych danych wejściowych, jak również przy ustalonych na poziomie początkowym wartościach współczynników gotowości maszyn głównych symulowano wartości współczynników gotowości dla każdego z pozostałych typów maszyn. Do analizy symulacyjnej przyjęto przedział zmienności współczynników gotowości od 0,85 do 1.

Wielkości rezerwy przy zmieniających się współczynnikach gotowości maszyn okazały się względnie stabilne. Zmiany ilości maszyn rezerwowych zachodzą jedynie dla niektórych typów maszyn. Najwięcej zmian w ilości rezerwy zachodzi przy współczynnikach gotowości na poziomie 0,98. Wartość tę można uznać więc za wartość krytyczną.

Ostateczne wyniki obliczeń wielkości rezerwy przedstawione zostały w tab. 1 w zestawieniu z ilościami maszyn rzeczywiście posiadanych przez zakład.

Porównując ilości maszyn posiadanych przez zakład produkcyjny z otrzymanymi wielkościami wnioskować należy, że dla niektórych grup maszyn ilość posiadanej rezerwy jest niewystarczająca, podczas gdy dla wielu innych jest ona nieuzasadnienie wysoka (kolumna 6 w tab. 1).

Z uzyskanych wartości funkcji kryterium w procesie symulacji wynika, że z punktu widzenia niezawodności procesu korzystniejsze jest utrzymywanie rezerwy nieobciążonej, czyli takiej, gdzie maszyny rezerwowe nie pracują do momentu włączenia do procesu na miejsce uszkodzonej maszyny podstawowej.

Podsumowując przeprowadzone badania należy zwrócić uwagę na możliwość zmodyfikowania procedury obliczeniowej w celu uzyskania informacji o zachowaniu się procesu produkcyjnego przy ustalonych parametrach technicznych maszyn, a zmieniającej się ilości rezerwy dla poszczególnych grup maszyn. Informacje takie mogą posłużyć celom planowania, zwłaszcza w fazie planowania inwestycyjnego nowego zakładu produkcyjnego.

Stosowanie do rozwiązywania tego modelu metod symulacyjnych

T a b e l a 1

Ostateczne wyniki obliczeń

Numer grupy maszyn	Rzeczywiste ilości maszyn m_{ij}	Wyznaczenie ilości maszyn rezerwowych x_{ij}	Współczynnik obciążenia rezerwy h_{ij}	Wyznaczone ilości maszyn podstawowych m'_{ij}	Ilość maszyn zbędnych lub brakujących
1.1	17	1	0,02233	16	-
2.1	4	1	0,76590	3	-
3.1	13	1	0,23886	12	-
4.1	8	1	0,62161	7	-
5.1	3	1	0,00190	3	1 (brak)
6.1	2	1	0,52109	1	-
7.1	2	1	0,66875	1	-
8.1	2	1	0	1	-
9.1	7	1	0,29548	3	3 (nadmiar)
9.2	5	1	0,02391	2	2 "
9.3	2	1	0,18371	1	-
10.1	2	1	0	1	-
11.1	4	1	0,21529	3	-
12.1	2	1	0	1	-
13.1	2	1	0	1	-
14.1	1	0	-	1	-
15.1	1	1	0	1	1 (brak)
15.2	1	1	0	1	1 "
16.1	2	1	0,54429	1	-
16.2	1	0	-	1	-
16.3	1	0	-	1	-
17.1	18	1	0,46152	9	8 (nadmiar)
18.1	1	28	0,96788	1	28 (brak)

jest postępowaniem prawidłowym. Pozwoliło na stosunkowo proste i szybkie ustalenie rodzajów rezerw dla poszczególnych grup urządzeń produkcyjnych, ich rozmieszczenia i wielkości oraz na wybór możliwie najlepszej polityki dysponowania tą rezerwą.

W prezentowanym modelu nie zostały uwzględnione wszystkie czynniki, mające wpływ na sprawne funkcjonowanie procesu. Przyjęto dla uproszczenia założenie, że ich poziom jest wystarczający do zapewnienia ciągłości procesu. Jednak możliwe jest rozbudowanie modelu tak, by czynniki takie jak np. zapasy międzyoperacyjne, transport, zatrudnienie itd. znalazły w nim swoje odbicie.

Weryfikację modelu przeprowadzono na danych dla konkretnego przedsiębiorstwa. Szereg informacji wyjściowych, których ze względu na zbyt krótki okres eksploatacji zakładu nie dało się oszacować (np. wartości współczynników gotowości), ustalono na poziomie przeciętnym, charakterystycznym dla innych przedsiębiorstw tej branży.

Przedstawiony sposób podejścia do problemu rezerwacji można uogólnić, stosując przedstawiony model symulacyjny do badania niezawodności dowolnych procesów produkcji wielkoseryjnej lub masowej. W przypadku odmiennej technologii produkcji logika modelu musi ulec zmianie.

Barbara Pabiniak-Kujawa

APPLICATION OF SIMULATION IN ANALYSIS OF PRODUCTION PROCESS EFFICIENCY

The article deals with the problem of applying the simulation method in creating a reserve of production machinery and equipment, which will make it possible to ensure a desired level of the production process efficiency.

The computation was performed on the data for Rayon Industry Company using a programme written in ALGOL ICL 1900 language on the Odra 1304 electronic digital machine.