

Marek ZAMOJSKI
Politechnika Warszawska
Instytut Organizacji Zarządzania

POSZUKIWANIE EFEKTYWNYCH PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH ZBIORU CZĘŚCI MASZYN

Streszczenie. Przedmiotem pracy jest heurystyczny algorytm poszukiwania efektywnych procesów technologicznych zbioru części maszyn. Zakłada się, że każda z części posiada pewną liczbę wariantów procesów technologicznych. Należy znaleźć te warianty, które spełniają funkcję kryterium.

W referacie przedstawiono model matematyczny, algorytm obliczeniowy oraz przykład.

1. WSTĘP

Efektywne gospodarowanie, to zagadnienie właściwego wyboru pomiędzy różnymi alternatywami. Jednym z zagadnień tego typu jest poszukiwanie procesów technologicznych części maszyn. Rozstrzygnięcia, które się na tym etapie dokonują, decydują o wysokości nakładów koniecznych do uzyskania danego efektu produkcyjnego, a także przyszłych kosztach eksploatacji systemu produkcyjnego.

Założmy, że zamierzamy produkować pewien zbiór części. Dla każdej części zaprojektowane są warianty procesów technologicznych, różniące się między sobą technicznym uzbrojeniem pracy.

W zbiorze tych procesów znajdują się warianty tych samych operacji wykonywanych na obrabiarkach zautomatyzowanych oraz na obrabiarkach uniwersalnych. Należy znaleźć te warianty, które będą spełniały przyjętą funkcję kryterium. Przez funkcję kryterium rozumie się funkcję celu wraz z ograniczeniami. Powyższe zagadnienie ma charakter dyskretny.

2. ZAŁOŻENIA

W stosunku do wariantów robi się następujące założenia.

- a) Wszystkie warianty procesów technologicznych części prowadzą do uzyskania tych samych parametrów technicznych danej części.
- b) Cały program produkcyjny konkretnej części realizowany jest jednym z wariantów procesu technologicznego.

c) Każdą z operacji technologicznych charakteryzują następujące liczby:

- numer części, z której pochodzi operacja,
- numer wariantu procesu technologicznego,
- numer operacji będący jednocześnie numerem typu stanowiska, na którym jest ona wykonywana,
- czas wykonania operacji.

3. OGRANICZENIA

Dla powyższego zagadnienia możemy w zależności od konkretnej sytuacji mieć do czynienia z ograniczeniami w:

- posiadaniu wyposażeniu technologicznym,
- powierzchni,
- zatrudnieniu,
- nakładach inwestycyjnych,
- energii,
- możliwościach transportowych wewnętrznych,
- możliwościach transportowych zewnętrznych,
- możliwościach magazynowania,
- możliwościach kooperacyjnych,
- programie produkcyjnym,
- cyklu realizacji wyrobu,
- pracochłonności wyrobu,
- procencie braków,
- materiałochłonności wyrobu,
- energochłonności wyrobu,
- skażeniach środowiska naturalnego,
- bezpieczeństwie i higienie pracy,
- kosztach wytwarzania wyrobu,
- wykorzystaniu wyposażenia technologicznego.

W dalszych rozważaniach przyjęto ograniczenie w zatrudnieniu.

4. FUNKCJA CELU

Poszukiwania wariantów efektywnych można dokonywać przykładając różne funkcje celu.

Funkcjami tymi mogą być np.:

- koszty wytwarzania,
- akumulacja,
- program produkcyjny,
- zatrudnienie,
- nakłady inwestycyjne.

Do dalszych rozważań przyjęto funkcję celu w postaci minimalizacji nakładów inwestycyjnych na wyposażenie technologiczne.

5. MODEL MATEMATYCZNY

W modelu tym operacjom technologicznym odpowiadają elementy wektora a wariantom procesów wektory. Zbiór wariantów procesów pojedynczej części tworzy macierz technologiczną części; macierzy tych jest tyle, ile części.

Formalny zapis modelu jest następujący:

Funkcja celu

Minimalizacja nakładów inwestycyjnych na wyposażenie technologiczne

$$K = \min \sum_{k=1}^{k=s} y_k w_k + d_k,$$

gdzie:

k - indeks wyposażenia technologicznego,

y_k - całkowita liczba maszyn typu k ,

w_k - element wektora kosztów zakupu maszyny typu k lub ceny sprzedaży maszyny typu k ,

jeżeli:

$$y_k > 0 \quad \text{to} \quad w_k = K'_k$$

$$y_k < 0 \quad \text{to} \quad w_k = K''_k$$

K'_k - koszt zakupu maszyny typu k ,

K''_k - cena sprzedaży maszyny typu k ,

d_k - koszty dodatkowe związane z grupą maszyn typu k .

Zmienna y_k związana z całkowitą liczbą maszyn typu k wyraża się zależnością:

$$y_k = \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=WM(i)} x_{ij} \varphi_{ijk} - l_k \quad k = 1, \dots, s$$

gdzie:

i - indeks numeru detalu,

- j - indeks numeru wariantu procesu technologicznego,
 $WN(i)$ - liczba wariantów technologii detalu i ,
 m - liczba detali,
 X_{ij} - zmienna związana z wyborem wariantu j procesu technologicznego detalu i ,

$$X_{ij} = 0 \quad \text{lub} \quad X_{ij} = 1$$

- $X_{ij}=1$ - oznacza dokonanie wyboru wariantu technologii j detalu i ,
 Z_{ijk} - obciążenie stanowiska k wariantem procesu technologicznego j detalem i ,
 l_k - liczba posiadanych stanowisk typu k .

a) ograniczenie w zatrudnieniu

$$\sum_{k=1}^{k=s} \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=WN(i)} X_{ij} Z_{ijk} \leq Z$$

- Z_{ijk} - zatrudnienie związane z realizacją wariantu procesu technologicznego j , detalu i , operacji k ,
 Z - globalne zatrudnienie w komórce, którego nie należy przekroczyć.

$$b) \sum_{j=1}^{j=WN(i)} X_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, m$$

c) W szczególnym przypadku wektor istniejących stanowisk l_k może być zerowy. Mamy wtedy do czynienia z nowo powstającą komórką produkcyjną. Jeżeli natomiast jest on niezerowy, oznacza to, że dokonujemy jej modernizacji.

Liczba stanowisk rozwiązania efektywnego w niektórych typach może być większa od liczby stanowisk posiadanych a w innych mniejsza. W pierwszym przypadku należy sprzedać zbędną nadwyżkę, a w drugim dokupić brakującą ilość stanowisk.

Jeżeli z poszczególnymi typami maszyn związamy powierzchnię, to w przypadku istniejącej już komórki rozwiązanie optymalne może wymagać rozbudowy tej komórki. W szczególnym przypadku może się okazać, że komórkę należy zmniejszyć co do wyposażenia technologicznego i powierzchni. Oznacza to ujemne nakłady inwestycyjne.

Jak z powyższego widać, w modelu tym występują zmienne dyskretne, to znaczy binarne dla decyzji wyboru określonego wariantu procesu technologicznego oraz całkowitoliczbowe dla liczby maszyn w typie. Cechy charakterystyczne modelu klasyfikują go do zagadnienia programowania liniowego całkowitoliczbowego.

Na potrzeby tego modelu zaprojektowany został algorytm obliczeniowy i jego reprezentacja w języku Fortran 1900 na e.m.c. ODRA 1305. Jeżeli rozpatrywać wszystkie kombinacje wariantów, to możliwych rozwiązań jest:

$$L = \prod_{i=1}^{i=m} n_i$$

gdzie:

L - liczba wszystkich rozwiązań,

n_i - liczba wariantów procesów technologicznych części i ,

m - liczba części.

Dla stu części po pięć wariantów

$$L = \prod_{i=1}^{100} n_i = 5^{100}$$

jest to liczba astronomiczna, dlatego też w celu znalezienia interesujących nas rozwiązań trzeba stosować specjalne techniki obliczeniowe.

Algorytm wykorzystuje technikę przeglądu sterowanego.

Algorytm (przeгляд sterowany)

- Krok 1. (Obliczenia wstępne). Obliczenia obciążeń w macierzy technologicznej. Przejdź do kroku 2.
- Krok 2. (Obliczenie przedziałów zatrudnienia). Znajdź zatrudnienie maksymalne i minimalne.
Dokonaj podziału obszaru zatrudnienia na przedziały i określ ich granicę.
Przejdź do kroku 3.
- Krok 3. (Budowa testu gałęzienia ze względu na maszyny zamiennie). Określ zbiór maszyn technologicznie zamiennych.
Przejdź do kroku 4.
- Krok 4. (Budowa testu gałęzienia na minimum maszyn). Oblicz minimalną liczbę maszyn w wektorze typów.
Przejdź do kroku 5.

- Krok 5. (Budowa testu gałęzienia na zależność typów maszyn). Znajdź typy maszyn, które muszą wystąpić w przypadku braku określonych typów maszyn.
Przejdź do kroku 6.
- Krok 6. (Generowanie gałęzi według typów maszyn). Wprowadź zero na kolejną pozycję wektora typów maszyn zamiennych.
Przejdź do kroku 7.
- Krok 7. (Test liczby maszyn zamiennych). Jeżeli bieżący wekaźnik wektora typów jest większy od liczby maszyn zamiennych, przejdź do kroku 12. W przeciwnym przypadku przejdź do kroku 8.
- Krok 8. (Test maksymalnej liczby zer). Jeżeli liczba zer jest równa maksymalnej, przejdź do kroku 10. W przeciwnym przypadku przejdź do kroku 9.
- Krok 9. (Test zależności typów). Jeżeli kolejny typ maszyny zamienną może nie wystąpić, przejdź do kroku 4. W przeciwnym przypadku przejdź do kroku 10.
- Krok 10. (Generacja gałęzi według typów maszyn). Wprowadź 1 na kolejną pozycję wektora typów.
Przejdź do kroku 11.
- Krok 11. (Test liczby maszyn zamiennych). Jeżeli bieżący wekaźnik wektora typów jest większy od liczby maszyn zamiennych, przejdź do kroku 12. W przeciwnym przypadku przejdź do kroku 11.
- Krok 12. (Eliminacja wektora typów). Jeżeli istnieje chociaż jeden detal niezrealizowany przez wektor typów, przejdź do kroku 13. W przeciwnym przypadku przejdź do kroku 14.
- Krok 13. (Cofanie). Jeżeli nie ma wierzchołka aktywnego, przejdź do kroku 16.
- Krok 14. Zbadaj czy rozwiązanie spełnia ograniczenie. Jeżeli tak - przejdź do kroku 15. W przeciwnym przypadku przejdź do kroku 13.
- Krok 15. (Badanie optymalności). Jeżeli rozwiązanie jest lepsze od poprzedniego w danym przedziale zatrudnień, zapamiętaj je i przejdź do kroku 13. W przeciwnym przypadku przejdź do kroku 13.
- Krok 16. (Końcowy). Wyprowadź zbiór rozwiązań efektywnych.

Główne obzary algorytmu

- a. Obliczenia wstępne. Kroki 1 do 5.
- b. Generowanie binarnego wektora typów maszyn. Kroki 6 do 11.
- c. Eliminacja wariantów procesów technologicznych nierealizowalnych przez wygenerowany wektor typów maszyn.
Kroki 12 do 13.

d. Badanie efektywności rozwiązań.

Kroki 14 do 16.

Istotną częścią algorytmu są kroki 6 do 11, w których wykorzystuje się testy tworzenia binarnego wektora typów stanowisk zbudowane krokami 3 do 5.

Są to trzy testy, których konstrukcję wyjaśni najlepiej przykład.

Dana jest macierz technologiczna wariantów procesów technologicznych trzech detali

Detail		1				2				3			
Zmiennosc maszyn	wariant maszyna	11	12	13	14	21	22	23	24	31	32	33	34
Z	M ₁	1	1			1		1		1	1	1	
Z	M ₂			1	1				1		1		1
Z	M ₃	1		1				1				1	
NZ	M ₄	1	1	1	1		1		1	1	1	1	1
NZ	M ₅	1	1	1	1								
NZ	M ₆		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Z	M ₇		1	1		1	1	1			1		
Z	M ₈	1					1		1	1		1	
Nie występuje stanowisk		3	3	2	4	5	4	4	4	4	3	3	5
W tym niezamiennych		1	0	0	0	2	1	2	1	1	1	1	1
W tym zamiennych		2	3	2	4	3	3	2	3	3	2	2	3
MAX		4				3				3			
MIN		3											

Kolejne testy opierają się na następujących spostrzeżeniach, wykorzystywanych w budowie binarnego wektora typów maszyn.

Zauważaj, że wszystkie maszyny występujące w procesach technologicznych możemy podzielić na dwie grupy:

- maszyny niezbędne, to jest takie, bez których żaden z wariantów procesów technologicznych chociaż jednego detalu nie może być zrealizowany; nazwiemy je maszynami niezastępowalnymi, symbol NZ,
 - maszyny pozostałe, nazwiemy je zastępowalnymi - symbol Z.
- Obie grupy zaznaczono w kolumnie "Zmienność maszyn".

Informacja ta pozwala na trwałe wpisanie do binarnego wektora typów maszyn jedynek w elementach odpowiadających maszynom niezastępowalnym.

Jest to pierwszy test do budowy drzewa rozwiązań.

Test drugi opiera się na obserwacji, że istnieje pewna maksymalna liczba typów maszyn, bez których można zrealizować chociaż po jednym wariantcie procesu technologicznego z każdego detalu.

W binarnym wektorze typów maszyn odpowiada ona maksymalnej liczbie zer.

Dla detalu 1 w naszym przykładzie można to osiągnąć bez czterech typów maszyn, dla drugiego bez trzech a dla trzeciego także bez trzech.

Liczby te zapisane są w wierszach "MAX". Gdybyśmy przyjęli, że staramy się zrealizować produkcję wszystkich detali bez czterech typów maszyn, to nie moglibyśmy zrealizować żadnego wariantu w detalach 2 i 3. Stąd wynika, że możemy zrealizować produkcję wszystkich detali co najwyżej bez trzech typów maszyn zamiennych. Wynik ten zapisany jest w wierszu "MIN".

Tak więc binarna struktura wektora typów maszyn może zawierać co najwyżej trzy zera, co w trakcie budowania gałęzi drzewa jest na bieżąco sprawdzane. Jeśli zajdzie ten warunek, to pozostałe elementy odpowiadające maszynom zastępowalnym muszą przyjąć wartość 1. Pozwala to na kolejne po teście pierwszym zmniejszenie liczby gałęzi drzewa rozwiązań. Okazuje się, że liczbę tych gałęzi można jeszcze zmniejszyć przez zastosowanie trzeciego testu. Konstrukcja jego opiera się na obserwacji, że jeśli nie wystąpią w binarnym wektorze typów maszyn pewne typy, to aby zrealizować chociaż po jednym wariantcie procesu technologicznego każdego detalu muszą wystąpić inne, oczywiście ze zbioru maszyn zastępowalnych. Ilustracją tego algorytmu są wyniki obliczeń otrzymane dla trójelementowego zbioru części obrabiarki, tzn. suportu, wrzeciennika i korpusu.

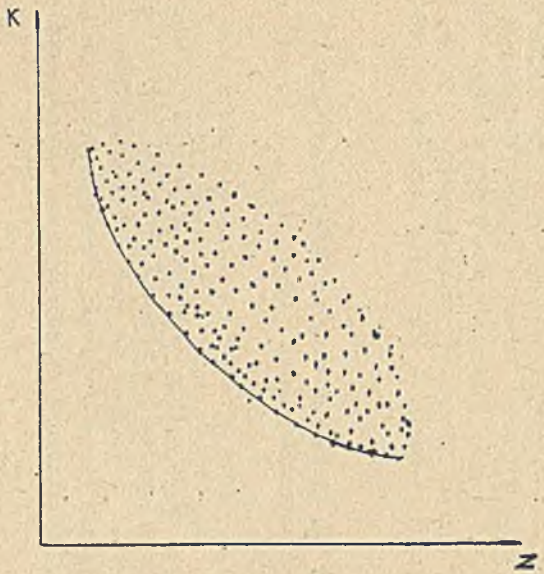
Dla każdej z tych części zaprojektowano po osiem wariantów procesów technologicznych.

W modelu tego przykładu przyjęto, że ograniczenie z jest równe maksymalnemu zatrudnieniu to znaczy praktycznie tak jakby go nie było.

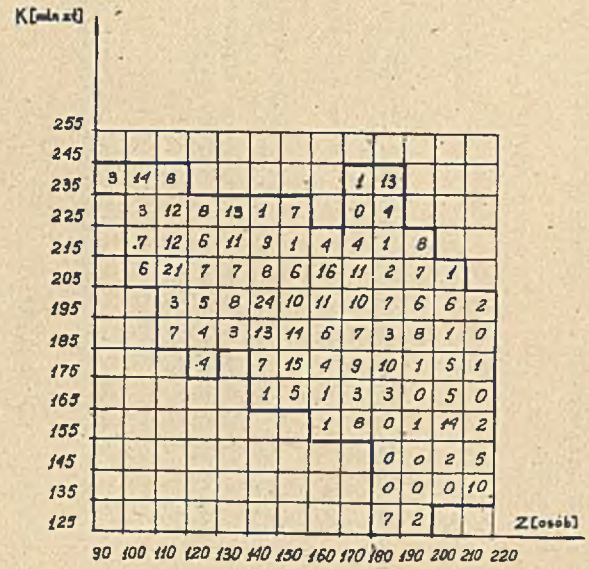
Na rysunkach 1 oraz 2 przedstawiono charakter zupełnego zbioru rozwiązań.

Jak widać z rysunku 1, zbiór rozwiązań ma charakter dyskretny. Zbiór rozwiązań efektywnych ze względu na wyżej opisaną funkcję kryterium, który jest znajdowany przez przedstawiony algorytm, leży na dolnej obwiedni pola rozwiązań. Z istoty algorytmu wynika, że do rozwiązań efektywnych dochodzi się bez konieczności rozpatrywania całego pola rozwiązań, co znacznie skraca czas obliczeń.

Powyższy algorytm pozwala projektantowi posługującemu się nim na przedwidowe zaprojektowania wysokości nakładów inwestycyjnych na wyposażenie technologiczne przy zadanym zatrudnieniu lub odwrotnie. Unika się dzięki temu zbędnego przeinwestowania lub nadmiernego poziomu zatrudnienia. Jeżeli natomiast zdecydujemy się na inne rozwiązanie, znamy błąd, jaki z tego powodu popełniamy.



Rys. 1. Graficzny obraz zupełnego zbioru rozwiązań



Rys. 2. Liczba rozwiązań w poszczególnych obszarach K i Z dla przykładu

Najwyższy poziom automatyzacji odpowiada na rysunkach 1 i 2 rozwiązaniom o najniższym zatrudnieniu, najniższy natomiast - rozwiązaniom o najwyższym zatrudnieniu.

LITERATURA

- [1] FISZEL H.: Teoria efektywności inwestycji i jej zastosowanie. PWN, Warszawa 1969.
- [2] GARFINKEL R.S., NEMHAUSER G.L.: Programowanie całkowitoliczbowe. PWN, Warszawa 1979.
- [3] PIEKUTOWSKI J.: Modernizacja wyposażenia produkcyjnego zakładów przemysłu maszynowego. Mechanik Nr 9/1977.
- [4] PIEKUTOWSKI J., ZAMOJSKI M.: Praca naukowo-badawcza pt. Analiza opracowania koncepcji i algorytmów wyboru efektywnych wariantów procesów technologicznych, prowadzona w IOZ PW, 1981.

Recenzent: Doc. dr inż. Wojciech TARNOWSKI

Wpłynęło do Redakcji 15.05.1982 r.

ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
МНОЖЕСТВА ДЕТАЛЕЙ

Р е з ю м е

Объектом представленных в публикации исследований является множество деталей, с которыми связаны варианты технологических процессов. Предлагается математическая модель и алгоритм для решения задачи выбора технологических процессов, которые исполняют заданный критерий выбора, для данного множества деталей. Теоритические соображения иллюстрирует практический пример.

SEARCHING THE EFFECTIVE MANUFACTURING PROCESSES
FOR MACHINE PARTS SET

S u m m a r y

The paper deals with a heuristic algorithm for searching effective manufacturing processes for machine parts set. It is assumed that each part may be applied in several variants of manufacturing processes. The variant which satisfies given criterion should be found. We present a mathematical model, an algorithm of calculations and an example.