ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1984
Seria: AUTOMATYKA z. 75 Nr kol. 811

Jan PASIAK

Wyższa Szkoła Inżynierska w Radomiu

METODY REKURENCYJNE HARMONOGRAMOWANIA PRZEBIEGU PROCESU PRODUKCYJNEGO; ZŁOŻONOŚĆ OBLICZENIOWA

Streszczenie. W referacie przedstawiono algorytm przybliżony harmonogramowania przebiegu procesu technologicznego wykonania części (detali) na stanowiskach (maszynach) dla przypadku z określonymi, tzw. zapasami produkcji w toku.

1. Wprowadzenie

Problematyka szeregowania zadań na maszynach z uwzględnieniem dodatkowych zasobów jest dyscypliną badań cieszącą się w ostatnim dziesięcioleciu szczególnym zainteresowaniem ze względu na jej użyteczność w sterowaniu systemami przemysłowymi. Korzystając z właściwych teorii złożoności obliczeniowej metod, udowodniono [3] przynależność ogólnego problemu szeregowania zadań z dodatkowymi zasobami do klasy problemów NP-zupełnych. Jest to klasa problemów, dla których prawdopodobnie nie istnieją algorytmy efektywne [2]. W konkretnych zastosowaniach przemysłowych, szczególnie w systemach uwarunkowanych czasowo, rangę istotną znajdują algorytmy przybliżone. W badaniach, np. [3,5,6,7] przyjmuje się założenie o istnieniu powiązań kolejnościowych operacji tworzących zadanie /ciąg technologiczny, ciąg operacji/, przez co, każda z operacji określana jest jako indywiduum niepowtarzalne. Podejście takie ogranicza zbiór rozwiązań dopuszczalnych w przypadku, gdy wśród wykonywanych operacji istnieją operacje "podobne" (o takim samym materiale i wytworze) oraz gdy w realizacji procesu wykorzystać należy, tzw. zapasy produkcji w toku [4]. Pokażemy to na przykładzie. Model procesu produkcyjnego przyjmiemy za [1], gdyż opisuje on sytuację charakterystyczną dla procesów technologicznych występujących w przemyśle maszynowym [4]. Zadanie produkcyjne w praktyce przedstawiano jest w postaci: wykonaj $p(x)$[1] przedmiotów rodzaju $x \in P$ (zbiór rodzajów przedmiotów produkcji, pojawiających się w procesie technologicznym) dysponując $q(x)$[1] przedmiotami rodzaju $x \in P$, respektując porządek technologiczny [4, 8] wykonania operacji technologicznych [4]. Tak postawiono zadanie wymusza oprócz dokonania przydziału operacji do stanowisk oraz wyznaczenia kolejności ich wykonania na stanowiskach, także wyznaczenia ciągów operacji technologicznych, które w wyniku realizacji doprowadzą do

1/ $p(x)$, $q(x) = 0,1,2,\dots$, dla $x \in P$.

wykonania wymaganych ilości przedmiotów x z dostępnych zapasów $q(x)$. Pokażemy to na przykładzie. Podany zostanie algorytm metody konstrukcji harmonogramów (MHP) określający rozwiązanie przybliżone.

2. Założenia i sformułowanie problemu.

Rozważmy zbiór zadań $Z^* = \{Z_1, Z_2, \ldots, Z_\beta\}$, zbiór stanowisk (maszyn) $S = \{s_1, s_2, \ldots, s_m\}$ oraz zbiór $\mathcal{L}$ rodzajów dodatkowych zasobów - przedmiotów produkcji $P = \{x_1, x_2, \ldots, x_\alpha\}$. Zasób x_k jest dostępny w początkowej chwili procesu t_0, w liczbie $q(x_k)$ jednostek. Każde zadanie Z_l dzieli się na operacje $Q_{11}, Q_{12}, \ldots, Q_{1p(l)}$, z których każda może żądać innego stanowiska. Liczba operacji składających się na zadanie $(p(l))$, przyporządkowanie operacji stanowiskom oraz kolejność wykonywania operacji na stanowiskach jest dowolna, choć z góry określona. W danej chwili na stanowisku można wykonywać co najwyżej jedną operację. Stanowiska różnią się wypełnianymi funkcjami (tzn. na danym stanowisku mogą być wykonywane określone operacje). Określmy teraz parametry charakteryzujące operację.

Operacja Q_{1r} wymaga dla jej wykonania (oprócz określenia właściwego dla niej stanowiska) przydziału przedmiotu produkcji $x' \in P$, charakterystycznego dla tej operacji w ilości 1 jednostki (tu 1 szt.). Przedmiot taki nazywać będziemy materiałem operacji. W wyniku wykonania operacji powstaje, w ilości 1 sztuki, charakterystyczny dla niej przedmiot produkcji $x'' \in P$ - wytwór operacji. Zauważmy, że w wyniku realizacji zadania Z_l, a więc realizacji ciągu operacji $Q_{11}, Q_{12}, \ldots, Q_{1p(l)}$ wykonana zostanie 1 sztuka przedmiotu produkcji $\bar{x}'' \in P$, przy czym będzie to wytwór operacji $Q_{1p(l)}$. Wykonanie zadania Z_l polega na przetworzeniu materiału operacji Q_{l1} - przedmiotu produkcji $\bar{x}' \in P$, w przedmiot produkcji $\bar{x}'' \in P$. Przedmiot produkcji $\bar{x}'$ jest zasobem dostępnym w chwili t_0 (założenie), a przedmiot $\bar{x}''$ oczekiwany jest w chwili zakończenia procesu produkcji t_z.

W okresie (t_0, t_z) w komórce produkcyjnej pojawią się przedmioty produkcji "pośrednie" $z_i \in P$, będące wytworami operacji Q_{1i} oraz jednocześnie materiałami operacji Q_{1i+1}. Przedmioty te utworzą ciąg: $\bar{x}' = z_0, z_1, \ldots, z_{p(l)} = \bar{x}''$. Jeśli przykładowo pragniemy w wyniku realizacji procesu produkcyjnego komórki, uzyskać dwa przedmioty y', y", przy czym przedmioty te nie różnią się od siebie (są tego samego rodzaju), to w zbiorze Z^* znajdą się dwa zadania Z', Z" oraz istnieją odpowiadające im ciągi operacji z właściwymi im rodzajami przedmiotów produkcji "pośrednich". Dla każdej operacji Q_{1r} określony jest zbiór stanowisk $SQ_{lr} \subset S$, na których wykonać można tę operację. Czas $T(l, r, j)$ wykonania operacji Q_{1r} na stanowisku $s_j \in SQ_{1r}$ wyznaczany jest z zależności: $T(l,r,j) = \tau^*(l,r,j) + \tau(l,r,j)$, gdzie $\tau^*(l,r,j)$ - czas obsługi stanowiska s_j dla realizacji operacji Q_{1r} (czas przygotowawczo - zakończeniowy [4]), $\tau(l,r,j)$ - czas wykonania Q_{1r} na s_j (czas jednostkowy).

Założymy, że jeśli operacja jest wykonalna na wielu stanowiskach card$(SQ_{lr}) > 1$, to na każdym z tych stanowisk realizowalna jest z jednakową szybkością $(\tau(l,r,j) = \tau(l,r))$ oraz czas przygotowania stanowiska $s_j \in SQ_{lr}$ jest taki sam $(\tau'(l,r,j) = \tau'(l,r))$ (Zał. 1).
Wprowadźmy pojęcie operacji technologicznej $d \in D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$, gdzie D jest zbiorem rodzajów operacji technologicznych. Jako model operacji d przyjmiemy parę uporządkowaną $d = (x,y)$, w której przedmiot $x \in P$ jest materiałem operacji technologicznej d (zapiszmy: $x = M(d)$), a przedmiot $y \in P$ jest wytworem tej operacji technologicznej $(y = W(d))$ [1].
Dla wykonania operacji technologicznej d należy "oddać" do jej dyspozycji 1 szt. przedmiotu produkcji rodzaju $M(d)$, a w wyniku jej realizacji powstanie 1 sztuka przedmiotu rodzaju $W(d)$. Pojęcie operacji technologicznej $d \in D$ reprezentuje pewną typową "procedurę" przetworzenia $M(d)$ w $W(d)$. Założymy, że przyjęta "procedura" $d = (x,y)$ jest jedynym dostępnym sposobem przetworzenia przedmiotów "x" w przedmioty "y" (Zał. 2).
Każde dwa przedmioty produkcji z', z'', wytworzone lub zużyte w realizacji operacji technologicznej $d \in D$, nazywać będziemy podobnymi. Przedmioty podobne są to przedmioty tego samego rodzaju $x \in P$. Rodzaje przedmiotów wytwarzanych oraz zużywanych w realizacji operacji technologicznej $d \in D$, są charakterystyczne dla tej operacji. W zbiorze operacji zadania Z^*, który oznaczać będziemy Z $(Z = \{Q_{lr}\}$, gdzie $l=1,2,\dots,\beta$, $r=1,2\dots,p(l))$, występować mogą operacje Q_{lr} zużywające przedmioty produkcji tego samego rodzaju $x \in P$ oraz jednocześnie wytwarzające przedmioty tego samego rodzaju $y \in P$. Jest to zjawisko typowe w procesach wytwarzania właściwych dla przemysłu maszynowego [4].
Operacje Q' i Q'' zaliczymy do tego samego rodzaju, a jako ich model przyjmiemy model operacji technologicznej $d = (x,y)$ wtedy, gdy jednocześnie:
- materiał operacji Q' jest tego samego rodzaju $x \in P$, jak materiał operacji Q'',
- wytwór operacji Q' jest tego samego rodzaju $y \in P$, jak wytwór operacji Q'',

Założymy, że jeśli Q' i Q'' są tego samego rodzaju to:
- $\tau(Q') = \tau(Q'') = t_j(d)$ - czas jednostkowy operacji (Zał.3.1),
- $\tau'(Q') = \tau'(Q'') = t_{pz}(d)$ - czas przygotowawczo-zakończeniowy (Zał. 3.2),
- $SQ' = SQ'' = S_d = \{s \in S$: operacja d może być wykonywana przez stanowisko $s\}$ (Zał.3.3).

Operację d nazywać będziemy poprzednią dla operacji $\bar{d}$ $(d \dashv \bar{d})$, jeśli $W(d) = M(\bar{d})$. Operację $\bar{d}$ nazwiemy wtedy następną dla operacji d. Relacja $\dashv$ wyznacza częściowy porządek w zbiorze D. Przedmioty produkcji, których nie można wytworzyć w żadnej z operacji $d \in D$ nazwiemy surowcami. Przedmioty produkcji, których nie można w żadnej z operacji $d \in D$ przetworzyć nazwiemy wyrobami finalnymi. Zbiory tych przedmiotów oznaczymy odpowiednio: P_{sur}, $P_{fin} \subset P$.
Wprowadźmy funkcję l - plan szczegółowy operacyjny, która określi licz-

ność podzbiorów operacji $Q_{1r} \in \mathbb{Z}$ rodzaju $d_1 \in D$, w zbiorze operacji zadania $\mathbb{Z}^*$. $\left(l(d_i) = n_i\right)$. Zauważmy, że card$(\mathbb{Z}) = \sum_{i=1}^{i=D} l(d_i)$.

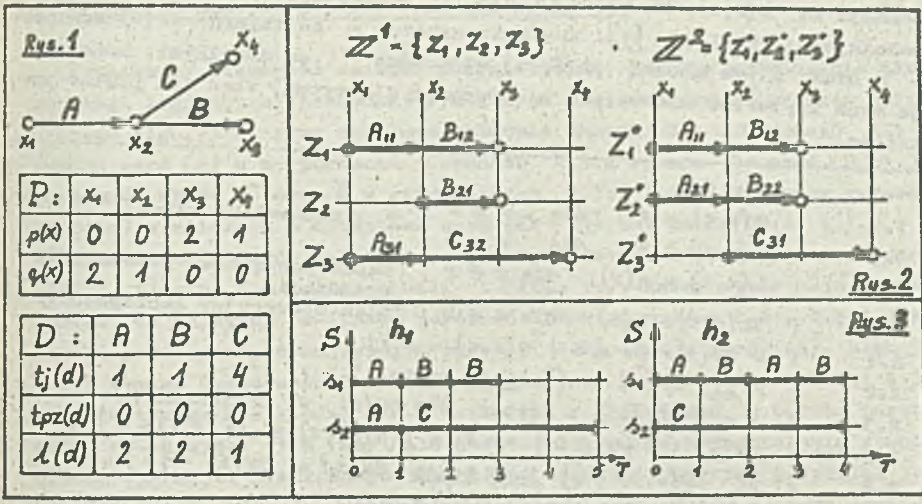
Plan produkcji w praktyce przemysłowej, wyznaczany jest poprzez wskazanie ilości przedmiotów produkcji $x \in P$, jakie winny pojawić się w komórce w chwili nie późniejszej niż t_z. Znajomość planu produkcji określonego funkcją $p(x)$, dla każdego $x \in P$ oraz zasobów początkowych danych funkcją $q(x)$, dla każdego $x \in P$, pozwala na wyznaczenie ilości powtórzeń każdej operacji technologicznej $d \in D$, wymaganych dla wykonania planu p z zapasów q. Zależność ta jest postaci:

$$
l(d) = \begin{cases} p\left(W(d)\right), & \text{dla} \quad W(d) \in P_{fin} \\ \max\left(0,\ p\left(W(d)\right) - q\left(W(d)\right) + \sum\limits_{d \dashv \bar{d}} l(\bar{d})\right), & \text{dla } W(d) \in P - P_{fin} \end{cases}
$$

Wartości $l(d)$ wyznaczane są rekurencyjnie dla wszystkich $d \in D$. W dowolnej chwili t realizacji procesu produkcyjnego, uruchomiona może zostać ta i tylko ta z operacji $d \in D$, której można przydzielić 1 szt "jej" materiału $M(d)$, nie został zrealizowany plan operacyjny uruchomień tej operacji oraz wolne jest jedno ze stanowisk $s \in S_d$. Są to warunki konieczne i dostateczne dla dokonania przydziału operacji d w chwili t do stanowiska s [1]. Czas trwania tej operacji: $T = tpz(d) + tj(d)$, jeśli w chwili $t - \varepsilon$ na stanowisku s nie była wykonywana operacja rodzaju d lub $T = tj(d)$ w przeciwnej sytuacji.

Rozważmy teraz zadanie Z_{pq} (Rys. 1): wykonaj $p(x)$ przedmiotów rodzaju $x \in P$, dysponując zapasem produkcji w toku $q(x)$ dla $x \in P$. Przyjmijmy, że operacja $C = (x_3, x_4)$ wykonalna jest na stanowisku s_2 $\left(S_C = \{s_2\}\right)$, a operacje $A = (x_1, x_2)$ oraz $B = (x_2, x_3)$ na stanowiskach s_1 lub s_2 $\left(S_A = S_B = \{s_1, s_2\}\right)$. Czasy $tj(d)$, $tpz(d)$ oraz wartości funkcji p,q,l pokazano w tabelkach na rys. 1.

W chwili $t = 0$ uruchomione mogą być operacje technologiczne: A lub B na stanowisku s_1 oraz A lub B lub C na stanowisku s_2. Operacja technologiczna A może być uruchomiona jednocześnie na obu stanowiskach. Każda decyzja pomijająca uruchomienie operacji technologicznej C na stanowisku s_2, nie prowadzi do minimalizacji cyklu wykonania postawionego zadania. Zbiór $\mathbb{Z}^*$ opisać można na dwa sposoby $\mathbb{Z}^1$ i $\mathbb{Z}^2$ (Rys. 2) tworząc w ten sposób różne ciągi technologiczne operacji $\left(Q_{11}, Q_{12}, \ldots, Q_{1p(1)}\right)$ określających zadania Z_1, Z_2, Z_3. Przyjęcie powiązań kolejnościowych operacji, jak w $\mathbb{Z}^1$ eliminuje możliwość wyznaczenia minimalnego cyklu rozważanego zadania Z_{pq}. Spostrzeżenia powyższe uzasadniają tezę sformułowaną we wprowadzeniu.



3. Algorytm MHP.

System $N = \{P, D, S \,|\, \{S_d : d \in D\}, tj, tpz\}$ nazwiemy systemem normatywnym produkcji. System $Z_{pq} = \{N, p, q\}$ nazwiemy zadaniem produkcyjnym w systemie normatywnym N. Określmy funkcję h: $S \times T \rightarrow D \cup \{o\}$, gdzie T - dodatnia półoś liczb rzeczywistych, o - operacja "przestoju" (na $s \in S$ w chwili $t \in T$ nie jest wykonywana żadna z operacji $d \in D \Rightarrow h(s, t) = o$). Jeśli h posiadać będzie ponadto, własności:

(W1) $h(s, t) = d \Rightarrow s \in S_d$;

(W2) jest przedziałami stała względem czasu, i jeśli $h(s, t) = d$ to przedział stałości zawierający chwilę t ma długość równą $tpz(d) + k \cdot tj(d)$, gdzie $k = 1, 2 \ldots$;

(W3) dla każdego $x \in P$ i każdej chwili $t \in (t_o, t_z)$, istnieje zapas x w chwili t w ilości $L(x, t)$ jednostek lub zapasu tego nie ma $(L(x, t) \geq 0)$;

(W4) dla każdej $d \in D$ i każdej chwili $t \in (t_o, t_z)$ ilość operacji pozostałych do wykonania (resztówka planu operacyjnego) $KL(d, t)$ jest: $l(d) \geq KL(d, t) \geq 0$;

(W5) dla każdej $d \in D$ i chwili t_z zachodzi równość $KL(d, t) = 0$;

to harmonogram h uznamy za dopasowany do zadania produkcyjnego Z_{pq}, o ile zapasy q wystarczają na wykonanie planu p. Parę $\{Z_{pq}, h\}$ nazwiemy modelem procesu produkcyjnego [1]. Powyższe wymagania spełnia skończona liczba h. Jedną z takich funkcji dla Z_{pq} wyznacza algorytm przedstawiony na rys. 4. Konstrukcja zbiorów $SW(t)$, $OD(\bar{s}, t)$, $SK(t)$ oraz operacje na $L(x,t)$, $KL(d, t)$ i $Q(s, t)$ gwarantują wyznaczenie funkcji h spełniającej $W1 \div W3$ [1]. Kryteria wyboru $\bar{s}$ ze zbioru $SW(t)$ oznaczono ζ oraz $\bar{d}$ ze zbioru $OD(\bar{s}, t)$ oznaczone σ są dowolnymi. Konstrukcja tych kryteriów nie wpływa na przebieg algorytmu, stąd ich postać pominięto.

```
1.1     : t = ∅ ;
1.2     : Q(s,t) = ∅ ;  dla  s ∈ S ;  } (stanowiska wolne)
1.3     : h(s,t) = ∅;   dla  s ∈ S ;  }
1.4     : L(x,t) = q(x);  dla x ∈ P ; (zapas początkowy przedmiotów
                                        produkcji)
1.5     : KL(d,t)= l(d);  dla d ∈ D ; (plan operacyjny szczegółowy)
2.1     : ▷ SW(t)= {s ∈ S | Q(s,t) = ∅} ;
2.2     : ▷ if  SW(t) = {} then go to 3.1 ;
2.3.1   : s̄ = ζ(SW(t)) ; (wybór s̄ ∈ SW(t) ,wg kryterium ζ)
2.3.2   : OD(s̄, t)= {d ∈ D | s̄ ∈ Sd ∧ L(M(d),t)>∅ ∧ KL(d,t)> ∅} ;
2.4     : if  OD(s̄,t) = {} then begin  SW(t) =  SW(t) - {s̄} ;
          h(s̄,t) =  e ; go to  2.2 ; end ;
2.5.1   : d̄ = σ(OD(s,t)) ; (wybór  d̄ ∈ OD(s̄,t) ,wg kryterium σ)
2.5.2   : L(M(d̄), t) = L(M(d̄), t) - 1 ;
2.5.3   : KL(d̄,t) = KL(d̄,t ) - 1 ;
2.5.4.1 : Q(s̄,t) =  tj(d̄) ;
2.5.4.1 : if  h(s̄,t) ≠ d̄ then  Q(s̄,t) = Q(s̄,t) +  tpz (d̄) ;
2.5.5   : h(s̄,t) = d̄ ;  SW(t) = SW(t) - {s̄}; go to  2.2 ;
3.1     : ▷ A = min({Q(s,t) | Q(s,t) > ∅}) ;
                s∈S
3.2.1   : Q (s, t + A) = Q(s,t) - A ; dla każdego  s ∈ S;
3.2.2   : if  Q(s, t+A) < ∅  then  Q(s, t+A) = ∅ ; dla każdego  s ∈ S;
3.3     : KL(d, t+A) = KL(d,t); dla każdego  d ∈ D ;
3.4     : SK( t+A) = {s ∈ S | h(s,t) ≠ e ∧ Q(s, t+A ) = ∅} ;
3.5.1   : L(x, t+A) = L(x,t) ;  dla  x ∈ P ;
3.5.2   : L(W(h(s,t)) , t+A) = L(W(h(s,t)), t+A) + 1; dla s∈SK(t+A);
3.6.1   : h(s, t+A) = h(s,t);  dla  s ∈ S ;
3.6.2   : h(s, t+A) =  e ; dla  s ∈ SK (t+A) ;
3.7     : t = t + A ;
3.8     : if  Σ KL(d, t) = ∅ ∧ Σ Q(s,t) = ∅  then  STOP ;
             d∈D            s∈S
3.9     : go to  2.1 ;
```

Rys. 4. Algorytm MHP.

4. Złożoność czasowa i pamięciowa algorytmu MHP

Wyznaczymy złożoność czasową pesymistyczną, poprzez wyznaczenie ilości operacji logicznych (porównań) wymaganych dla zakończenia procesu obliczeniowego algorytmu, przy dowolnym układzie danych Z_{pq}. Czynność 2.1 wymaga card $(S) = m$ porównań. Czynność 2.3.2 wymaga $3 \cdot$ card $(D) = 3n$ porównań. Wybór $\bar{s}$ oraz $\bar{d}$ w czynnościach 2.3.1 i 2.5.1, wymaga wskazania max(min) w zbiorach o liczności card $(SW(t))$ lub card $(OD(s, t))$. Liczność tych zbiorów założymy pesymistycznie: card $(SW(t)) = m$ i card $(OD(\bar{s}, t)) = n$ dla każdej chwili $t \in (t_0, t_z)$. Każdy wybór $\bar{s}(\bar{d})$ wymagać będzie, co najwyżej, $m-1(n-1)$ porównań. Blok czynności 2.2 ÷ 2.5.5 może zostać powtórzony, co najwyżej m razy ($m^2 + 4n \cdot m + m$ porównań). Blok 3.1 ÷ 3.9 wymaga każdorazowo, nie więcej niż $4m + 2$ porównań. Blok 2.1 ÷ 3.9 łącznie wymaga nie więcej niż $m^2 + (4n+5)m + 2$ porównań, a będzie powtórzony co najwyżej tyle razy, ile jest możliwych do przydzielenia stanowiskom operacji. Dla każdego Z_{pq} ilość operacji, których przydział jest konieczny i dostateczny dla wykonania planu p z zapasów q równa jest $\sum_{d \in D} l(d)$.

Pesymistyczna złożoność algorytmu jest więc $\Theta(m^2 + (4n+5) \cdot m)$, gdzie m = card (S), n = card (D). Uwaga: określona tu złożoność ulegnie zmianie, jeśli konstrukcja $\zeta(\sigma)$ wymagała będzie większej niż $m-1(n-1)$ liczby porównań; tu założono, że wartości priorytetów operacji określane są w wyniku operacji arytmetycznych. Złożoność pamięciowa wynosi $m \cdot n + 7n + 5m +$ [illegible] jednostek, zakładając zapis liczby dowolnej wielkości w jednostce pamięci.

5. Podsumowanie

Przyjęty w pracy [1] model procesu produkcyjnego jest ogólniejszy w stosunku do założeń przyjmowanych, np. w pracach [3,5,6,7]. Dokonanie w nim założeń: zasoby początkowe zgromadzone w postaci surowców (zapasy produkcji w toku nie istnieją) oraz card$(D) = \sum_{d \in D} l(d)$ (nie występuje lub nie zauważamy podobieństwa pomiędzy przedmiotami produkcji wytwarzanymi i zużywanymi w procesie technologicznym) sprowadza problem z [1] do postaci rozważanych w pracach [3,5,7]. Złożoność czasowa i pamięciowa algorytmu MHP oraz łatwość wymuszania w przebiegu procesu technologicznego pożądanych własności organizatorskich poprzez konstrukcję ζ i σ czyni tę metodę atrakcyjną dla zastosowań przemysłowych (np. w produkcji średnioseryjnej, a zwłaszcza w odmianie organizacji procesu produkcyjnego – potoku złożonym).

LITERATURA

[1] Andrzejewski B. : Metody harmonogramowania procesów produkcyjnych, Wyd. Politechniki Warszawskiej, 1983.

[2] Banachowski L., Kreczmar A.: Elementy analizy algorytmów. WNT, Warszawa 1982.

[3] Błażewicz J.: Złożoność obliczeniowa algorytmów i problemów szeregowania zadań, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Rozprawy nr 104, Poznań 1979.

[4] Chajtman Sew.: Podstawy organizacji procesu produkcyjnego, PWE, 1971.

[5] Grabowski J.: Algorytmy optymalizacji i sterowania w dyskretnych systemach produkcyjnych, Wyd. Politechniki Wrocławskiej Monografie 7, Wrocław 1977.

[6] Janiak A., Grabowski J.: Optymalizacja sekwencji operacji z rozdziałem zasobów w dyskretnych procesach produkcyjnych. Mat. II KK Automatyzacji Dyskretnych Procesów Przemysłowych, ZN Politechnika Śląska nr 650 s. 67-74 , Gliwice 1980.

[7] Węglarz J.: Sterowanie w systemach typu kompleks operacji. PWN, 1981.

[8] Wróblewski J.K. Powiązania kolejnościowe w organizacji podstawowego procesu produkcyjnego, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Mechanika nr 46, 1977.

Recenzent: Prof.dr hab.inż.Antoni Niederliński

Wpłynęło do Redakcji do 30.03.1984r.

РЕКУРЕНТНЫЕ МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СЛОЖНОСТЬ

Р е з ю м е

В настоящей статье представлен алгоритм приближённого вычисления графика для технологического процесса изготовления деталей на машинах. В реализации заданий (какие изделия изготовить и сколько) используются доступные в начальный момент времени ресурсы предметов продукции(также полуфабрикаты).

RECURSIVE METHODS OF SCHEDULING THE MANUFACTURING PROCESS

S u m m a r y

The approximate algorithm /heuristic/ to determinate the run schedule of the manufacturing process of making the parts /details/ using machine is presented. The realization of the work task /which pieces to do and how much/ makes use of available work pieces resources /also intermediate products/.