ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2006
Seria: AUTOMATYKA z. 144 Nr kol. 1727

Jolanta KRYSTEK[1], Mirosław ZABOROWSKI[2]
[1]Politechnika Śląska,
[2]Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN

KOSZTOWE I CZASOWE KRYTERIA OPTYMALNOŚCI ALGORYTMU NADĄŻNEGO HARMONOGRAMOWANIA PRODUKCJI*

Streszczenie. W pracy przedstawiono kosztowe i czasowe kryteria optymalności algorytmu nadążnego harmonogramowania produkcji. Kryteria kosztowe związane są z konkretnym harmonogramem i reprezentują koszty produkcji i przezbrojeń. Kryteria czasowe są wyznaczane dla zleceń produkcyjnych i określają czas wykonania zlecenia, maksymalne opóźnienie, czas przepływu przez system i liczbę spóźnionych zleceń.

COST AND TIME-ORIENTED CRITERIA OF OPTIMIZATION OF THE FOLLOW-UP SCHEDULING ALGORITHM*

Summary. In this paper the ideas of cost and time-oriented criteria of optimization of the follow-up scheduling are presented. Cost-oriented criteria relate to the schedule and represent production and setup costs. Time-oriented criteria are defined for production orders and determine order execution time, maximum tardiness, flow time and number of delayed orders.

1. Wprowadzenie

Dla przedsiębiorstw produkcyjnych coraz większe znaczenie ma obecnie elastyczność produkcji, która umożliwiałaby szybsze reagowanie na potrzeby rynku i konkretnego klienta, terminowość produkcji oraz zmniejszenie kosztów produkcji. Aby osiągnąć odpowiedni poziom elastyczności i skrócić cykle produkcji niezbędne jest efektywne sterowanie produkcją. Nadążne sterowanie produkcją [11] może być jednym ze sposobów osiągnięcia tych celów w przypadku produkcji powtarzalnej.

Produkcja powtarzalna jest jednym z typów produkcji, lecz nie występuje bezpośrednio w najczęściej współcześnie stosowanej klasyfikacji, opartej na pojęciu tzw. przekroju oddzielenia zamówień klientów (POZK) [11], (ang. *Customer Order Decoupling Point,* CODP [1]).

Można przyjąć, że produkcja powtarzalna (ang. *repetitive production*) w systemie produkcji na magazyn jest to produkcja w komórce produkcyjnej systemu,

*Praca częściowo finansowana w ramach projektu badawczego KBN nr 3T11A02229.

w której co pewien okres czasu powtarzane są asortymenty wytwarzanych produktów oraz uzbrojenie maszyn i ich przydział do operacji. Szczególnym przypadkiem produkcji powtarzalnej jest produkcja rytmiczna, w której okres powtarzalności – nazywany rytmem – jest stały. W przeciwieństwie do produkcji powtarzalnej produkcja rytmiczna występuje tylko w stanie ustalonym, gdy wyroby są wytwarzane w określonym porządku, z zachowaniem stałego okresu między kolejnymi uruchomieniami lub zakończeniami serii tych samych wyrobów [6].

Ponieważ przezbrajanie maszyn, wiążące się ze zmianą asortymentu produkcji, jest drogim i czasochłonnym procesem, dąży się do wydłużania okresów czasu między przezbrojeniami, czyli do zwiększania wielkości partii produkowanych wyrobów. Z drugiej strony, jak wiadomo, wzrost wielkości partii skutkuje wzrostem poziomu zapasów, a to prowadzi do zwiększenia kosztów magazynowania. Znane są wzory na tzw. optymalną wielkość partii, która minimalizuje sumę kosztów przezbrojeń i magazynowania [7], lecz w praktyce bieżące sterowanie przezbrojeniami daje wielkości partii znacznie różniące się od optymalnych. Celem tego sterowania jest przede wszystkim dostosowanie obciążenia każdej z maszyn lub linii produkcyjnych systemu do zmieniającego się zapotrzebowania na jej produkty.

Produkcja powtarzalna charakteryzuje się skończoną liczbą wariantów uzbrojenia maszyn w komórkach produkcyjnych i odpowiadającego im asortymentu produktów, powtarzających się w na ogół nieregularnych odstępach czasu. Warianty uzbrojenia dalej będą nazywane wariantami produkcyjnymi, a w [11] nazywa się je wariantami gotowości jednostek organizacyjnych. W czasie pracy w danym wariancie produkcyjnym komórka produkcyjna wytwarza określoną partię produktu lub współbieżnie produkuje partie produktów z określonej grupy.

Algorytm NHP jest przeznaczony do bieżącej generacji planów wykonawczych danej komórki systemu produkcyjnego w taki sposób, by plany te nadążały za planami operacyjnymi komórki, pochodzącymi z jednostki koordynacyjnej systemu (co zostało szerzej omówione w punkcie 2). Planami operacyjnymi w rzeczywistym systemie produkcyjnym są zlecenia produkcyjne.

Zastosowanie algorytmu nadążnego harmonogramowania produkcji (NHP), pozwalającego na wybór reguły priorytetu, według której będzie wybierany do realizacji określony wariant produkcyjny, może to zadanie ułatwić, ponieważ umożliwia symulację przebiegu produkcji w komórce produkcyjnej oraz uzyskanie harmonogramu produkcji, w którym decyzje planowania wykonawczego nadążają za operacyjnymi planami produkcji.

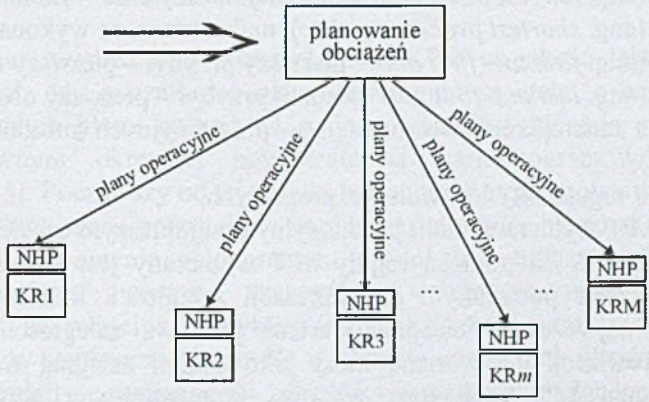
Decyzje algorytmu NHP mogą być przedstawione w postaci tzw. powtarzalnych zleceń wykonawczych, które nadążają za zleceniami produkcyjnymi [8]. Każda z nich dotyczy okresu czasu między kolejnymi przezbrojeniami danej komórki produkcyjnej i wskazuje grupę produktów do wykonania w danym wariancie produkcyjnym. Wskazuje także wielkość zlecenia wykonawczego, równą zaległościom w realizacji planów operacyjnych przez plany wykonawcze. Generowane na bieżąco powtarzalne zlecenia wykonawcze są jednoznaczne, więc nie można ich optymalizować. Można jednak wpływać na jakość działania algorytmu dobierając odpowiednio reguły priorytetu stosowane do wyboru grupy produktów, które mają być wykonane w bieżącym okresie pracy. Jeśli w poszczególnych wariantach uzbrojenia komórka produkcyjna (maszyna) nie jest wykorzystywana lub jest obciążona tylko

przez niewielką część czasu pracy, to wartości niektórych kryteriów optymalizacji są niekorzystne. Poza czasem przestoju komórki zwiększają się liczba przezbrojeń i długość okresu powtarzalności, a w konsekwencji także koszty magazynowania. Należy dołożyć wszelkich starań, aby działanie algorytmu nadążnego harmonogramowania produkcją było jak najlepsze ze względu na powszechnie stosowane kryteria – koszty przezbrojeń, koszty magazynowania, czas przestoju maszyn, długość cyklu produkcji, czas przepływu zleceń przez system, maksymalne opóźnienie zleceń produkcyjnych w stosunku do żądanego terminu ich zakończenia.

Wybór kryteriów optymalności harmonogramu produkcji często jest kompromisem pomiędzy terminowością realizacji zamówień klientów a kosztami produkcji oraz kosztami częstych zmian asortymentu produkcji, w tym kosztami przezbrojeń. Kosztowe kryterium optymalności harmonogramu uzyskanego w wyniku działania algorytmu nadążnego harmonogramowania produkcji reprezentuje koszty produkcji i przezbrojeń. Problem minimalizacji kosztów przezbrojeń był już wcześniej rozważany przez autorów, czego efektem było stworzenie unikalnej reguły priorytetu NHP-ZKWP (z zadaną kolejnością wariantów produkcyjnych) [2]. Kryteria czasowe są wyznaczane dla zleceń produkcyjnych i określają czas wykonania zlecenia, maksymalne opóźnienie, czas przepływu przez system, liczbę spóźnionych zleceń.

2. Rola algorytmu nadążnego harmonogramowania produkcji

Algorytm nadążnego harmonogramowania produkcji (NHP) jest algorytmem lokalnym (rys.1) w hierarchicznym systemie nadążnego sterowania produkcją [11]. Obliczenia planów obciążenia maszyn (komórek produkcyjnych) nazwano tam planowaniem operacyjnym, a nadążne harmonogramowanie produkcji – planowaniem wykonawczym. Plany operacyjne spełniają w algorytmie rolę wielkości wiodących. Nadążanie harmonogramów, czyli planów wykonawczych, za zmiennymi planami operacyjnymi polega na utrzymaniu w określonych granicach tych części składowych zapasów, których wahania zależą od różnic pomiędzy planami operacyjnymi i wykonawczymi [10].



Rys. 1. Dekompozycja zadań harmonogramowania w systemie nadążnego sterowania produkcją

Algorytm NHP działa w chwili zakończenia okresu pracy lub postoju danej maszyny (komórki roboczej systemu) i podejmuje bieżącą decyzję o pracy lub postoju. Decyzje podejmowane są na podstawie stanu algorytmu, na który składają się poprzednio podjęte decyzje oraz zaległości w realizacji planów operacyjnych przez plany wykonawcze. W przypadku pracy jest to decyzja o wariancie produkcyjnym, co określa zestaw produktów wytwarzanych na maszynie (w komórce systemu), i o wielkościach partii wykonawczych tych produktów. Ponadto w obu przypadkach oblicza się przewidywaną chwilę zakończenia rozpoczynanego okresu pracy lub postoju. Ponieważ każdorazowo chwila ta jest prognozą chwili rozpoczęcia następnego okresu pracy lub postoju, można zasymulować wielokrotne działanie algorytmu NHP w przedziale czasu o dowolnej długości.

Uzasadnieniem nazwy algorytmu NHP jest fakt, że dla każdej chwili jego przeszłe decyzje mają strukturę harmonogramu, a jeśli znane są przyszłe zadania komórki (plany operacyjne) z określonego przedziału czasowego, to możliwa jest symulacja przyszłego działania algorytmu NHP i uzyskanie klasycznie rozumianego harmonogramu. Jednak takie wykorzystanie algorytmu ma tę samą podstawową wadę, którą mają inne metody harmonogramowania, a jest nią oparcie się na niepewnych prognozach przyszłych zadań i przyszłej dostępności zasobów.

3. Reguły priorytetu w algorytmie nadążnego harmonogramowania produkcji

W klasycznie sformułowanych problemach szeregowania zadań reguły priorytetów są często wykorzystywane do ustalenia kolejności zadań oczekujących na wykonanie w komórkach (maszynach) systemu produkcyjnego. Specyfika algorytmu NHP polega na tym, że reguły priorytetu stosowane są do wyboru wariantu produkcyjnego, czyli grupy produktów, które mogą być wykonane w bieżącym okresie pracy. Wybierany jest jeden z wariantów, dla których zaległości w realizacji planów operacyjnych przez plany wykonawcze osiągnęły lub przekroczyły wartości progowe.

W implementacji algorytmu NHP zastosowano następujące reguły wyboru wariantu produkcyjnego [4]:

1. LPT – (ang. *longest processing time),* najdłuższy czas wykonania,
2. SPT – (ang. *shortest processing time*), najkrótszy czas wykonania,
3. FIFO – (ang. *first in – first out),*– pierwszy przybył – pierwszy obsłużony,
4. LIFO – (ang. *last in – first out)* – ostatni przybył – pierwszy obsłużony,
5. ZKWP – z zadaną kolejnością wariantów produkcyjnych (minimalizująca koszty przezbrojeń),
6. LPT bwp – z regułą LPT bez wartości progowych.

Reguła LPT wybiera wariant produkcyjny o najdłuższym czasie potrzebnym do likwidacji zaległości. Za pomocą reguły SPT wybierany jest wariant produkcyjny o najkrótszym czasie potrzebnym do likwidacji zaległości. Reguła FIFO wybiera wariant, który najwcześniej osiągnął wartość progową zaległości. Reguła LIFO wyznacza do realizacji ten wariant, który jako ostatni osiągnął wartość progową zaległości. Reguła LPT bwp (bez wartości progowych) w przypadku małego obciążenia maszyn skraca czas oczekiwania na wykonanie planów operacyjnych, a w przypadku normalnych obciążeń działa tak, jak z wartościami progowymi. Jednak produkcja realizowana w małych partiach jest niekorzystna, gdyż prowadzi do dużej

częstotliwości przezbrojeń, a to zwiększa koszty i zmniejsza udział czasu pracy w łącznym czasie produkcji i przezbrojeń. Algorytm ten warto stosować tylko w przypadku popytu znacznie mniejszego od zdolności produkcyjnych.

Generowane przez algorytm NHP decyzje planowania wykonawczego nadążają za operacyjnymi planami produkcji (zleceniami produkcyjnymi), a dla stałych lub cyklicznie zmiennych planów operacyjnych układają się w harmonogramy cykliczne (cyklogramy), osiągane po skończonej liczbie kroków tworzących przedział czasowy stanu nieustalonego. Jednym z dodatkowych wymagań, które można postawić algorytmowi NHP, jest to, by w każdym cyklogramie, niezależnie od stanu w chwili ustąpienia zakłóceń, kolejność wariantów produkcyjnych była zgodna z ich numeracją. Może to być kolejność minimalizująca koszty przezbrojeń, znaleziona na przykład za pomocą algorytmu komiwojażera. Heurystyczny algorytm NHP-ZKWP o zadanej kolejności wariantów produkcyjnych został właśnie tak skonstruowany, żeby w stanie ustalonym (dla stałych lub cyklicznie zmiennych planów operacyjnych i produkcji rytmicznej), osiągać kolejność wariantów produkcyjnych zgodną z ich numeracją [2,13]. Kolejność wariantów produkcyjnych w jednym okresie powtarzalności może być istotna np. ze względów ekonomicznych (koszty przezbrojeń).

4. Badania jakości działania algorytmu NHP

Przeprowadzono szereg badań symulacyjnych oceniających skuteczność i jakość działania algorytmu NHP. Na podstawie przeprowadzonych badań [3], nie stwierdzono wpływu wyboru reguł priorytetu na wartości średnie miar czasowych zaległości w przypadku, gdy plany operacyjne zmieniają się losowo. Średnie czasy trwania stanów nieustalonych, od wystąpienia stałych planów operacyjnych do chwili pojawienia się idealnych harmonogramów rytmicznych (cyklogramów), przy regule LPT były krótsze, niż przy stosowaniu innych reguł. Jeżeli istotna jest odpowiednia kolejność realizacji wariantów produkcyjnych w stanie ustalonym produkcji rytmicznej, to uzasadnione jest zastosowanie algorytmu NHP-ZKWP, gdyż za każdym razem doprowadza on do zadanej kolejności wariantów produkcyjnych w cyklogramie stanu ustalonego, podczas gdy dla innych odmian algorytmu NHP kolejność ta jest przypadkowa.

Porównano również wpływ reguł LPT i ZKPW na jakość działania algorytmu NHP w sytuacji, gdy początkowo plany operacyjne są stałe, a harmonogramy są cykliczne, po czym plany operacyjne w jednej chwili zmieniają się na cykliczne z okresem równym okresowi powtarzalności harmonogramów w przedziale początkowym [5]. Począwszy od tej chwili, harmonogram generowany przez algorytm przez pewien okres czasu pozostaje w stanie nieustalonym, by po skończonej liczbie kroków stać się ponownie cyklogramem produkcji rytmicznej. Przeanalizowano działanie algorytmu, zwracając szczególnie uwagę na czas trwania stanów nieustalonych i na właściwości cyklogramów produkcji rytmicznej generowanych przez algorytm w stanie ustalonym, dla cyklicznie zmiennych planów operacyjnych. Badania potwierdziły ograniczoność zaległości w nadążaniu planów wykonawczych za operacyjnymi, czyli stabilną pracę algorytmu NHP, także w sytuacji przejścia od stałych zleceń produkcyjnych do zleceń pojawiających się cyklicznie. Decyzje planowania wykonawczego generowane przez algorytm NHP nadążają za

operacyjnymi planami produkcji, a dla cyklicznie zmiennych planów operacyjnych układają się w harmonogramy cykliczne, osiągane po skończonej liczbie kroków tworzących przedział czasowy stanu nieustalonego. Algorytm NHP-ZKWP nie zmienia zadanej kolejności wariantów produkcyjnych w cyklogramie stanu ustalonego.

5. Kryteria optymalności algorytmu NHP

Kryteria optymalności można ogólnie podzielić na dwie grupy [8]:

- kryteria kosztowe – reprezentujące m.in. koszty związane z produkcją, przezbrojeniami maszyn, przekroczeniami terminów,
- kryteria czasowe – wyznaczane dla zleceń produkcyjnych i określające średni lub maksymalny czas opóźnienia w stosunku do żądanego terminu zakończenia, albo średni lub maksymalny czas przepływu przez system.

Plany operacyjne (zlecenia produkcyjne) spełniają w algorytmie rolę wielkości wiodących. Są wprowadzane ze stałym okresem „l" będącym wielokrotnością okresu planowania wykonawczego „t". Procedura czytania planów operacyjnych jest wykonywana tylko wtedy, gdy bieżący okres planowania wykonawczego jest ostatnim z należących do bieżącego okresu planowania operacyjnego [10]. Dla każdego planu operacyjnego znana jest więc chwila jego odczytania „t", wielkość zlecenia Z_{wjl}, numer produktu „j" wytwarzanego w tym zleceniu w ramach wariantu „w". W celu przeprowadzenia dodatkowych badań, związanych z zastosowaniem wyżej przedstawionych kryteriów optymalności, niezbędne jest wprowadzenie do algorytmu NHP dodatkowych parametrów związanych z planami operacyjnymi (tabela 1).

Tabela 1

Dodatkowe parametry określające plany operacyjne

n	numer zlecenia produkcyjnego, $n \in N$
j_n^w	numer produktu wytwarzanego w zleceniu produkcyjnym „n" w ramach wariantu „w", $j_n^w \in J^P$, przy czym $N_j^P = \{n \in N \mid j_n^w = j\}$ - zbiór zleceń produkcyjnych wytwarzających produkt j
c_n^o	termin otwarcia zlecenia produkcyjnego (jednoznacznie określany w algorytmie poprzez chwilę przeczytania planu operacyjnego)
c_n^z	termin zamknięcia zlecenia produkcyjnego
d_n	pożądany termin zakończenia wykonania zlecenia
r_n	waga zlecenia produkcyjnego (może być związana z wartością priorytetu wariantu produkcyjnego)
ρ_n	koszt oczekiwania w ciągu jednostki okresu planowania wykonawczego na wykonanie zlecenia produkcyjnego
F_n	czas przepływu, będący sumą czasów oczekiwania i wykonywania: $F_n = c_n^z - c_n^o$ dla $n \in N$ (1)
L_n	nieterminowość (opóźnienie) $L_n = c_n^z - d_n$ dla $n \in N$ (2)
T_n	spóźnienie $T_n = \max\{c_n^z - d_n, 0\}$ dla $n \in N$ (3)

Do oceny efektu działania algorytmu NHP w zależności od zastosowanej reguły wyboru wariantu produkcyjnego do pracy (LPT, SPT, FIFO LIFO) będziemy mogli wykorzystać następujące kryteria optymalizacji [9]:

- C_{max} - termin zakończenia wykonywania wszystkich produktów (tylko w przypadku zdefiniowania długości horyzontu planowania wykonawczego T)

$$C_{max} = max\ \{C_n\} \qquad \text{dla } n \in N \tag{4}$$

- $\bar{F}$ - średni czas przepływu (lub średni czas przebywania) w systemie

$$\bar{F} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} F_n \tag{5}$$

lub średni ważony czas przepływu

$$\bar{F}_w = \frac{\sum_{n=1}^{N} r_n F_n}{r_n} \tag{6}$$

- L_{max} - maksymalne opóźnienie

$$L_{max} = max\ \{L_n\} \qquad \text{dla } n \in N \tag{7}$$

- $\bar{T}$ - średnie spoźnienie

$$\bar{T} = N\sum_{n=1}^{N} T_n \tag{8}$$

lub średnie ważone spóźnienie

$$\bar{T}_w = \frac{\sum_{n=1}^{N} r_n T_n}{r_n} \tag{9}$$

- ważona liczba spóźnionych zleceń

$$Q = \sum_{n=1}^{N} r_n \beta_n, \tag{10}$$

gdzie: $\beta_n = 1$ jeżeli $c_n^z - d_n > 0$, w przypadku przeciwnym $\beta_n = 0$

- koszt przekroczenia terminu realizacji zleceń

$$Q = \sum_{n=1}^{N} \rho_n \beta_n, \tag{10}$$

gdzie: $\beta_n = 1$ jeżeli $c_n^z - d_n > 0$, w przypadku przeciwnym $\beta_n = 0$.

6. Podsumowanie

Algorytm NHP działa w chwili zakończenia okresu pracy lub postoju danej maszyny (komórki roboczej systemu) i na podstawie obliczanych na bieżąco

zaległości w realizacji planów operacyjnych przez plany wykonawcze podejmuje bieżące decyzje o pracy lub o postoju. W przypadku pracy jest to decyzja o wariancie produkcyjnym, czyli grupie produktów wytwarzanych na maszynie (w komórce systemu), i o wielkościach partii wykonawczych tych produktów. Ponadto obliczana jest przewidywana chwila zakończenia rozpoczynanego okresu pracy lub postoju. Generowane przez algorytm NHP decyzje planowania wykonawczego nadążają za operacyjnymi planami produkcji (zleceniami produkcyjnymi), a dla stałych lub cyklicznie zmiennych planów operacyjnych układają się w harmonogramy cykliczne, osiągane po skończonej liczbie kroków tworzących przedział czasowy stanu nieustalonego. Podstawowym przeznaczeniem algorytmu harmonogramowania nadążnego jest bieżąca generacja decyzji o pracy lub postoju komórki produkcyjnej, lecz można go również wykorzystywać do układania harmonogramów produkcji dla dowolnie długich horyzontów planowania. Harmonogram produkcji (plany wykonawcze) generowany przez algorytm nadążnego harmonogramowania produkcji może być zastosowany do planowania produkcji powtarzalnej. Generowane na bieżąco powtarzalne zlecenia wykonawcze są jednoznaczne, więc nie można ich optymalizować. Można jednak wpływać na jakość działania algorytmu dobierając odpowiednio reguły priorytetu stosowane do wyboru grupy produktów, które mają być wykonane w bieżącym okresie pracy.

Kosztowe kryterium optymalności harmonogramu uzyskanego w wyniku działania algorytmu nadążnego harmonogramowania produkcji reprezentuje koszty produkcji i przezbrojeń. Kryteria czasowe są wyznaczane dla zleceń produkcyjnych i określają czas wykonania zlecenia, maksymalne opóźnienie, czas przepływu przez system, liczbę spóźnionych zleceń. Kolejny etap prac badawczych będzie dotyczył porównania zaimplementowanych reguł priorytetu pod kątem analizy kosztowych i czasowych kryteriów optymalności algorytmu nadążnego harmonogramowania produkcji.

LITERATURA

1. Browne J., Harhen J., Shivnan J.: Production Management System An Integrated Perspective, Addison Wesley, 1996.
2. Krystek J., Zaborowski M.: Harmonogramowanie nadążne z zadaną kolejnością wariantów produkcyjnych. W: Zaborowski M. (red) „Automatyzacja procesów dyskretnych. Sterowanie procesami dyskretnymi. Zarządzanie i inżynieria produkcji", WNT, Warszawa 2004, s. 225-238.
3. Krystek J., Zaborowski M.: Badania symulacyjne algorytmu nadążnego harmonogramowania produkcji. IX Szkoła komputerowego wspomagania projektowania, wytwarzania i eksploatacji Jurata 2005, WNT, Warszawa 2005, s. 121-130.
4. Krystek J., Zaborowski M.: Algorytm nadążnego harmonogramowania produkcji i jego implementacja internetowa. Zastosowania informatyki w nauce, technice i zarządzaniu, IBS PAN seria BADANIA SYSTEMOWE, Warszawa 2005, tom 41, s. 293-305.
5. Krystek J., Zaborowski M.: Działanie algorytmu nadążnego harmonogramowania produkcji przy cyklicznie zmiennych planach operacyjnych, IX K.K.

„Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie", Zakopane 2006, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2006, tom 1, s. 67-78.

6. Lis S.: Podstawy projektowania systemu rytmicznej produkcji, PWN, Warszawa 1978.
7. Ptak C.: ERP Tools, Techniques and Applications for Integrating the Supply Chain. CRC Press LLC, Boca Raton FA, 2004, p.351-368.
8. Sawik T.: Optymalizacja dyskretna w elastycznych systemach produkcyjnych. WNT, Warszawa 1992.
9. Smutnicki C.: Algorytmy szeregowania. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 20002, str. 10-26.
10. Zaborowski M.: Nadążne harmonogramowanie produkcji. ZN. Pol. Śl., s. Automatyka, z. 129, Gliwice 2000, str. 363 – 374.
11. Zaborowski M., Nadążne sterowanie produkcją, Wyd. WAEI Politechniki Śląskiej, ISBN 83-904743-2-8, Gliwice 2003.
12. Zaborowski M., Krystek J.: Algorytm nadążnego sterowania produkcji. III K.K. „Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie", Zakopane, 2000, s. 290 – 297.
13. Zaborowski M., Krystek J.: Zastosowanie reguł priorytetów w algorytmie nadążnego harmonogramowania produkcji, VIII Konferencja Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie. WNT, Warszawa 2005, p. 668-679.

Recenzent: Dr hab. inż. Bożena Skołud, prof. Pol. Śl.

Abstract

The Follow-up Production Scheduling Algorihtm has several forms, for which ways of selection of production variant among those ones, that have been reached their threshold values, are different. Each of these forms works well for certain criteria of decision evaluation and works worse for other criteria. Various cost and time-oriented criteria have been discussed in the paper. Cost-oriented criteria, which relate to the schedule in its steady state, represent production and setup costs. Time-oriented criteria are defined for production orders and determine order execution time, maximum tardiness, flow time and number of delayed orders.