

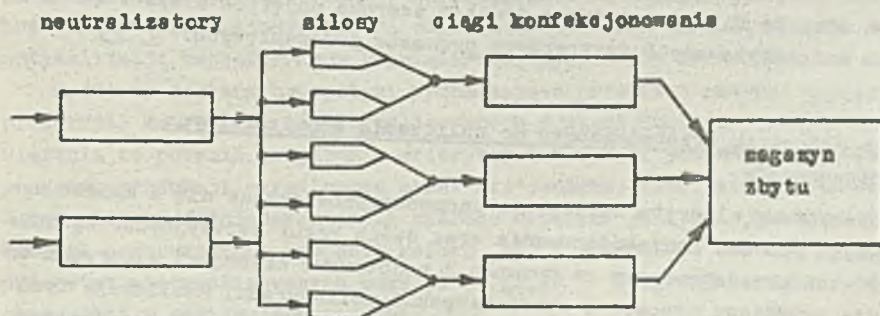
Henryka Gądek-Madeja, Konrad Wala
Akademia Górniczo-Hutnicza

HARMONOGRAMOWANIE PROCESU KONFEKCJONOWANIA POLISTYRENU

Streszczenie. Zaprezentowano algorytm przeznaczony do obliczania dopuszczalnych harmonogramów procesu konfekcjonowania polistyrenu oraz omówiono wybrane wyniki badań dotyczących metod optymalizacji harmonogramów w przestrzeni parametrów heurystyk.

1. Wprowadzenie

Proces produkcji polistyrenu polega na cyklicznym przetwarzaniu określonej ilości komponentów, którą nazywa się szarżą. Efektem końcowym przetwarzania pojedynczej szarży jest porcja polistyrenu określonego gatunku, która przesyłana jest do magazynu ciągów konfekcjonowania [2]. Na ciągach konfekcjonowania polistyren jest barwiony, granulowany i pakowany, tj. konfekcjonowany. Przyjęto, że każdy z ciągów konfekcjonowania stanowi jedną maszynę. Poszczególne ciągi w okresach pomiędzy zmianami gatunku lub koloru polistyrenu pracują w sposób ciągły. Przy zmianie koloru lub gatunku polistyrenu ciąg jest wyłączany z produkcji i podlega czyszczeniu interpretowanemu jako przebrojenie maszyny. Liczba szarż tego samego gatunku i koloru przetwarzania na ciągu pomiędzy kolejnymi przebrojeniami nazywana jest kampanią. Czas trwania przebrojenia jest uzależniony od cech poprzedzającej i następującej kampanii. I tak, jeżeli kampanie tego samego koloru różnią się gatunkiem, to czas przebrojenia wynosi tylko 60 minut, natomiast jeżeli kolor kampanii następującej jest ciemniejszy od poprzedzającej to przebrojenie ciągu trwa 10 godzin. Najniekorzystniejsze jest przebrojenie z kampanii koloru ciemniejszego na kampanię koloru jaśniejszego, ponieważ zajmuje ono 80 godzin /10 roboczych zmian!/.



Rys.1. Schemat instalacji do konfekcjonowania polistyrenu.

Na rys.1. przedstawiono schemat końcowej części instalacji do produkcji polistyrenu, składającej się z dwóch pracujących równolegle neutralizatorów, które w sposób cykliczny przekazują szarże do silosów /magazynów/, przy czym do każdego ciągu konfekcjonowania przyporządkowane są 2 silosy.

Jako zadany, przyjęto ilościowy program produkcji określony w postaci tablicy $[a_{ij}]_{I \times J}$, której element $a_{ij} = \langle a_{ij}^1, a_{ij}^2, a_{ij}^3 \rangle$ charakteryzuje pozycję $\langle i, j \rangle$ tego programu związaną z produktem finalnym gatunku j ($j=1, 2, \dots, J$) o kolorze i ($i=1, 2, \dots, I$) w następujący sposób:

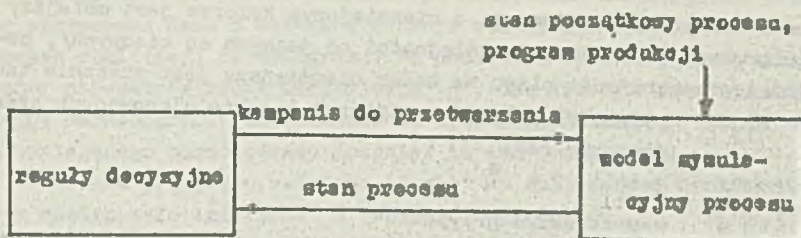
- a_{ij}^1 - planowana liczba szarż pozycji $\langle i, j \rangle$ programu produkcji;
- a_{ij}^2 - najwcześniej możliwy termin rozpoczęcia produkcji określonej przez termin dostaw potrzebnych półproduktów;
- a_{ij}^3 - priorytet pozycji $\langle i, j \rangle$ programu produkcji określony przez planistę.

Zagadnienie harmonogramowania procesu konfekcjonowania polistyrenu polega na przydziale szarż z programu produkcji do kampanii, przyporządkowaniu kampanii do ciągów oraz ustaleniu terminów rozpoczęcia i zakończenia przetwarzania poszczególnych kampanii. Dla jakości harmonogramu decydujące znaczenie ma przyjęta kolejność przetwarzania na ciągach kolorów i gatunków polistyrenu oraz wielkość kampanii, ponieważ od tych czynników uzależniona jest suma czasów postoju ciągów wynika z powodu braku półproduktów oraz czasu traconego na przezbieranie ciągów.

Zagadnienie wyznaczania optymalnego harmonogramu konfekcjonowania polistyrenu teoretycznie może być rozwiązane metodami optymalizacji kombinatorycznej, polegającej na sprawdzeniu wariantów możliwych kolejności przetwarzania wszystkich kombinacji kampanii na trzech ciągach konfekcjonowania. Przy występujących rozmiarach danych wejściowych postępowanie takie nie jest efektywne. Dlatego też prace nad metodami obliczania harmonogramów ograniczono do metod heurystycznych, zwłaszcza że metody heurystyczne "... wykorzystywane do poszukiwań optymalizowanych algorytmów sterowania mogą być obecnie najwydajniejszym źródłem szeroko pojętych efektów ekonomicznych automatyzowanych dyskretnych procesów przemysłowych." [3]

2. Opis algorytmu przeznaczony do obliczania dopuszczalnych harmonogramów

Prezentowany algorytm obliczania harmonogramów składa się z modelu symulacyjnego procesu konfekcjonowania oraz dwóch reguł decyzyjnych. Zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 2. podstawowe czynności algorytmu to symulacja przebiegu procesu i wybór kampanii polistyrenu. Realizacja tych funkcji zachodzi w sposób cykliczny, aż do chwili wyznaczenia harmonogramu dla danego horyzontu planowania.



Rys.2. Ogólna struktura algorytmu obliczenia harmonogramów.

Ze względu na dużą liczbę złożonych ograniczeń nałożonych na proces produkcji i planowania polistyramu przyjęto, że procedurę przeznaczoną do obliczania stanów przyszłych procesu na podstawie aktualnego stanu i decyzji wyznaczających kampanie do przetwarzania opisuje model symulacyjny procesu [1], [4]. Tak więc, stan przyszły procesu jest wyznaczany na podstawie symulacji przebiegu procesu w ten sposób, że śledzony jest przepływ szarż należących do przetwarzanych kampanii kolejno przez neutralizatory, silosy i ciągi konfekcjonowania do magazynu zbytu, przy czym na poszczególnych maszynach następuje zatrzymanie szarży na normatywny okres trwania procesu przetwarzania. Symulacja procesu produkcji jest przerywana w chwili, w której nastąpi przetworzenie kampanii przynajmniej na jednym ciągu konfekcjonowania. Wtedy następuje wybór kolejnej kampanii i symulacja procesu jest kontynuowana.

Kampanie tworzone są z niewykonanych pozycji programu produkcji za pomocą dwóch reguł decyzyjnych. Pierwsza reguła wyznacza wartość priorytetu poszczególnych pozycji programu produkcji i wybiera pozycję o największym priorytecie. Druga natomiast określa wielkość kampanii /liczbę szarż/. Na każdą regułę decyzyjną składa się zestaw zparametryzowanych heurystyk, tj. zestaw heurystyk, których funkcjonowanie uzależnione jest od przyjętych wartości parametrów. Zmiany parametrów heurystyk pozwalają z jednej strony na obliczenie różnych wariantów harmonogramów /z których planista może wybrać harmonogram najbardziej mu odpowiadający/ oraz na zastosowanie metod optymalizacji harmonogramów w przestrzeni parametrów heurystyk.

Omówione zostaną heurystyki wyznaczające priorytet pozycji programu produkcji. Heurystyki te sformalizowano w postaci funkcji priorytetu. Rozwiązanie to pozwala uwzględnić priorytet realizacji poszczególnych pozycji programu produkcji określonych przez kierownictwo kombinatu chemicznego. Niech ciąg konfekcjonowania, dla którego ustalana jest kolejna kampania, zakończył przetwarzanie kampanii koloru i^{m} i gatunku j^{n} . W tym przypadku priorytet niezrealizowanych pozycji $\langle i, j \rangle$ programu produkcji obliczany jest w następujący sposób:

$f_1(i, j) = -1$ - priorytet pozycji o ciemniejszym kolorze jest mniejszy /kolory są ponumerowane w kolejności od jasnych do ciemnych/, ponieważ przeobrażanie ciągu na kolor ciemniejszy jest znacznie tańsze;

$f_2(i, j) = a_{ij}^1$ - priorytet pozycji o większej liczbie planowanych szarż jest większy;

$f_3(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{jeżeli } j = j^* \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$
- reguła preferuje pozycje, które nie wymagają przeobrażenia wynikłego z różnicy przetwarzanych gatunków;

$f_4(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{jeżeli } i = i^* \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$
- reguła preferuje pozycje, które nie wymagają przeobrażenia wynikłego z różnicy przetwarzanych kolorów;

$f_5(i, j) = \frac{\text{sign}(j-i^*)}{|j-i^*|+1}$ - reguła preferuje przypadki przeobrażenia ciągu z koloru jaśniejszego na ciemniejszy, przy czym priorytet pozycji jest większy w przypadku mniejszej "różnicy" kolorów.

Łączny priorytet pozycji $\langle i, j \rangle$ jest równy:

$$f(i, j) = \sum_{k=1}^5 c_k f_k(i, j) + a_{ij}^3$$

gdzie współczynniki c_1, c_2, \dots, c_5 są parametrami funkcji priorytetu. Druga reguła decyzyjna zawiera parametry c_6, c_7, c_8 , stąd wektor parametrów $\underline{c} = \langle c_1, \dots, c_8 \rangle$. W ten sposób zasady funkcjonowania reguł decyzyjnych są określone przez wektor \underline{c} i tym samym jakość obliczonego przez algorytm harmonogramu jest uzależniona od wektora \underline{c} .

Nie ma żadnych przesłanek pozwalających a priori dać odpowiedź, jakie heurystyki /a więc jaki wektor \underline{c} / należy zastosować w przypadku konkretnego zadania /zadania określonego przez stan początkowy procesu i program produkcji/, ażeby otrzymać harmonogram dostatecznie bliski rozwiązaniu optymalnego. W tej sytuacji proponuje się dla każdego zadania poszukiwanie harmonogramu suboptymalnego w przestrzeni parametrów heurystyk. Należy podkreślić, że podejście to sprowadza się do poszukiwania "dobrych heurystyk" dla zadania.

3. Symulacyjne metody optymalizacji

Dla prezentowanego zagadnienia badano użyteczność następujących metod optymalizacji w przestrzeni parametrów heurystyk:

- /1/ interakcyjna praca planisty na komputerze,
- /2/ przypadkowe losowanie wartości parametrów /metoda Monte Carlo/,
- /3/ metoda ewolucyjnego szukania.

W pierwszym przypadku planista po obliczeniu harmonogramu przez komputer otrzymywał dane o wartości funkcji celu i niektórych charakterystykach procesu realizacji harmonogramu. Na podstawie tych danych określał nowy wektor parametrów reguł decyzyjnych \underline{c} , dla którego komputer obliczał następny harmonogram. Postępowanie to było kontynuowane do chwili uzyskania zadowalającego harmonogramu /oceniał to sam planista!/^o

W drugim przypadku ustalano liczbę N obliczanych harmonogramów, po czym następowało losowanie N wektorów parametrów \underline{c} z zadanego zbioru G_0 i obliczenie N harmonogramów.

W trzecim przypadku wektor parametrów \underline{c} wyznaczał algorytm realizujący schemat programowania ewolucyjnego. Zastosowanie metody programowania ewolucyjnego polega na tym, że parametry reguł decyzyjnych każdorazowo po obliczeniu harmonogramu ulegają przekształceniom losowym. W procesie szukania utrwalane są te przekształcenia, które dają pozytywny wynik, czyli przystosowują reguły do coraz lepszej realizacji zadania.

Oznaczmy przez

$G(\underline{c})$ - otoczenie wektora parametrów \underline{c} ,

A_m - zbiór wektorów \underline{c} odpowiadających najlepszym rozwiązaniom otrzymanym podczas etapu m / $m = 0, 1, \dots$ / funkcjonowania algorytmu,

B_m - zbiór wektorów \underline{c} wylosowanych podczas etapu numer m ,

$Q(\underline{c})$ - wartość funkcji celu harmonogramu obliczonego dla wektora \underline{c} ; przyjęto, że określa ona liczbę szarż, których wykonanie jest uwzględnione w obliczonym harmonogramie dla ustalonego horyzontu planowania,

$\underline{c}^m = \arg \max Q(\underline{c}), \underline{c} \in A_m$.

Zastosowany algorytm ewolucyjnego szukania rozpoczynał działanie od wylosowania N_0 wyjściowych wektorów \underline{c} ze zbioru G_0 oraz obliczenia dla każdego z nich harmonogramu i odpowiadającej mu wartości funkcji celu $Q(\underline{c})$, a następnie zaliczeniu do zbioru A_0 1 najlepszych /w sensie wartości $Q(\underline{c})$ / wektorów \underline{c} , przy czym $Q(\underline{c}^0) = \max Q(\underline{c}), \underline{c} \in A_0$. Etap numer m / $m = 1, 2, \dots$ / funkcjonowania algorytmu ewolucyjnego szukania polega na realizacji następujących czynności. Algorytm losuje z otoczeń $G(\underline{c}), \underline{c} \in A_{m-1}$ wektory $\underline{c}_n, n = 1, 2, \dots, N_m$ /umieszczając je w zbiorze B_m / i oblicza harmonogramy tak długo, dopóki nie znajdzie wektora $\underline{c}^m = \underline{c}_{N_m}$, dla którego $Q(\underline{c}^m) > Q(\underline{c}^{m-1})$. Do zbioru A_m zostaje zaliczonych 1 N_m najlepszych wektorów \underline{c} ze zbioru $A_{m-1} \cup B_m$.

Jest to więc procedura wieloetapowa, podczas każdego etapu $m = 1, 2, \dots$ wybierane są wektory parametrów ze zbiorów $G(\underline{c}), \underline{c} \in A_{m-1}$ /zbiorów będących otoczeniem najlepszych rozwiązań etapu poprzedniego/ tak długo, dopóki nie zostanie znalezione rozwiązanie lepsze. W ten sposób liczba wyborów N_m na każdym etapie nie jest wcześniej określona oraz $Q(\underline{c}_m) > Q(\underline{c}_{m-1})$. Jako warunek zakończenia obliczeń przyjęto wygenerowanie zadanej liczby N harmonogramów, tj. $N = N_0 + N_1 + \dots + N_m + \dots$.

W pracy przyjęto, że zbiory $G_0, G(\underline{c}) \subset R^B$ są kostkami ośmiowymiarowymi o długościach krawędzi odpowiednio g_0 i g , przy czym środek kostki $G(\underline{c})$ znajduje się w punkcie \underline{c} . Eksperymenty obliczeniowe przeprowadzono dla trzech typowych programów produkcji ^{x/}. Poniżej przedstawiono wybrane wyniki obliczeń dla jednego zadania /dla pozostałych zadań otrzymano rezultaty podobne/.

W przypadku badania pierwszej metody optymalizacji stwierdzono, że planista ograniczał się do obliczenia $N = 20 + 30$ harmonogramów, przy czym wartość funkcji celu najlepszego z harmonogramów była mniejsza od liczby 380! Czas potrzebny planiście do otrzymania rozwiązania był wielokrotnie większy od czasu obliczeń za pomocą pozostałych metod dla $N=150$.

Metoda Monte Carlo - wyniki obliczeń Tabela 1

g_0	50	30	20	20	5
Q_{\max}	483	480	477	477	477
N_{\max}	118	71	125	63	8
$Q_{\text{śr}}$	221	214	208	188	166

Metoda ewolucyjnego szukania - wyniki obliczeń Tabela 2

g_0	50	50	30	30	20	20	10	10	5	5	5
g	10	50	10	5	10	5	5	5	10	5	5
N_0	20	5	20	20	20	20	20	10	20	20	10
Q_{\max}	485	498	475	475	488	475	481	486	488	477	484
N_{\max}	97	142	21	53	127	21	51	57	101	21	11
$Q_{\text{śr},0}/N_0$	$\frac{224}{20}$	$\frac{275}{5}$	$\frac{224}{20}$	$\frac{233}{20}$	$\frac{225}{20}$	$\frac{225}{20}$	$\frac{156}{20}$	$\frac{184}{10}$	$\frac{118}{20}$	$\frac{118}{20}$	$\frac{146}{10}$
$Q_{\text{śr},1}/N_1$	$\frac{234}{2}$	$\frac{270}{45}$	$\frac{369}{120}$	$\frac{373}{25}$	$\frac{350}{97}$	$\frac{343}{120}$	$\frac{375}{15}$	$\frac{301}{30}$	$\frac{165}{80}$	$\frac{230}{120}$	$\frac{178}{140}$
$Q_{\text{śr},2}/N_2$	$\frac{405}{37}$	$\frac{326}{80}$		$\frac{471}{9}$	$\frac{384}{23}$		$\frac{391}{4}$	$\frac{350}{17}$	$\frac{330}{50}$		
$Q_{\text{śr},3}/N_3$	$\frac{368}{38}$	$\frac{453}{7}$		$\frac{355}{95}$			$\frac{448}{11}$	$\frac{387}{93}$			
$Q_{\text{śr},4}/N_4$	$\frac{422}{53}$	$\frac{468}{13}$					$\frac{407}{103}$				

W Tabeli 1 przedstawiono wyniki obliczeń otrzymane za pomocą metody Monte Carlo dla $N = 150$, natomiast w Tabeli 2 wybrane wyniki otrzymane za pomocą algorytmu ewolucyjnego szukania dla $l = 5$, przy czym przez Q_{\max} oznaczono wartość funkcji celu dla najlepszego rozwiązania, N_{\max} numer

^{x/} Liczba badanych zadań była ograniczona kosztami.

kolejny najlepszego rozwiązania, Q_{sr} średnia wartość funkcji celu obliczona dla wszystkich N rozwiązań, $Q_{sr,m}$ średnia wartość funkcji celu dla rozwiązań etapu m .

Eksperyment obliczeniowy wykazał, że pierwsza z metod optymalizacji jest zdecydowanie gorsza, natomiast metoda druga jest praktycznie równoważna metodzie trzeciej.

LITERATURA

- [1] Kondratowicz L.: Modelowanie symulacyjne systemów. WNT, Warszawa 1978.
- [2] Koryczan W., Szymkat M., Wala K.: Problemy harmonogramowania produkcji polistyrenu. ZN AGH, Elektryfikacja i Mechanizacja Górnictwa i Hutnictwa, z.146, Kraków 1981.
- [3] Kowalowski H.: O preferowanych kierunkach badań podstawowych w automatyce i automatyzacji na tle potrzeb gospodarczych. ZN Pol. Śląskiej, Automatyka nr 73, Gliwice 1984
- [4] Wala K.: Problemy primienienija imitacjonnych algorytmow dla wycislenija kalendarnych planow dyskretnych proizwodstwiennych processow. Teorija słożnych sistem i metody ich modeliwowanija. Trudy seminaru, Moskwa, Wsesojuznyj Nauczno-Issledowatelskij Institut Sistiennych Issledowanij, 1982.

Recenzent: Prof. dr inż. Henryk Kowalowski

Wpłynęło do Redakcji do 30.03.1984r.

КАЛЕНДАРНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНФЕКЦИОНИРОВАНИЯ ПОЛИСТИРЕНА

Резюме

В работе представлен алгоритм предназначенный для вычисления допустимых календарных планов процесса конфекционирования полистирена а также обсуждены результаты исследования, касающиеся методов оптимизации календарных планов в пространстве параметров эвристик.

SCHEDULING OF POLYSTYRENE READY - MADE PROCESS

Summary

An algorithm for calculation of admissible schedules for polystyrene ready-made process is presented as well as the selected results of investigation connected with optimization methods for schedules in space of heuristics parameters are discussed.