ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990

Seria: AUTOMATYKA z.100 Nr kol.1082

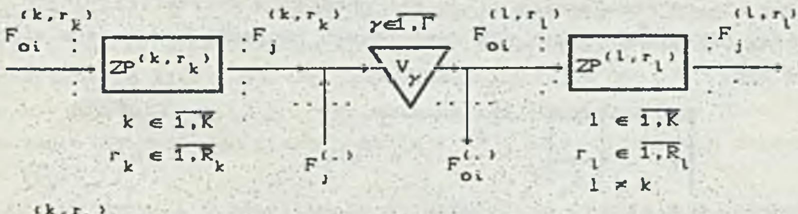
Longin Stolc,
Mirosław Kwiesielewicz
Politechnika Gdańska

METODA WIELOHORYZONTOWEGO STEROWANIA SYSTEMAMI PRODUKCYJNYMI W WARUNKACH NIEPEWNOŚCI

Streszczenie. W pracy przedstawiono metodę rozwiązania problemu sterowania systemem produkcyjnym przy zastosowaniu metody wielohoryzontowej z uwzględnieniem zakłóceń działających na system. Dla celów planowania proponuje się metody niedeterministycznego programowania liniowego (stochastyczne lub rozmyte), opracowane specjalnie dla tego celu. Ponadto przedstawia się przykładowy rozmyty model planowania produkcji dla rzeczywistego systemu produkcyjnego.

1. Wstęp

W pracy rozpatruje się klasę systemów produkcyjnych (SP), do której można zaliczyć zakłady rafineryjno-petrochemiczne. System taki przetwarza w przedziale czasu $[t, t+T]$ M surowców na N produktów. Składa się z K wzajemnie powiązanych zespołów produkcyjnych $ZP^{(k)}, k \in \overline{1,K}$. Każdy $ZP^{(k)}$ może pracować w R_k reżimach pracy różniących się między sobą wytwarzanymi produktami i przetwarzanymi surowcami ($ZP^{(k,r_k)}$, $k \in \overline{1,K}$, $r_k \in \overline{1,R_k}$), lub znajdować się w postoju. Surowce, produkty i półprodukty mogą być magazynowane. Schemat strukturalny SP przedstawiono na rys.1.



$F_{oi}^{(k,r_k)}$ – natężenie przepływu i-tego surowca do k-tego ZP pracującego w r_k-tym reżimie pracy.

$F_j^{(k,r_k)}$ – natężenie przepływu j-tego produktu z k-tego ZP pracującego w r_k-tym reżimie pracy.

V_γ – γ-ty magazyn.

Rys.1. Schemat strukturalny systemu produkcyjnego.
Fig. 1. Structural scheme of the production system.

Problem sterowania produkcją w SP polega na wyborze takich decyzji dopuszczalnych (natężenia przepływów mediów produkcyjnych, przełączenia reżimów pracy ZP, remonty itp.) kształtujących działalność SP w przedziale czasu $[t_o, t_o+T_p]$, przy których zadania stawiane SP realizowane są w sposób najlepszy [5].

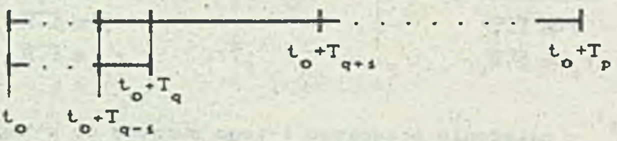
Wyznaczenie wszystkich decyzji w chwili t_o w postaci ich przebiegu w czasie dla $t \in [t_o, t_o+T_p]$ jest zadaniem praktycznie nierozwiązywalnym. Zadania produkcyjne dla całego systemu określane są przez podanie ilości poszczególnych produktów w określonych podprzedziałach przedziału czasu $[t_o, t_o+T_p]$ bez podawania warunków na ich przebieg w czasie [4,5]. Ponadto, ze względu na występowanie w SP zakłóceń losowych [4], których realizacji dla $t > t_o$ nie można przewidzieć dokładnie w chwili t_o, należy stosować predykcję zakłóceń. Predykcja ta, określona w chwili t_o, powinna być korygowana w miarę postępu czasu. Zakładając, że możliwość korekcji istnieje co Δt (w kolejnych chwilach czasowych $t_{\mu+1} = t_\mu + \Delta t$, $\mu = \overline{0,n-1}$, $\Delta t = T_p/n$), problem optymalnego sterowania można przedstawić [1,4,5]:

$$\max_{\substack{D(t_\mu) \in \mathcal{Z}(t_\mu) \\ t_\mu \in [t_o, t_o+T_p],\ \mu \in \overline{0,n-1}}} \{ Q(t_o, t_o+T_p) \} \tag{1}$$

gdzie: $D(t_\mu)$ – wektor decyzyjny wyznaczany w chwili t_μ,
$\mathcal{Z}(t_\mu)$ – zbiór rozwiązań dopuszczalnych definiowany w chwili t_μ,
Q – miara jakości realizacji zadań SP.

2. Metoda rozwiązania

Próby rozwiązania problemu optymalnego sterowania produkcją, ze względu na brak efektywnych metod bezpośredniego rozwiązania (1), doprowadziły do stosowania metody wielohoryzontowej [4]. W metodzie tej rozwiązanie (1) sprowadza się do rozwiązania ciągu p+1 problemów optymalizacyjnych, z których każdy definiowany jest dla częściowego horyzontu czasowego sterowania T_q, $q \in \overline{0,p}$.



Rys. 2. Częściowe horyzonty czasowe.
Fig. 2. Partial time horizons.

Podproblem dla częściowego horyzontu czasowego T_q można przedstawić:

$$\max_{\substack{D_q(t_\mu) \in \mathcal{Z}_q(t_\mu) \\ t_\mu \in [t_o, t_o+T_q],\ \mu \in \overline{0,n_q-1}}} \{ Q(t_o, t_o+T_q) \} \tag{2}$$

gdzie: $D_q(t_\mu)$ – wektor decyzyjny dla T_q wyznaczany w chwili t_μ
$\mathcal{Z}_q(t_\mu)$ – zbiór rozwiązań dopuszczalnych definiowany w chwili t_μ

w podproblemie częściowym dla T_q,

Q_q – miara jakości realizacji zadań SP dla T_q,

n_q – liczba przedziałów dyskretyzacji przedziału $[t_o, t_o+T_q]$ $(n_q = T_q/\Delta t_q)$.

Problemy dla częściowych horyzontów czasowych sterowania T_q powiązane są między sobą za pomocą warunków na wektor stanu SP w chwili t_o+T_q:

$$X_q(t_o+T_q) \in X^*_{q+1}(t_o+T_q) \tag{3}$$

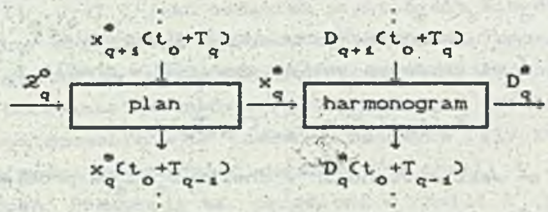
gdzie: $X_q(t_o+T_q)$ – wektor stanu SP w chwili t_o+T_q w problemie dla T_q,

$X^*_{q+1}(t_o+T_q)$ – wymagania na wektor stanu w chwili t_o+T_q określone przez rozwiązanie problemu dla T_{q+1}.

Problemy częściowe (2) rozwiązywane są szeregowo dla $T_p, T_{p-1}, \ldots, T_1, T_o$, przy czym $T_{q+1} > T_q$, $q \in \overline{0,p}$. Horyzont czasowy T_o związany jest z układami stabilizacji w procesach technologicznych i nie jest rozpatrywany w pracy. Wektor decyzyjny $D_q(t_\mu)$ składa się z istotnych dla danego horyzontu T_q składowych wektora $D(t_\mu)$ w problemie (1). Kryteria wyboru składowych wektora $D_q(t_\mu)$ z elementów wektora $D(t_\mu)$ podano w [5].
Modele matematyczne (2) budowane są podobnie jak model (1). Dąży się, aby modele (2) zawierały możliwie małą liczbę ograniczeń o możliwie prostej postaci, przedziały czasowe dyskretyzacji Δt_q były możliwie duże oraz aby wektor stanu $X_q(t_\mu)$ zawierał tylko istotne dla danego T_q składowe. Błędy predykcji zakłóceń są tym większe, im dłuższy jest horyzont czasowy T_q. W pracach [4,5] proponuje się dokonywać uproszczeń modeli, aż błędy uproszczeń nie przekroczą błędów predykcji. Oznacza to, że dla dłuższych horyzontów czasowych można przyjąć modele mniej złożone i większe wartości Δt_q.

Wektor decyzyjny $D_q(t_\mu)$ w problemie częściowym dla T_q można podzielić na decyzje o charakterze strukturalnym (np. przełączenia reżimów pracy ZP) oraz o charakterze liczbowym (np. określenie obciążeń ZP). W [1,5] proponuje się, aby dla T_q $(q \geq 1)$ problem rozwiązywać szeregowo (rys. 3):
- wyznaczenie optymalnego planu produkcji SP w podprzedziałach przedziału czasu $[t_o, t_o+T_p]$,
- wyznaczenie decyzji o charakterze strukturalnym w oparciu o rozwiązanie problemu planowania w SP.

Ponieważ modele (1), jak i (2) budowane są na podstawie predykcji zakłóceń, należy traktować je jako modele niedeterministyczne. Dalej przyjmuje się zgodnie z [1,8], że podproblem planowania opisany jest niedeterministycznym modelem liniowym (w zależności od danych stochastycznym lub rozmytym). Wyznaczenie planu produkcji sprowadza się do rozwiązania odpowiedniego zadania liniowego programowania niedeterministycznego. Ponieważ harmonogramy wyznaczane są za pomocą algorytmów programowania deterministycznego, rozwiązanie podproblemu planowania podlega modyfikacji w celu wyznaczenia rozwiązania zdeterminowanego z określoną miarą spełnienia warunków dopuszczalności (wierzchołek tworzony przez ograniczenia zdeterminowane lub rozwiązanie wewnątrz zbioru ograniczeń).



Rys. 3. Dekompozycja podproblemu dla T.
Fig. 3. Decomposition of subproblem for $^{q}T_{q}$.

3. Elementy metod liniowego programowania niedeterministycznego

Poniżej przedstawia się metody liniowego programowania niedeterministycznego opracowane dla najczęściej występującego w problemie planowania produkcji w SP przypadku z niedeterministycznym wektorem prawych stron zbioru ograniczeń [8].

Problem planowania można przedstawić w postaci:

$$\max_{x \in \mathscr{A}} \left\{ Q = c^T x \right\} ; \qquad \dim c = \dim x = n \tag{4}$$

$$\mathscr{A} : \begin{cases} A\, x \begin{Bmatrix} \le \\ = \\ \ge \end{Bmatrix} \tilde{b} \; ; & \dim \tilde{b} = m \\ x \ge 0 \; ; & \dim A = m \times n \end{cases}$$

gdzie $\tilde{b}$ jest wektorem niezdeterminowanym określonym przez:

- wektor wartości średnich i macierz kowariancji dla modelu stochastycznego ($\bar{b}$, cov(b)),
- wektory wartości średnich i punktów charakterystycznych dla modelu rozmytego [2] ($\tilde{b}_i = [\bar{b}_i, \alpha_i, \beta_i]$).

Oznaczmy wielkości otrzymane z rozwiązania (4) dla wartości średnich wektora $\tilde{b}$ ($b = \bar{b}$):

$\bar{x}_o$ - wektor zmiennych bazowych rozwiązania optymalnego,
Θ_o - zbiór indeksów zmiennych bazowych rozwiązania $\bar{x}_o$,
A_o - forma kanoniczna macierzy A dla rozwiązania $\bar{x}_o$,
A_Θ - macierz kwadratowa utworzona z kolumn bazowych macierzy A.

Podobnie dla innych rozwiązań bazowych (dopuszczalnych, lecz nie optymalnych) mamy oznaczenia: $\bar{x}_l$, Θ_l, A_l, A_{Θ_l}.

Zgodnie z przyjętymi oznaczeniami warunek dopuszczalności ma postać:

$$\tilde{x}_l = A_{\Theta_l}^{-1}\, \tilde{b} \ge 0 \tag{5}$$

gdzie $\tilde{x}_l$ jest wektorem niezdeterminowanym o wartości średniej

$$\bar{x}_l = A^{-1}_{\Theta_l} \bar{b} \tag{6}$$

oraz dla problemu stochastycznego

$$\mathrm{cov}(x_l) = A^{-1}_{\Theta_l} \mathrm{cov}(\tilde{b}) (A^{-1}_{\Theta_l})^T \tag{7}$$

i dla problemu rozmytego (określenie punktów charakterystycznych)

$$\tilde{x}_l = A^{-1}_{\Theta_l} \circ \tilde{b}, \qquad \forall_{\theta_i \in \Theta_l} \quad \tilde{x}_{\theta_i} = [\bar{x}_{\theta_l}, \alpha_{\theta_i}, \beta_{\theta_i}] \tag{8}$$

Wyznaczanie punktów charakterystycznych rozwiązania (8) podano w [2].
Jako miary dopuszczalności można przyjąć (warunek dopuszczalności (5)):
- problem stochastyczny [7,8]

$$\lambda = p(\Theta_l = \Theta_{dop}) = p(x \geq 0) = \int_0^{\infty} \ldots \int_0^{\infty} g_l(x_l)\, dx_{\vartheta_1} \ldots dx_{\vartheta_m} \tag{9}$$

- problem rozmyty [2,3]

$$\forall_{\theta_j \in \Theta_l} \quad \lambda_{\tilde{x}_{\theta_j}} = \frac{\int_0^{\infty} \mu_{x_{\theta_j}}(x)dx}{\int_{-\infty}^{\infty} \mu_{x_{\theta_j}}(x)dx}, \quad \lambda = \min_{\theta_j \in \Theta_l} \{ \lambda_{\tilde{x}_{\theta_j}} \} \tag{10}$$

gdzie $\mu_{\theta_j}(x)$ funkcja opisująca liczby rozmytej $\tilde{x}_{\theta_j}$.

Jeśli aktualne rozwiązanie bazowe dopuszczalne dla wartości średnich (rozwiązaniem startowym jest rozwiązanie optymalne) posiada zbyt małą miarę dopuszczalności (9) lub (10), należy przejść do następnego rozwiązania bazowego. Zasadę określania elementu centralnego można sformułować:
Zmienna, którą należy wprowadzić do nowego rozwiązania bazowego, jest zmienną osłabiającą ograniczenia niedeterministyczne w zagadnieniu prymalnym.
Oznaczmy:

$\Lambda_z \subset \{ 1,2,\ldots,m \}$ – zbiór indeksów ograniczeń niedeterministycznych ($\Lambda_z = \emptyset$ – problem zdeterminowany),

Λ_{az} – zbiór indeksów zmiennych osłabiających dodanych do ograniczeń niedeterministycznych.

Zbiór Λ_l zmiennych, które mogą być wprowadzone do nowego rozwiązania, jest określony:

$$\forall_{r \in \Lambda_l} \quad r \in \Lambda_{az} \wedge r \notin \Theta_l \tag{11}$$

Zmienną wprowadzaną do bazy (przypadek stochastyczny) wyznaczamy:

$$\max_{\substack{i \in \Lambda_z \\ r \in \Lambda_l}} \left\{ \frac{\mathrm{var}(b_i)}{\bar{b}_i} \right\} \rightarrow q \tag{12}$$

Element główny określamy (warunek dopuszczalności nowego rozwiązania):

$$\min_{\substack{i\in\langle 1...m\rangle \\ a_{jq}>0}} \left\{ \frac{x_{\theta_j}}{a_{jq}} \right\} + s,q \tag{13}$$

Reguły (12) i (13) można uzupełnić o warunek, aby nie eliminować z rozwiązania zmiennych bazowych osłabiających ograniczenie niedeterministyczne:

$$\theta_* \in \Theta_l \wedge \theta_* \notin \Lambda_{az} \tag{14}$$

W przypadku jeśli nie jest możliwe uzyskanie rozwiązania zdeterminowanego z wystarczająco dużą miarą dopuszczalności ((9) lub (10)), rozwiązania poszukuje się na dodatkowym ograniczeniu równościowym równoległym do funkcji celu. Ograniczenie to określone jest przez:

$$c^T x = \varkappa Q^{max} \tag{15}$$

gdzie: $\varkappa$ - mnożnik ograniczający wartość funkcji celu ($\varkappa < 1$),

Q^{max} - optymalna wartość funkcji celu otrzymana z rozwiązania problemu (4) dla wartości średnich $\bar{b}$.

Powyższe można określić:

- Wyznaczyć rozwiązanie x^* leżące na płaszczyźnie określonej przez (15) i jednocześnie spełniające ograniczenia $\mathscr{A}$ problemu (4) takie, aby (w przypadku stochastycznym) prawdopodobieństwo, że punkt x^* znajdzie się poza zbiorem rozwiązań dopuszczalnych, było minimalne.

W przypadku problemu rozmytego prawdopodobieństwo spełnienia warunków dopuszczalności zastępowane jest wartością zdefiniowaną jako iloczyn miar dopuszczalności określonych w (10).

4. ozmyty roczno-kwartalny model planowania produkcji zakładów nawozów fosforowych.

W celu ilustracji przedstawionej metody przedstawia się rozmyty model planowania produkcji dla zakładów nawozów fosforowych.

W modelu rozpatruje się zespoły produkcyjne związane z wytwarzaniem superfosfatu potrójnego. Na schemacie blokowym (rys. 4) przedstawiono linię technologiczną, w skład której wchodzą: wytwórnia kwasu fosforowego, pracująca w dwóch reżimach pracy ($ZP^{(1,1)}$ - fosforyt, $ZP^{(1,2)}$ - apatyt) oraz wytwórnia superfosfatu ($ZP^{(2,1)}$). Zakłada się, że modelowane są jedynie procesy produkcyjne z uwzględnieniem remontów i awarii, nie uwzględnia się gospodarki mediami pomocniczymi.

Zagadnienie planowania sformułowane jest dla horyzontu czasowego 1 rok z rozbiciem na kwartały. W stosowanych poniżej oznaczeniach ostatni dolny indeks odpowiada numerowi kwartału. W oznaczeniach magazynów uwzględniono ich stany na początku rozpatrywanego horyzontu czasowego sterowania. Zastosowane oznaczenia odpowiadają notacji stosowanej na rys. 1.

Przyjęto założenia oraz sposób konstrukcji modelu przedstawione w [6].

Funkcja celu określa zysk opisany różnicą pomiędzy wpływami ze sprzedaży produktów i kosztami surowców.

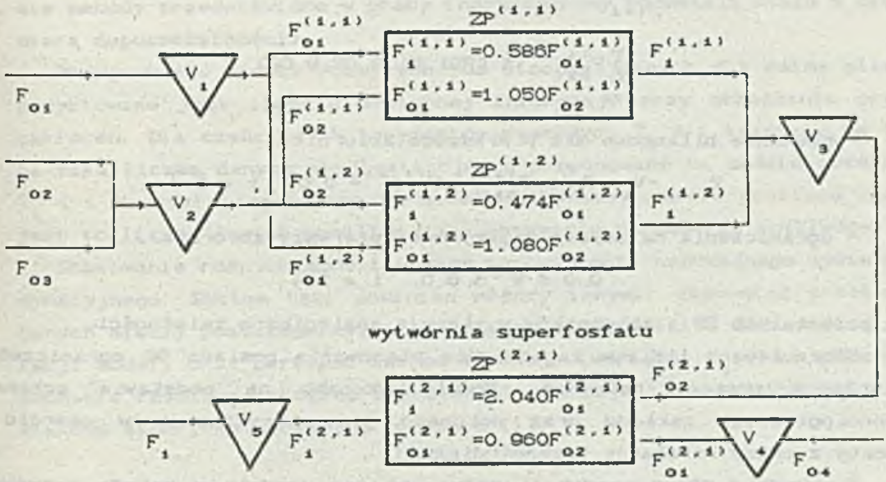
$$Q = \sum_{i=1}^{4} (115\, F_{1i} - 15\, F_{01i} - 173\, F_{02i} - 68\, F_{03i} - 86\, F_{04i}) \longrightarrow \max$$

Ograniczenia obejmują: zadania, charakterystyki oraz zdolności produkcyjne, równania bilansowe oraz ograniczenia na możliwości magazynowe. Zadania produkcyjne roczne formułuje się w postaci:

$$\sum_{i=1}^{4} F_{1i} \geq 265.22$$

przy czym formułowane są również zadania produkcyjne kwartalne.

Charakterystyki zewnętrzne ZP podano na rys. 4.



Rys. 4. Struktura zakładów nawozów fosforowych.
Fig. 4. Structure of the phosfates plant.

W modelu uwzględniono wpływ remontów kapitalnych i bieżących (związanych z awariami) na zdolności produkcyjne SP. Przeprowadzenie remontów kapitalnych nie powoduje wystąpienia elementów niedeterministycznych w modelu, ponieważ znane i ściśle określone są czasy ich trwania i chwile rozpoczęcia. Uwzględnia się je poprzez zmniejszenie wartości średnich, rocznych i kwartalnych zdolności produkcyjnych.

Remonty związane z awariami stanowią poważny problem w zagadnieniu sterowania produkcją zakładu. Nie jest znana dokładnie chwila ich rozpoczęcia i czas trwania, a wielkości te można jedynie oszacować. Ze względu na brak wystarczającej liczby danych do zastosowania modelu stochastycznego oraz specyfikę występujących zakłóceń, w modelu zastosowano opis rozmyty. Przyjmuje się, że wpływ remontów bieżących na zdolności produkcyjne SP można określić poprzez minimalne, średnie i maksymalne zdolności produkcyjne. W modelu zdolności produkcyjne traktuje się jako liczby rozmyte typu LR z wartością średnią odpowiadającą średnim zdolnościom produkcyjnym oraz lewo- i prawostronnymi rozrzutami, odpowiadającymi odpowiednio: minimalnym i maksymalnym wartościom zdolności produkcyjnych (zgodnie z (8)).

Poniżej przedstawiono wybrane zależności modelu:

- zdolności produkcyjne roczne dla wytwórni kwasu fosforowego,

$$\sum_{i=1}^{4}(F_{01i}^{(1,1)}+F_{01i}^{(1,2)}) \le (270.29, 8.37, 8.37)$$

$$\sum_{i=1}^{4}F_{02i}^{(1,1)} \le (284.60, 8.85, 8.90);$$

$$\sum_{i=1}^{4}F_{02i}^{(1,2)} \le (281.11, 9.02, 9.02)$$

- równanie bilansowe dla pierwszego zbiornika,

$$V_{1i+1} - V_{1i} - F_{01i} + F_{01i}^{(1,1)} + F_{01i}^{(1,2)} = 0.0 \quad i \in \overline{1,4}$$

- ograniczenia na zapasy magazynowe (pierwszy zbiornik),

$$0.0 \le V_{1i} \le 6.0 \quad i \in \overline{1,4}$$

Dla pozostałych ZP i zbiorników występują analogiczne zależności.

Sformułowane liniowe zagadnienie planowania posiada 98 ograniczeń, w tym 24 w postaci rozmytej. Model wykonano na podstawie schematu technologicznego zakładu oraz dokonano jego weryfikacji w oparciu o raporty z pracy istalacji technologicznej.

Wyznaczenie planu produkcji można wykonać zgodnie z metodą przedstawioną w rozdziale 3. W przypadku tym możemy uzyskać rozwiązanie deterministyczne z określoną przez (10) (a w przypadku stochastycznym (9)) miarą dopuszczalności rozwiązania. Przyjmując do realizacji rozwiązanie o większej mierze dopuszczalności (chociaż o mniejszej wartości średniej funkcji celu w porównaniu z problemem deterministycznym), zmniejsza się liczbę korekcji (ponowne przeliczanie planu produkcji oraz wyznaczanie harmonogramu).

5. Podsumowanie

Przedstawione metody programowania niedeterministycznego stosowane są w przypadku, kiedy występuje konieczność określania zdeterminowanego wektora decyzyjnego. Jeśli nie jest wymagane rozwiązanie deterministyczne, w pra-

cach [3,7,8] podano inne zasady wyboru elementu centralnego w celu poprawienia miary dopuszczalności rozwiązania. W przypadku tym do podproblemu dla T_{q-1} przekazywane jest rozwiązanie niedeterministyczne $\tilde{X}^{*}_{q}$ z podproblemu dla T_q (w zależności od opisu stochastyczne lub rozmyte).
Na podstawie parametrów rozkładu prawdopodobieństwa ($\overline{X}_q$, cov(X_q)) lub rozmycia ($\overline{X}_q$, α_q, β_q) tworzone są niedeterministyczne ograniczenia w następnym podproblemie planowania. Przypadek taki zachodzi najczęściej dla długich horyzontów czasowych planowania (nie występują zmienne strukturalne jak np. rozlokowanie reżimów pracy ZP). Stosowanie metod poprawiających miarę dopuszczalności, lecz nie dających rozwiązania zdeterminowanego, pozwala na korektę jedynie wartości wektora decyzyjnego przy zachowaniu jego struktury (zachowana zostaje struktura połączeń w SP). W zagadnieniach, w których występuje konieczność wyznaczania harmonogramów, bardziej przydatne wydają się metody przedstawione w pracy (harmonogramy pozostają stałe z określoną miarą dopuszczalności).

Przyjmowanie modeli rozmytych lub stochastycznych dla celów planowania podyktowane jest ilością dostępnej informacji przy określaniu predykcji zakłóceń. Dla częściowych horyzontów czasowych $T_q \geq 1$ kwartał, ze względu na małą liczbę danych eksploatacyjnych proponowane są modele rozmyte. Dla $T_q < 1$ kwartał proponowane są modele stochastyczne (w praktyce określone jest to liczbą danych umożliwiającą estymację parametrów rozkładów).

Stosowanie różnych modeli wymaga wprowadzenia nadrzędnego systemu koordynacyjnego. System taki powinien między innymi: zapewniać przekazywanie danych między poszczególnymi podproblemami, uzupełniać dane w celu weryfikacji modeli oraz określać zakres korekcji (wartości T_q, dla których należy ponownie rozwiązać problem sterowania). Funkcje takiego systemu oraz podstawowe algorytmy decyzyjne podano w [1].

Pracę przygotowano w ramach programu RP.I.02.

LITERATURA

[1] Cipkowski W., Kwiesielewicz M., Stolc L.: Multilevel-multihorizon control of production system in uncertain conditions. X Międzynarodowa Konferencja Systems Science, Wrocław 1989. - Systems Science, vol.17, no.2, 1991 (w druku).

[2] Kwiesielewicz M., Stolc L.: Solving linear programming problem with non-deterministic constraints fuzzy numbers arithmetic. Int. J. Systems Sci., vol.20, no.4, 1989.

[3] Kwiesielewicz M.: Badanie algorytmu programowania liniowego z rozmytymi prawymi stronami ograniczeń. Konferencja Resortowego Programu RP.I.02. Sielpia 1989.

[4] Milkiewicz F.: Problemy optymalizacji systemów produkcyjnych na przykładzie kombinatu rafineryjnego. Zesz. Nauk. Politechniki Gdańskiej. Elektryka XXII, 1968.

[5] Milkiewicz F.: Sformułowanie i koncepcja rozwiązania problemu sterowania produkcją i zbytem produktów. Archiwum Automatyki i Telemechaniki, tom XXV, zesz.4, 1980.

[6] Milkiewicz F.: Harmonogramowanie produkcji w pewnej klasie zakładów przemysłowych. Archiwum Automatyki i Telemechaniki, tom XXVI, zesz.1, 1981.

[7] Stolc L.: Metoda liniowego programowania stochastycznego w przypadku losowych ograniczeń dla wielohoryzontowej metody planowania obciążeń systemu produkcyjnego. Konferencja Resortowego programu RP.I.02, Sielpia 1989.

[8] Stolc L., Kwiesielewicz M.: Methods of non-deterministic linear programming in multihorizon system production control. Advances in Modeling & Simulation, vol.20, no.3, 1990 (w druku).

[9] Vajda S.: Probabilistic Programming. Academic Press, New York 1975.

Recenzent: Doc.dr h.inż.A.Swierniak

Wpłynęło do Redakcji do 1990-04-30.

METHOD OF MULTIHORIZON CONTROL OF PRODUCTION SYSTEMS UNDER UNCERTAIN CONDITIONS

S u m m a r y

A multihorizon method of solving a problem of a production system control, including disturbances influencing the system, is presented in this paper. The planning problems are solved using methods of non-deterministic linear programming (stochastic or fuzzy). An example fuzzy model for real production process is given.

МЕТОД МНОГОГОРИЗОНТАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ СИСТЕМАМИ В УСЛОВИЯХ НЕУВЕРЕННОСТИ

Р е з ю м е

В работе представлен способ решения промышленных систем при применении многогоризонтального метода с учетом возмущений, действующих на систему. Для целей планирования предлагаются методы недетерминированного линейного программирования (стохастического или размытого).