Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej Nr 30

XXI Seminarium

ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICE' 2011

Oddział Gdański PTETiS

Referat nr 25

CZYNNIKI KRYTYCZNE W OPERACYJNYM STEROWANIU SYSTEMAMI

Longin STOLC

Instytut Informatyki Stosowanej
PWSZ, ul. Wojska Polskiego 1,
82-300 Elbląg, tel: 055 239 8810,
fax: 055 2398810, e-mail: l.stolc@pwsz.elblag.pl

Streszczenie: W pracy omawiane jest zagadnienie badania krytycznych czynników w funkcjonowaniu systemu produkcyjnego w warunkach niepewności. Jako miarę określającą wartości krytyczne przyjęto miary dopuszczalności rozwiązań otrzymywanych w podproblemie planowania obciążeń systemu. Miary określane są w zależności od opisu niepewności w postaci przedziałowej, rozmytej czy też stochastycznej. W pracy ograniczono się do zagadnienia z modelem stochastycznym. W przypadku tym miarą dopuszczalności jest prawdopodobieństwo zachowania dopuszczalności przyjmowanego do realizacji rozwiązania bazowego liniowego wieloprzedziałowego problemu planowania obciążeń.

Słowa kluczowe: sterowanie systemami, analiza wrażliwości, niedeterministyczne programowanie liniowe.

1. WPROWADZENIE

Wartości liczbowe parametrów opisujących modele ma-tematyczne problemu sterowania określane są na podstawie predykcji. Do podstawowych zakłóceń działających na SP można zaliczyć [4]:

1. realizację odbioru produktów,
2. realizację dostaw środków transportowych,
3. dostawy surowców,
4. dostawy mediów pomocniczych,
5. wskaźniki jakości mediów podstawowych i pomocniczych,
6. długości przedziałów czasowych postojów remontowych,
7. awarie w ZP i ZE.

Uwzględnienie w modelu matematycznym niepewności predykcji wymaga budowy niedeterministycznego modelu optymalizacyjnego. W modelu tym wartości określane na podstawie predykcji określane są przez wartości niedeter-ministyczne. W przypadku, gdy parametry modelu są niedeterministyczne, to wektor rozwiązania jest również niedeterministyczny. W zależności od sposobu opisu niepewności, co jest zależne od dostępnych danych, rozwiązanie przyjmie postać stochastyczną, rozmytą bądź przedziałową [7,8].

Traktując rozwiązanie jako niedeterministyczne należy zastanowić się, które elementy systemu produkcyjnego są najbardziej narażone na niespełnienie warunków dopuszczalności sterowania.

W przedstawianej pracy przyjmuje się, że problem ste-rowania dla średnich horyzontów czasowych (sterowanie operacyjne [1,3,14]) rozwiązywany jest przy podejściu wielohoryzontowym z przedziałowym podziałem poszczegól-nych częściowych horyzontów czasowych sterowania [3,4].

Analizując poszczególne podokresy czasowe należy odpowiedzieć na pytania:

Który podprzedział czasowy jest krytyczny, czyli plan obciążeń i wynikający z niego wektor sterowań ma najmniejsze szanse realizacji?

Który proces technologiczny jest najbardziej wrażliwy na zakłócenia i wymaga szczególnej dbałości o parametry technologiczne?

Który węzeł technologiczny ma wysokie ryzyko przekroczenia istniejących możliwości magazynowych?

2. PROBLEM OPERACYJNEGO STEROWANIA SYSTEMEM PRODUKCYJNYM

Problem sterowania produkcją w SP polega na wyborze takich dopuszczalnych decyzji kształtujących działalność SP w przedziale czasu $[t_0 , t_0+T_p]$, przy których stawiane SP zadania realizowane są w sposób możliwie najlepszy. Problem ten można przedstawić [2,3,4]:

$$\max_{\substack{\mathbf{d}(t)\in \mathrm{Z} \\ t\in[t_0,\, t_0+T_p]}} \left\{Q\left(t_0,\, t_0+T_p\right)\right\} \tag{1}$$

gdzie:

$\mathrm{d}(t)$	–	wektor decyzyjny w chwili t,
$\mathbf{Z}$	–	zbiór rozwiązań dopuszczalnych dla $\mathrm{d}(t)$, określony przez zadania dla SP w czasie $[t_0 , t_0+T_p]$ oraz charakterystyki SP,
$Q(t_0, t_0+T_p)$	–	miara jakości realizacji zadań przyjmowana powszechnie jako zysk osiągany przez SP w czasie $[t_0 , t_0+T_p]$.

Rodzaje decyzji kształtujących działalność SP tworzących wektor decyzyjny $\mathbf{d}$ podano w tabeli 1. (przykładowe wartości Δt_{d_i} oraz $\Delta \tau_{d_i}$).

Recenzent: Dr hab. inż. Kazimierz Duzinkiewicz – Wydział Elektrotechniki i Automatyki Politechnika Gdańska

Tabela 1. Przykładowe decyzje w działaności SP z [3]:

Lp	Rodzaj decyzji	Δt_{d_i}	$\Delta \tau_{d_i}$
1	Wybór kwartałów, w których mają być wykonane remonty	K	K
2	Wyznaczenie terminów rozpoczęcia i zakończenia remontów	M	M
3	Akceptacja zamówień na produkty	K, M	K, M
4	Zamówienia środków transporto-wych dla ekspedycji produktów	M, D	M, D
5	Rozlokowanie poszczególnych reżi-mów pracy ZP i ZE w czasie	M, D, d	M, D, d
6	Obciążenie poszczególnych ZP w poszczególnych reżimach pracy	D, d	D, d
7	Nastawy wielkości sterujących w poszczególnych reżimach pracy	„0”	„0”

Decyzje podane w tabeli dotyczą najczęściej pewnych przedziałów czasowych nazywanych zgodnie z [2,3,4] przedziałami ważności decyzji Δt_{d_i} , przy czym powinny być one podejmowane z pewnym wyprzedzeniem $\Delta \tau_{d_i}$. Podane w tabeli 1 wartości: K-kwartał, M-miesiąc, D-dekada, d-doba przedstawiają wartości przykładowe i w zależności od rozpatrywanego SP mogą być inne.

Wyznaczenie wszystkich decyzji w chwili t_0 w postaci ich przebiegu w czasie dla całego przedziału $[t_0 , t_0+T_p]$ jest zagadnieniem praktycznie nierozwiązywalnym. Zadania produkcyjne dla całego SP definiowane są przez podanie ilości poszczególnych produktów zagregowanych w określonych podprzedziałach przedziału czasu $[t_0 , t_0+T_p]$ bez podawania warunków na ich przebieg w czasie [3,4,5]. Ponadto, ze względu na występowanie w SP zakłóceń, których realizacji dla $t > t_0$ nie można przewidywać dokładnie w chwili t_0, należy stosować predykcję zakłóceń. Predykcja określona w chwili t_0 powinna być korygowana w miarę postępu czasu. Zakładając, że możliwość korekcji istnieje co Δt (w kolejnych chwilach czasowych $t_{\mu+1} = t_\mu + \Delta t$, $\mu = 0, \ldots, n-1$, $\Delta t = T_p/n$) problem optymalnego ste-rowania (1) można zapisać [4,5]:

$$\max_{\substack{\mathbf{d}_\mu \in Z(t_\mu) \\ t_\mu \in [t_0,\, t_0+T_p],\ \mu \in \overline{1, n-1}}} \left\{ Q\left(t_0, t_0+T_p\right) \right\} \tag{2}$$

gdzie:

$\mathbf{d}_\mu$ – wektor decyzyjny wyznaczany w chwili t_μ,

$\mathbf{z}(t_\mu)$ – zbiór wartości dopuszczalnych dla wektora decyzyjnego $\mathbf{d}_\mu$ w chwili t_μ.

Decyzje, które należy wyznaczyć w problemie sterowania SP można podzielić na decyzje o charakterze strukturalnym (dotyczące np. przełączeń reżimów pracy ZP i ZE) czy o charakterze wartościowym (określenie obciążeń SP, rozpływu mediów itp.). Zakładając, że modele można opisać przy pomocy zależności statycznych otrzymuje się w ogólnym przypadku modele mieszanego programowania nieliniowego. Ze względu na brak efektywnych metod umożliwiających jego rozwiązanie w pracach [4,5] proponuje się sprowadzenie problemu optymalizacyjnego dla częściowego horyzontu czasowego sterowania T_q ($q \geq 1$) do szeregowego rozwiązania dwóch różnych podproblemów:

- podproblem wyznaczania wielkości o charakterze wartościowym – określenie optymalnych planów produkcji SP w podprzedziałach przedziału czasu $[t_0 , t_0+T_q]$,
- podproblem wyznaczania decyzji o charakterze strukturalnym w oparciu o rozwiązanie podproblemu planowania w SP.

Podobne rozbicie problemu optymalizacyjnego przy wyzna-czaniu harmonogramu przełączeń reżimów pracy ZP przy-jęto w [2]. Rozwiązanie pierwszego z wymienionych pod-problemów sprowadzane jest do rozwiązania odpowiedniego zadania liniowej optymalizacji statycznej.

3. PROBLEM OPERACYJNEGO STEROWANIA SYSTEMEM PRODUKCYJNYM

Jak wspomniano w p.2 rozwiązanie problemu operacyjnego sterowania z konieczności przeprowadzane jest szeregowo, gdzie podstawą dalszego postępowania jest rozwiązanie podproblemu planowania obciążeń formułowanego w postaci statycznego problemu liniowego.

Ogólnie dla danego horyzontu czasowego sterowania T_q problem planowania obciążeń systemu można przedstawić (standardowa postać zagadnienia programowania liniowego z równościowymi i nierównościowymi ograniczeniami):

$$\max_{\tilde{\mathbf{x}}_q \in A_q} \left\{ Q_q = (\mathbf{c}_q)^T \tilde{\mathbf{x}}_q \right\}$$
$$A_q : \begin{cases} \tilde{\mathbf{A}}_q \tilde{\mathbf{x}}_q \begin{Bmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{Bmatrix} \tilde{\mathbf{b}}_q \\ \tilde{\mathbf{x}}_q \geq \mathbf{0} \end{cases} , \tag{3}$$

Należy nadmienić, że dla zmiennych decyzyjnych w za-gadnieniu planowania obciążeń (stany zapasów, strumienie surowców półproduktów i produktów) zawsze wymagany jest warunek nieujemności, co stanowi podstawowe założenie dla algorytmów programowania liniowego. W formułowaniu zagadnienia (3) nie ma zatem potrzeby wprowadzania ograniczeń na nieujemność stanów zapasów czy strumieni mediów produkcyjnych (rozwiązanie zagadnienia (3) jeśli istnieje, warunek ten zawsze spełnia).

Inną cechą zagadnienia optymalizacyjnego jest specyficzna struktura ograniczeń charakterystyczna dla problemów modelowania systemów.

Niech poszczególnym podokresom w $[t_{\nu-1}, t_\nu]$ odpowiadają wektory rozwiązania $\mathbf{x}_{q,\nu}$ oraz wektory cen $\mathbf{c}_{q,\nu}$. Wektor rozwiązania oraz wektor cen przy rozbiciu $[t_o, t_o+T_q]$ na podprzedziały $[t_{\nu-1},t_\nu]$ w problemie (3) otrzyma postać:

$$\max_{\mathbf{x}_q \in A_q} \left\{ Q_q = (\mathbf{c}_q)^T \tilde{\mathbf{x}}_q = \begin{bmatrix} \mathbf{c}_{q,1} \\ \vdots \\ \mathbf{c}_{q,\nu} \\ \vdots \\ \mathbf{c}_{q,n_q} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{x}}_{q,1} \\ \vdots \\ \tilde{\mathbf{x}}_{q,\nu} \\ \vdots \\ \tilde{\mathbf{x}}_{q,n_q} \end{bmatrix} \right\}$$

$$A_q : \begin{cases} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{A}}^o_{q,1} & \cdots & \tilde{\mathbf{A}}^o_{q.\nu} & \cdots & \tilde{\mathbf{A}}^o_{q,n_q} \\ \tilde{\mathbf{A}}_{q,1} & \cdots & \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{0} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \cdots & \tilde{\mathbf{A}}_{q,\nu} & \cdots & \mathbf{0} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{0} & \cdots & \tilde{\mathbf{A}}_{q,n_q} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{x}}_{q,1} \\ \vdots \\ \tilde{\mathbf{x}}_{q,\nu} \\ \vdots \\ \tilde{\mathbf{x}}_{q,n_q} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \le \\ = \\ \ge \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{b}}^o_q \\ \tilde{\mathbf{b}}_{q,1} \\ \vdots \\ \tilde{\mathbf{b}}_{q,\nu} \\ \vdots \\ \tilde{\mathbf{b}}_{q,n_q} \end{bmatrix} \\ \tilde{\mathbf{x}}_q = \left[(\tilde{\mathbf{x}}_{q,1})^T \ \cdots \ (\tilde{\mathbf{x}}_{q,\nu})^T \ \cdots \ (\tilde{\mathbf{x}}_{q,n_q})^T \right]^T \ge \mathbf{0} \end{cases} \quad (4)$$

Rozpatrując zagadnienie (4) jako problem niedeterministycz-ny otrzymujemy rozwiązanie również w postaci niedetermi-nistycznej.

Rozwiązanie przybliżone w otoczeniu wartości preferowa-nych (np. średnich) w zadaniu (4) można przedstawić:

$$\begin{cases} \tilde{\mathbf{A}}(*)\,\tilde{\mathbf{x}} = \tilde{\mathbf{b}} \to \tilde{\mathbf{A}}^*(*)\,\tilde{\mathbf{x}} = \tilde{\mathbf{b}}^* \\ \tilde{\mathbf{A}}^* = \left(\hat{\mathbf{A}}^{-1}(*)\,\tilde{\mathbf{A}}\right) = \tilde{\mathbf{1}}_m \\ \tilde{\mathbf{b}}^* = \hat{\mathbf{A}}^{-1}(*)\,\tilde{\mathbf{b}} \end{cases}, \quad (5)$$

gdzie $\tilde{\mathbf{A}}$ jest macierzą utworzoną z kolumn bazowych macierzy $\tilde{\mathbf{A}}_q$ rozwiązania zagadnienia (4) dla wartości preferowanych $\hat{\mathbf{A}}$ (w zagadnieniu stochastycznym $\hat{\mathbf{A}} = \overline{\mathbf{A}}$).

Wartości preferowane dla zagadnień rozmytych czy przedziałowych podano w [12].

Na podstawie (5) mamy:

$$\overline{\mathbf{A}}^{-1}\tilde{\mathbf{A}} = \tilde{\mathbf{A}}^*, \qquad \overline{\mathbf{A}}^{-1}\tilde{\mathbf{b}} = \tilde{\mathbf{b}}^*. \quad (6)$$

Ponieważ macierz $\overline{\mathbf{A}}^{-1}$ jest nieosobliwa (stanowi element rozwiązania dopuszczalnego dla wartości preferowanych zagadnienia programowania liniowego) oraz przekształcenie jest liniowe mamy:

Dla wartości średnich (preferowanych):

$$\overline{\mathbf{A}}^{-1}\hat{\mathbf{A}} = \mathbf{1}, \qquad \overline{\mathbf{b}}^* = \overline{\mathbf{A}}^{-1}\hat{\mathbf{b}}, \quad (7)$$

oraz dla macierzy kowariancji:

$$\mathrm{cov}(\tilde{\mathbf{b}}^*) = \overline{\mathbf{A}}^{-1}\,\mathrm{cov}(\tilde{\mathbf{b}})\left(\overline{\mathbf{A}}^{-1}\right)^{\mathrm{T}} \quad (8)$$

i

$$\mathrm{cov}(\tilde{\mathbf{A}}^*) = \mathbf{T}\,\mathrm{cov}(\tilde{\mathbf{A}})\mathbf{T}^{\mathrm{T}}. \quad (9)$$

Jeśli macierz kowariancji macierzy $\tilde{\mathbf{A}}$ zapisana jest w postaci korelacji wierszami, wówczas macierz prze-kształcenia $\mathbf{T}$ jest iloczynem tensorowym [13]:

$$\mathbf{T} = \overline{\mathbf{A}}^{-1} \otimes \mathbf{1}_m = \begin{bmatrix} \overline{a}^{(-1)}_{11}\mathbf{1}_m & \cdots & \overline{a}^{(-1)}_{1j}\mathbf{1}_m & \cdots & \overline{a}^{(-1)}_{1m}\mathbf{1}_m \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{a}^{(-1)}_{i1}\mathbf{1}_m & \cdots & \overline{a}^{(-1)}_{ij}\mathbf{1}_m & \cdots & \overline{a}^{(-1)}_{im}\mathbf{1}_m \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{a}^{(-1)}_{m1}\mathbf{1}_m & \cdots & \overline{a}^{(-1)}_{mj}\mathbf{1}_m & \cdots & \overline{a}^{(-1)}_{mm}\mathbf{1}_m \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Definicje miar dopuszczalności rozwiązania dla zagadnień niedeterministycznych przedstawiono w [7,8,9,10,11]. Metody i algorytmy ich wyznaczania omówiono w pracach [12] (zagadnienia rozmyte i przedziałowe) oraz [13] (zagadnienia stochastyczne).

W zagadnieniu (4) dla modelu stochastycznego miara dopuszczalności określona jest jako [13]:

$$p(\tilde{\mathbf{x}} \ge \mathbf{O}) = \int_0^\infty \ldots \int_0^\infty f(\tilde{\mathbf{x}})dx_{\nu_1}..dx_{\nu_m} \quad (11)$$

gdzie:

$f(\tilde{\mathbf{x}})$ – funkcja gęstości rozkładu prawdopodobieństwa wektora $\tilde{\mathbf{x}}$,

ν_m – liczba zmiennych bazowych rozwiązania (4) dla pod podokresu ν-tego.

W przypadku zagadnień o wielkim wymiarze, funkcja gęstości jest w przybliżeniu wielowymiarowym rozkładem normalnym o parametrach określonych w [10,13].

3.1. Zagadnienie dla podprzedziału czasowego

Rozpatrując zagadnienia cząstkowe (przyjmując kolejno dla poszczególnych podprzedziałów wartości oczekiwane otrzymane z (5)) wyznacza się miary dopuszczalności rozwiązania dla kolejnych podprzedziałów czasowych.

Niech jest dany układ równań bazowych z rozwiązania (4) dla ν-tego podprzedziału czasowego:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}^0_\nu \\ \mathbf{A}_\nu \end{bmatrix} \times \mathbf{x}_\nu = \mathbf{b}_\nu. \quad (12)$$

Gdzie macierze $\mathbf{A}_\nu$, $\mathbf{A}^0_\nu$ oraz wektor $\mathbf{x}_\nu$ utworzone zostały z bazowych kolumn macierzy współczynników w (4) (w tym i zmienne osłabiające wprowadzane do ograniczeń nierównościowych) odpowiadających ν-temu podprze-działowi oraz wierszy odpowiadających zmiennym bazo-wym badanego podokresu. Wektor $\mathbf{x}_\nu$ zawiera jedynie zmienne bazowe rozwiązania. Pozostałe zmienne rozwiązania przyjmują wartości otrzymane dla wartości średnich z rozwiązania (4). Postępując analogicznie jak dla całego zagadnienia (5) – (10) mamy:

$$\lambda_\nu = P(\tilde{\mathbf{x}}_\nu \ge \mathbf{0}) = \int_0^\infty \ldots \int_0^\infty f_\nu(\tilde{\mathbf{x}}_\nu)dx_{\nu_1}..dx_{\nu_m}, \quad (13)$$

gdzie:

ν_m – liczba zmiennych bazowych rozwiązania (4) dla ν-tego podokresu.

Macierz kowariancji w zagadnieniu (12) tworzona jest z elementów macierzy $\mathrm{cov}(\tilde{\mathbf{A}}^*)$ odpowiadających wierszom i kolumnom zmiennych bazowych zagadnienia dla ν-tego podprzedziału. Rozkład prawdopodobieństwa wektora rozwiązania powstaje jako wielowymiarowy rozkład bezwarunkowy.

Krytycznym przedziałem czasowym sterowania ν jest przedział o minimalnej mierze dopuszczalności:

$$\nu_{kryt} \leftarrow \min_{\lambda_\nu \in \overline{1,n_q}} \{\lambda_\nu\} = \min_{\lambda_\nu \in \overline{1,n_q}} \{p_\nu = P(\widetilde{\mathbf{x}}_\nu \geq \mathbf{0})\}. \quad (14)$$

3.2. Zagadnienie dla zmiennych rozwiązania

Podobnie rozpatrując poszczególne zmienne bazowe rozwiązania określone dla podokresu ν wyznacza się na podstawie lokalnych miar dopuszczalności [7] krytyczne zmienne rozwiązania bazowego, co określa krytyczne zmienne stanu systemu oraz strumienie mediów produkcyjnych w badanym podokresie.

Oznaczmy dalej zbiory Λ_ν, Λ_z, Λ_m, Λ_p oraz Λ_r indeksów zmiennych bazowych dla ν-tego podprzedziału:

- Λ_ν – zbiór indeksów zmiennych bazowych rozwiązania dla ν-tego popodprzedziału,
- Λ_z – zbiór indeksów zmiennych określających stany zapasów ,
- Λ_m – zbiór indeksów zmiennych określających możliwości magazynowe,
- Λ_p – zbiór indeksów zmiennych określających możliwości produkcyjne,
- Λ_r – zbiór indeksów zmiennych określających stan realizacji zadań.

Dla zbiorów tych zachodzi:

$$\Lambda_z \cup \Lambda_m \cup \Lambda_p \cup \Lambda_r = \Lambda_\nu , \quad (15)$$

oraz

$$\begin{aligned} &\Lambda_z \cap \Lambda_m = \Lambda_z \cap \Lambda_p = \Lambda_z \cap \Lambda_r = \Lambda_m \cap \Lambda_p = \\ &= \Lambda_m \cap \Lambda_r = \Lambda_p \cap \Lambda_r = \varnothing \end{aligned} . \quad (16)$$

Określmy dla każdej zmiennej rozwiązania bazowego na podstawie rozkładów brzegowych miary dopuszczalności rozwiązania:

$$\forall_{i \in \Lambda_z} \lambda_i = P(x_i \geq 0), \quad (17)$$

i dalej:

$$i_{kryt} \leftarrow \max_{i \in \Lambda_z} \{\lambda_i = P(x_i \geq 0)\}. \quad (18)$$

Jeśli $i_{kryt} \in \Lambda_z$ wówczas najbardziej niebezpiecznym dla funkcjonowania systemu w rozpatrywanym podprzedziale czasu jest stan zapasów określony i_{kryt}-tą zmienną bazową rozwiązania (istnieje duże ryzyko wystąpienia braku dopuszczalności sterowania systemem wskazane są zmiany w gospodarce zapasami.

Jeśli $i_{kryt} \in \Lambda_m$ wówczas w węźle produkcyjnym związanym z badaną zmienną bazową rozwiązania istnieje duże prawdopodobieństwo przepełnienia zbiorników produktowych. Wskazane jest dokonanie przełączeń jednostek magazynowych [7,11] lub zmiana polityki gospodarki produktami (np. zwiększenie ekspedycji).

Jeśli $i_{kryt} \in \Lambda_p$ wówczas zespoły produkcyjne związane z badaną zmienną wymagają szczególnej dbałości o parametry technologiczne oraz eksploatacyjne w celu zapewnienia ciągłości procesów technologicznych.

Jeśli $i_{kryt} \in \Lambda_r$ wówczas mamy do czynienia z ryzykiem nie wywiązania się ze zobowiązań wobec kontrahentów. Należy liczy się z możliwością renegocjacji umów.

W pracy z konieczności ograniczono się jedynie do zarysu problemu jak i metod oraz algorytmów jego rozwiązania. Algorytmy opracowano zarówno dla zagadnień stochastycznych jak i rozmytych i przedziałowych. W przypadkach mieszanych (przedziałowe i rozmyte) zagadnienia sprowadza się do rozmytych, gdzie funkcje przynależności dla parametrów przedziałowych przyjmuje się jako rozmycie płaskie. W przypadkach mieszanych z częściowymi parametrami stochastycznymi, zagadnienie sprowadza się do postaci przybliżonej stochastycznej.

W przypadkach działania systemu w warunkach niepewności (dla istniejących a nie projektowanych systemów) alternatywnym podejściem może być sterowanie nadążne produkcją omówione w [14].

Innym problemem związanym z omawianą tematyką jest możliwość symulacji działania systemu dla wyznaczonych sterowań jeszcze przed wdrożeniem i ewentualną korektą sterowania. Zagadnienia symulacji systemów złożonych przedstawiono w [5,6].

BIBLIOGRAFIA

1. Findeisen W.: *Struktury sterowania dla złożonych systemów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997.
2. Milkiewicz F.: Sformułowanie i koncepcja rozwiązania problemu sterowania produkcją i zbytem produktów, *Archiwum Automatyki i Telemechaniki*, t.XXV, nr 4, 1980, s.453-471.
3. Milkiewicz F.: Harmonogramowanie produkcji w pewnej klasie zakładów przemysłowych, *Archiwum Automatyki i Telemechaniki*, t.XXVI, nr 1, 1981, s.18-27.
4. Milkiewicz F.: *Sterowanie systemami produkcyjnymi*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2004.
5. Rybarczyk D.: Symulator złożonych systemów produkcyjnych, Cz.2 Bazowe części składowe systemu symulacyjnego, *XVI Krajowa Konferencja Automatyki KKA'08*, Szczyrk 2008.
6. Rybarczyk D., Stolc L.: Symulator złożonych systemów produkcyjnych, Cz.1 Zastosowania symulacji w sterowaniu systemami produkcyjnymi, *XVI Krajowa Konferencja Automatyki KKA'08*, Szczyrk 2008.
7. Stolc L.: Określanie przełączeń w zespołach magazynujących poprawiających dopuszczalność sterowania systemem produkcyjnym w warunkach niepewności z zastosowaniem metody wielohoryzontowej, *Zesz. Nauk. Politechniki Śląskiej, Automatyka* z.109, s.265-276, Gliwice 1992.
8. Stolc L.: Specifing a range of changes for a solution in the non-deterministic linear programming problem. *Adv. in Modeling and Analysis*, vol.14, no.4, 1992, pp.41-53.
9. Stolc L.: Wrażliwość strukturalna w niektórych liniowych problemach decyzyjnych. *Zesz. Nauk. Wydz. Elektrotech. i Automat. Pol. Gda*, z.10, 1996, s.25-32.

10. Stolc L.: The method of solving linear stochastic problems with random left and right hand sides of constraints. *Advances in Modeling and Analysis*, vol.31, no.2, 1997, pp.15-28.
11. Stolc L.: Sterowanie systemem produkcyjnym w warunkach niepewności z możliwością zmian strukturalnych, *Zesz. Nauk. Pol. Gdańskiej, Automatyka i Robotyka*, t.II, nr 590, s.21-37, 2002.
12. Stolc L.: Niedeterministyczne układy równań w analizie sterowania systemami produkcyjnymi, Cz. 1. Liniowe zagadnienia przedziałowe i rozmyte, *XV Krajowa Konferencja Automatyki KKA'05*, Warszawa 2005, materiały t. 2, s. 65-70.
13. Stolc L.: Niedeterministyczne układy równań w analizie sterowania systemami produkcyjnymi, Cz. 1. Liniowe zagadnienia przedziałowe i rozmyte, *XV Krajowa Konferencja Automatyki KKA'05*, Warszawa 2005, materiały t. 2, s. 65-70.
14. Zaborowski M.: *Operatywne sterowanie produkcją*, Wyd. Pol. Śląskiej, Gliwice 1983.
15. Zaborowski M.: *Nadążne sterowanie produkcją*, Wyd. Pol. Śląskiej, Gliwice 2003.

CRITICAL FACTORS IN OPERATIONAL CONTROL SYSTEMS

Key-words: control systems, sensitivity analysis, nondeterministic linear programming.

Summary: The work in question is the issue of examination of the critical factors in the functioning of the production system in conditions of uncertainty. As far as defining critical limits were adopted measure the acceptability of the solutions obtained in problems planning burden system. Measurement shall be determined according to the description of the uncertainties in the form multipartial fuzzy and stochastic optimization. The work was limited to issues with stochastic model in the case of the measure of acceptability is likely to preserve the acceptability of having entered into the implementation of the solution's base line multipartial problem planning burdens