

ANDRZEJ URBANIAK

POLITECHNIKA POZNAŃSKA
INSTYTUT AUTOMATYKI

DIALOGOWY ALGORYTM WIELOKRYTERIALNEGO WYBORU STRATEGII ROZWOJU SYSTEMU ZAOPATRZENIA W WODĘ

Streszczenie. Przedstawiono metodę rozwiązywania wielokryterialnych zadań programowania matematycznego opracowaną dla przypadku gdy parametry problemu traktowane są jako zmienne losowe o znanych funkcjach gęstości. Wskazano i uzasadniono konieczność takiego podejścia w problemach wyboru strategii rozwoju systemów zaopatrzenia w wodę i ochrony wód. Powyższą metodę zilustrowano na wybranym przykładzie.

1. Wstęp

Wybór strategii rozwoju systemu zaopatrzenia w wodę i ochrony wód traktowany jest jako podstawowy element prawidłowego procesu tworzenia systemu [3]. Określa się w nim głównie założenie projektowe dla całego systemu.

Zakres koniecznych prac badawczych określony został między innymi w raporcie American Water Works Association [5]. Główne kierunki badań zdaniem autorów raportu winny koncentrować się wokół następujących zagadnień.

1. Zastosowanie modeli rozwoju w praktyce,
2. Modelowanie istotności opłat,
3. Projektowanie zunifikowanych systemów,
4. Wykorzystanie modeli sieciowych,
5. Modelowanie problemów rozwoju w warunkach niepewności.

W pracy prezentuje się wyniki badań dotyczących formułowania i rozwiązywania problemów rozwoju systemów zaopatrzenia w wodę i ochrony wód w przypadku gdy parametry problemu opisywane są jako zmienne losowe o znanych konkretnych funkcjach gęstości. Prace prowadzone były w ramach programu badawczego PR-7 i szczegółowe rezultaty przedstawiono w pracy [9].

Przedstawiono też wielokryterialne podejście do rozwiązania problemu, w którym parametry niepewne i niedokładne problemu modelowano za pomocą zbiorów rozmytych [7]. Sformułowane pierwotne zadanie wielokryterialnego programowania liniowego z rozmytymi współczynnikiem (WRPL) transferuje się do zadania wielokryterialnego programowania iloczynowego w oparciu o metodę Charnosa-Cooper'a.

Dla poszczególnych kryteriów decydent podaje rozmaite poziomy aspiracji. Poszukiwanie rozwiązania zadania WRPL polega, ogólnie mówiąc, na wyznaczeniu wektora zmiennych decyzyjnych zapewniającego "najlepszą zgodność" między poziomami aspiracji a funkcjami celu i spełniającego ograniczenia z zadaną "dokładnością" [9].

W zakresie opisu niepewności i niedokładności za pomocą rachunku prawdopodobieństwa przedstawiono w pracy [9] metodę transformacji zadania stochastycznego programowania liniowego z jedną funkcją kryterialną (SPL) do zadania dwukryterialnego programowania liniowego (BLP) [12]. Transformację tę przeprowadzono przy założeniu opisu parametrów losowych za pomocą dyskretnych funkcji gęstości. Rozwiązanie zadania BLP przedstawiono w formie rodziny krzywych w przestrzeni kryteriów, z których jedno jest przekształconym kryterium problemu pierwotnego, a drugie wynikiem z przyjętej metodologii transformacji problemu [9,12].

Praca niniejsza stanowi rozszerzenie podejścia dwukryterialnego na przypadek wielu kryteriów z uwzględnieniem niepewnych parametrów problemu traktowanych jako zmienne losowe o znanych dyskretnych funkcjach gęstości.

W rozdziale 2 przedstawiono opis metody rozwiązania wielokryterialnego stochastycznego problemu programowania liniowego (WSPL) transformując go do skończonej liczby problemów deterministycznych WL o większej liczbie kryteriów.

Rozdział 3 zawiera założenia modelu problemu rozwoju systemu zaopatrzenia w wodę i ochrony wód.

W rozdziale 4 sformułowano i rozwiązano przykład obliczeniowy. Rozdział 5 zawiera wnioski i uwagi końcowe.

2. Metoda rozwiązania WSPL

Rozpatrzmy problem wielokryterialnego stochastycznego programowania liniowego (WSPL), który sformułujemy następująco:

$$\text{Min: } \underline{F} = (F_1, F_2, \dots, F_K) = (C_1 \underline{x}, C_2 \underline{x}, \dots, C_K \underline{x}) \quad (1)$$

przy ograniczeniach

$$\underline{A} \underline{x} = \underline{b} \quad (2)$$

$$\underline{x} \geq \underline{0} \quad (3)$$

gdzie \underline{b} oraz współczynniki funkcji kryterialnych są zmiennymi losowymi.

Równanie (2) napiszemy w postaci

$$\underline{A} \underline{x} + \underline{x}_r^- - \underline{x}_r^+ = \underline{b}^r \quad (4)$$

gdzie $r=1, 2, \dots, R$ jest numerem realizacji wektora losowego \underline{b} .

Zmienne \underline{x}_r^- , \underline{x}_r^+ są odpowiednio ujemnym i dodatnim odchyleniem dla r -tej realizacji wektora \underline{b} . Zmienne te są konieczne dla zachowania niesprzeczności równań (4) [11, 12]. Wprowadzimy również nową funkcję reprezentującą karę za niespełnienie ograniczeń w sposób ścisły, postaci:

$$K = \sum_{r=1}^R p^r d^r (x_r^+ + x_r^-) \quad (5)$$

gdzie p^r jest prawdopodobieństwem r -tej realizacji wektora losowego, a d^r jest współczynnikiem kary.

Losowe wektory współczynników funkcji kryterialnych c_1, c_2, \dots, c_k mają najczęściej charakter pewnych wskaźników kosztowych. Przyjmijmy dla nich pewną skończoną liczbę realizacji zwanych scenariuszami kosztów. Przyjmuje się zwykle scenariusz na poziomie wartości oczekiwanych oraz dwa scenariusze skrajne: pesymistyczny i optymistyczny [11].

Z ekonomicznego punktu widzenia scenariusze te winny być spójne, to znaczy, że wszystkie wskaźniki kosztów w danym scenariuszu wynikają z kompleksowego współzależnego systemu cen. Uwzględniając powyższe uwagi, możemy zbiór funkcji kryterialnych zapisać w postaci:

$$\underline{F}^h = (F_1^h, F_2^h, \dots, F_k^h) = (c_1^h x, c_2^h, \dots, c_k^h x) \quad (6)$$

gdzie $h=1, 2, \dots, H$

Pierwotne zadanie WSPL możemy zatem zapisać w postaci wielokryterialnego deterministycznego zadania PL w sposób następujący:

$$\text{Min: } \underline{G} = (\underline{F}^1, \underline{F}^2, \dots, \underline{F}^H, K) \quad (7)$$

przy ograniczeniach

$$\underline{x}' \in D(\underline{x}') = \{ \underline{x}, \underline{x}_r^+, \underline{x}_r^- \mid A\underline{x} + \underline{x}_r^- - \underline{x}_r^+ = \underline{b}^r, \underline{x}, \underline{x}_r^+, \underline{x}_r^- \geq 0 \} \quad (8)$$

Sformułowany powyżej problem zawiera $(k \times H) + 1$ kryteriów oraz R razy większą liczbę ograniczeń.

W pracy [9] przedstawiono algorytm rozwiązania problemu (7)(8) dla przypadku gdy zbiór kryteriów został przedstawiony w postaci par kryteriów $\underline{G}^h = (\underline{F}^h, K)$.

Przykład rozwoju systemu zaopatrzenia w wodę i ochrony wód dla tego przypadku podano w pracy [12].

W celu rozwiązania problemu (7)(8) opracowano algorytm wykorzystujący podejście dialogowe reprezentowane w metodzie STEM [1] oraz zasady sformułowane dla metody SWT [4]. Pierwszy etap algorytmu stanowi tworzenie tak zwanej macierzy wypłat. Elementami tej macierzy są wartości funkcji kryterialnych uzyskane dla przypadku zadania z jednym kryterium przy pominięciu pozostałych. Uzyskane w ten sposób "rozwiązania idealne" są najczęściej niedopuszczalne, lecz stanowią podstawę do oceny rozwiązań sprawnych. Oznaczmy optymalne rozwiązanie dla kryterium (i, h) , $(i=1, 2, \dots, k; h=1, 2, \dots, H)$ przez \underline{x}_{ih}^* oraz przyjmijmy następującą notację:

$$z_{q1h} = c_q^h \underline{x}_{ih}^*, \quad q=1, 2, \dots, k \times H + 1 \quad (9)$$

$$k_{1h} = \min_q z_{q1h} \quad (10)$$

$$m_{1h} = \max_q z_{q1h} \quad (11)$$

Zależności te są słuszne dla wszystkich kryteriów (l, h) , gdzie $l=1, 2, \dots, \dots, k+1$, $h=1, 2, \dots, H$.

Tablice M_{lh} i m_{lh} pozwalają na wyznaczenie następujących wskaźników [1].

$$\pi_{lh} = \frac{\alpha_{lh}}{\sum_{l=1}^{k+1} \sum_{h=1}^H \alpha_{lh}} \quad (12)$$

gdzie

$$\alpha_{lh} = \frac{m_{lh} - M_{lh}}{m_{lh}} \cdot \left(1 / \sqrt{\sum_{j=1}^n (\sigma_{jlh})^2}\right). \quad (13)$$

Pierwsze rozwiązanie kompromisowe może być uzyskane jako wynik rozwiązania następującego problemu programowania liniowego

Min: λ
przy ograniczeniach

$$z_{lh} - \alpha_{lh} x' = 0 \quad (14)$$

$$\sum_{h=1}^H P_h (\alpha_{lh} x - M_{lh}) \pi_{lh} \leq \lambda \quad (15)$$

$$x' \in D(x') \quad (16)$$

W fazie decyzyjnej algorytmu szukamy odpowiedzi na pytanie czy uzyskane rozwiązanie jest dla decydenta satysfakcjonujące. Jeśli odpowiedź jest twierdząca, wówczas procedura kończy się.

W przypadku przeciwnym formułujemy dodatkowe wymagania dotyczące rozwiązania wprowadzając je do ograniczeń i przechodzimy do fazy obliczeniowej. Każde uzyskane rozwiązanie należy poddać ocenie. Do tego celu wykorzystuje się następujące wielkości [11]:

1° Wartości poszczególnych funkcji celu

$$z_{qlh}^* = \alpha_{lh} x_q^*, \quad l=1, 2, \dots, k; \quad h=1, 2, \dots, H \quad (17)$$

2° Wartości funkcji kary

$$z_{qk+1}$$

3° Średnią wartość l-tego celu

$$z_{q1} = \sum_{l=1}^H P_h z_{qlh}^* \quad (18)$$

4° Poziom ufności rozwiązania kompromisowego x_q^*

$$(1 - J_1) = P\{z_{lh} x_q^* \leq z_{q1}^*\} = \sum_{h \in X} P_h \quad (19)$$

$$\text{gdzie } X = \{h | z_{qlh}^* \leq z_{q1}^*\}.$$

Formułowanie nowych problemów dla fazy obliczeniowej wymaga uwzględnienia specyfiki opisywanego problemu. Na przykład kryterium ochrony środowiska (jeśli występuje w modelu) może być uwzględnione w formie utrzymania środowiska w stanie nienaruszonym.

3. Model matematyczny problemu

3.1 Założenia

Rozpatrzmy system zaopatrzenia w wodę i ochrony wód składający się z następujących obiektów: ujęcia wody, oczyszczalni ścieków, sieci przesyłowej oraz odbiorcy wody. Przyjmijemy 20-letni horyzont rozwoju, podzielony na T równych okresów nie dłuższych od 5 lat i nie krótszych od 1 roku. Zakładamy, że zmiany wartości parametrów charakteryzujących obiekty systemu mają miejsce przy przejściu z jednego etapu do drugiego.

Modele obiektów systemu oraz dokładne sformułowanie zależności kryterialnych podano w pracy [13]. Podstawowe wskaźniki i parametry obiektów systemu zawarto w tablicy 1.

Tablica 1. Charakterystyki techniczno-ekonomiczne obiektów systemu

Parametry i wskaźniki	Ujęcia wody	Oczyszczalnie ścieków	Sieć przesyłowa	Odbiorcy
Liczba obiektów	$P(t)$	$Q(t)$	$P(t) \times M(t)$	$W(t)$
Podstawowa charakterystyka techniczna	D_{it} - maksymalna wydajność	Y_{it} - maksymalna wydajność	X_{ikt} - maksymalny przepływ	B_{jt} - zapotrzebowanie na wodę
Wskaźnik awaryjności	a_{it}	a_{it}	a_{ijt}	α_{jt}
Charakterystyka dodatkowa			S_{ijt} - macierz połączeń sieciowych	β_{jt} - wskaźnik zużycia wody
Wskaźniki kosztów				
- inwestycyjnych	c_{it}	c_{it}	c_{ijt}	-
- eksploatacyjnych	k_{it}	k_{it}	k_{ijt}	-
- strat	-	-	-	δ_{jt}

Poniżej przedstawiono w skróconej formie matematyczny zapis kryteriów i ograniczeń.

3.2 Kryteria

W modelu rozpatrujemy pięć kryteriów oceny systemu [9,13]. Kryterium kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych ujęć wody

$$F_1^h = \sum_{t=1}^n \sum_{i=1}^{P(t)} (c_{it}^h x_{it}^h + k_{it}^h) + \sum_{j=1}^{M(t)} s_{ijt} x_{ijt} a_{ijt} \quad (20)$$

gdzie q_t , q_{1t} są czynnikami dyskontującymi dla kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych, a L jest długością etapu w dobach.

Kryterium kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych oczyszczalni

$$F_2^h = \sum_{t=1}^T \sum_{l=1}^{Q(t)} (a_{1t}^h y_{1t}^+ q_{t-1} + k_{1t}^h \cdot L \cdot y_{1t} q_{1t}) \quad (21)$$

Kryterium strat spowodowanych niedostarczeniem wody do odbiorców

$$F_3^h = \sum_{t=1}^T k_y^h \left(\sum_{j=1}^{M(t)} B_{jt} - \sum_{i=1}^{P(t)} s_{ijt} a_{it} s_{ijt} x_{ijt} \gamma_{jt} L q_t \right) \quad (22)$$

Kryterium zanieczyszczenia środowiska

$$F_4^h = \sum_{t=1}^T \left[\beta_t \left(\sum_{i=1}^{P(t)} x_{it}^+ - \sum_{j=1}^{Q(t)} y_{jt}^+ + \kappa \sum_{j=1}^{Q(t)} y_{jt}^+ \right) \right] \quad (23)$$

gdzie $\kappa(\nu)$ oznacza jednostkowy średni stopień zanieczyszczenia środowiska wynikający ze zrzucenia $1m^3$ ścieków nieoczyszczonych (oczyszczonych) w otwagę do wody płynącej lub stojącej o danej objętości czynnej.

3.3 Ograniczenia

Ograniczenie wydajności źródeł

$$\sum_{j=1}^{M(t)} s_{ijt} x_{ijt} \leq D_{it}, \quad i=1, \dots, P(t), \quad t=1, \dots, T. \quad (24)$$

Spełnienie wymagań użytkowników

$$\sum_{i=1}^{P(t)} s_{ijt} a_{it} s_{ijt} x_{ijt} \geq c_{jt} B_{jt}, \quad j=1, \dots, M(t), \quad t=1, \dots, T. \quad (25)$$

Ograniczenie przepustowości odcinków sieci

$$\sum_{(i,j) \in V_{kt}} x_{ijt} \leq X_{kt}, \quad k=1, \dots, V(t), \quad t=1, \dots, T. \quad (26)$$

Ograniczenie wydajności oczyszczalni śpływowych

$$\sum_{i=1}^{Q(t)} y_{it} \leq Y_t^{\max}, \quad t=1, \dots, T. \quad (27)$$

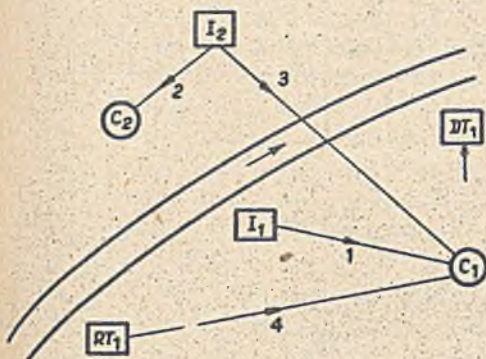
4. Przykład

Rozpatrzmy problem wyboru strategii rozwoju systemu podany w pracy [9] i rozwiązyany ten dla przypadku wielu kryteriów przy danych rozmytych.

Na rys.1 pokazano możliwy rozwój struktury systemu w czterech pięcioletnich etapach 20-letniego horyzontu rozwoju. Początkowy stan systemu jest następujący: jedno źródło I_1 zasila odbiorcę C_1 z intensywnością $x_{110} = 7 \cdot 10^3 m^3/dobę$. W pierwszym etapie ($t=1$) i drugim ($t=2$) istnieje jedynie możliwość zwiększenia wydajności źródła I_1 . W etapie trzecim ($t=3$) można wprowadzić drugie źródło I_2 i zasilić nim nowego odbiorcę C_2 .

Dialogowy algorytm wielokryterialnego...

Nad rzeką można usytuować oczyszczalnię ścieków DT_1 . W etapie czwartym ($t=4$) rośnie znów zapotrzebowanie na wodę u odbiorców. W tym etapie można rozważyć możliwość wprowadzenia oczyszczalni recykulacyjnej, która z jednej strony pozwoli na pełniejsze wykorzystanie zasobów wody, a z drugiej umożliwi oczyszczanie wody zużytej przed zrzutem jej do środowiska.



Rys.1 Przykładowy system zaopatrzenia w wodę i ochrony wód: C - odbiorcy, I - źródła, RT - oczyszczalnia recykulacyjna, DT - oczyszczalnia ściekowa

$F_4 \leq 0$ (czyli przy zachowaniu dotychczasowego stanu środowiska). W tabelicy 11 zebrano rozwiązania kompromisowe dla różnych scenariuszy cen. Przechodzenie od jednego rozwiązania kompromisowego do drugiego jest oparte na dynamicznym definiowaniu przez decydenta preferencji w postaci formalnej aprobaty lub niezadowolenia z uzyskanego rozwiązania.

4. Wnioski i uwagi końcowe

Przedstawione w pracy podejście do rozwiązania niedeterministycznych problemów wielokryterialnych scharakteryzować można następująco:

- 1^o Proponowana metoda umożliwia rozwiązywanie zadań programowania liniowego z losowymi współczynnikami funkcji kryterialnych oraz prawych stron ograniczeń.
- 2^o Opis parametrów losowych przyjęty został w formie dyskretnych funkcji gęstości (histogramów).
- 3^o Dla opisu losowych współczynników funkcji kryterialnych przyjęto kilka scenariuszy kosztów, uwzględniających przypadki charakterystyczne (np. scenariusz optymistyczny, pesymistyczny i średni).
- 4^o W szczególności, cenienny sposób traktuje się w podejściu kryterium ochrony środowiska.
- 5^o Proponowane podejście pozwala na przekształcenie zadania pierwotnego do ekwiwalentnego zbioru deterministycznych zadań z większą

Parametry obiektów systemu podano w tabelicach 2 do 9. Pozostałe wartości przyjęto następująco:

- średni czas wykorzystania obiektu w ciągu roku $L = 1500h$,
- stopa dyskontowa $p = 0.16$,
- maksymalna wydajność oczyszczalni $y_{max} = 25 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{dobę}$ oraz $\xi = 1$, $\psi = 0.009 \text{ 1/m}^3/\text{dobę}$, $\chi = 0.0001 \text{ 1/m}^3/\text{dobę}$.

Zaproponowaną metodę zaimplementowano dla minikomputera MERA-400. W tabelicy 10 zestawiono rozwiązania idealne, które wykorzystywane są do konstrukcji macierzy wypłat. Rozwiązania kompromisowe są generowane przy założeniu, że kryterium

Tablica 2. Maksymalne wydajności źródeł

Tablica 3. Jednostkowe koszty inwestycyjne $c_{it}^h \cdot 10^3$ $D_{it}^r \cdot 10^3$

Etap t	Poziom r	I ₁		I ₂		RT ₁	
		D _{1t} ^r	P _{1t} ^r	D _{2t} ^r	P _{2t} ^r	D _{3t} ^r	P _{3t} ^r
1	1	9	0.4				
	2	11	0.6				
2	1	11	0.6				
	2	14	0.4				
3	1	16	0.5	8	0.5		
	2	20	0.5	10	0.5		
4	1	16	0.5	8	0.4	8	0.5
	2	20	0.5	10	0.6	10	0.5

h	P _h	I ₁	I ₂	RT ₁
1	0.3	12	14	18
2	0.5	13.6	16.5	20
3	0.2	14	18	22

Tablica 4. Jednostkowe koszty eksploatacyjne k_{it}^h

Etap t	I ₁			I ₂			RT ₁		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1.0	1.2	1.4						
2	1.0	1.2	1.4						
3	1.2	1.4	1.6	0.9	1.1	1.3			
4	1.4	1.6	1.8	1.0	1.2	1.4	1.5	1.7	1.9

Tablica 5. Wskaźniki niezawodności obiektów a_{it}

Etap	I ₁	I ₂	RT ₁
1	0.05		
2	0.08		
3	0.1	0.05	
4	0.1	0.08	0.06

Tablica 6. Wskaźniki niezawodności a_{ijt} połączeń (i,j)

Etap	(1,1)	(2,2)	(2,1)	(3,1)
1	0.05			
2	0.05			
3	0.05	0.05		
4	0.05	0.05	0.05	0.05

Tablica 7. Współczynniki kosztów oczyszczalni

h	P _h	c _{1t} · 10 ³	k _{jt}				k _t ^h · 10 ³
			1	2	3	4	
1	0.3	9.0			1.2	1.3	10.0
2	0.5	10.2			1.3	1.4	15.0
3	0.2	11.5			1.4	1.5	10.0

Tablica 8. Wymagania odbiorców $B_{jt}^r \cdot 10^3$

Etap	C ₁		C ₂	
	1	2	1	2
1	9	11.5		
2	13	15	5	7
3	15	18	6	8
4	17	20	8	10
P _{jt} ^r	0.6	0.4	0.6	0.4

Tablica 9. Współczynniki wymagań zasilania C_{jt}

Etap	1	2	3	4
C ₁	0.85	0.85	0.875	0.875
C ₂			0.9	0.95

Tablica 10. Rozwiązania idealne

	F ¹	F ²	F ³	F ₄	K
x ₁₁ ⁺	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
x ₁₂ ⁺	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2011
x ₁₃ ⁺	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6983
x ₁₄ ⁺	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
x ₂₃ ⁺	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2644
x ₂₄ ⁺	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7356
x ₃₄ ⁺	0.0	0.0	0.0	8.5	1.8795
y ₁₃ ⁺	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0
y ₁₄ ⁺	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
x ₁₁₁	7.0	7.0	7.0	7.0	8.5
x ₁₁₂	7.0	7.0	7.0	7.0	12.7011
x ₁₁₃	7.0	7.0	7.0	7.0	15.3994
x ₁₁₄	7.0	7.0	7.0	7.0	15.3994
x ₂₂₃	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2644
x ₂₂₄	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7356
x ₂₁₄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
x ₃₁₄	0.0	0.0	0.0	8.5	1.8795
y ₁₃	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0
y ₁₄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F	13.09	15.54	18.13	-7.95	

Tablica 11. Przykłady rozwiązań sprawnych

	1	2	3
	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0
	8.4412	8.4412	8.4412
	0.0	1.8655	1.8655
	0.0	0.0	0.0
	10.4066	8.7356	8.7356
	0.1712	0.1712	0.1712
	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0
	7.0	7.0	7.0
	7.0	7.0	7.0
	15.4412	15.4412	15.4412
	15.4412	17.3067	17.3067
	0.0	0.0	0.0
	8.7356	8.7356	8.7356
	1.0709	0.0	0.0
	0.1729	0.1729	0.1729
	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0
F	43.35	50.2135	55.3233
F ₄	0.0	0.0	0.0
K	42.05	42.05	42.05

liczbą kryteriów i rozszerzonym zbiorem ograniczeń.

6° Zastosowanie w algorytmie reguły metody STEM i SWT gwarantują poszukiwanie rozwiązań ze zbioru rozwiązań sprawnych (optymalnych w sensie Pareto).

5. Literatura

- [1] Benayoun B., J. de Montgolfier, J. Tergny, O. Laritchev: Linear programming with multiple objective functions: Step method (STEM), *Math. Programming*, vol. 1, 1971, pp.336-345.
- [2] Blookley D.T., B.W. Pilsworth, J.F. Baldwin: Measures of uncertainty, *Civil Engineering Systems, Decision Making and Problem Solving*, vol. 1, no. 1, September 1983, pp.3-9.
- [3] Freidenfelds John: Capacity expansion. Analysis of simple models with applications, North-Holland Publ.Co., New-York-Oxford 1981.
- [4] Haines Y.Y., W.A. Hall, H.T. Freedman: Multiobjective optimization in water resources systems (The Surrogate Worth Trade-off Method), Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York 1975.
- [5] Lauria Donald T.: Research needs for capacity planning, *J. of American Water Works Association*, vol. 75, no. 1, January 1983, pp.14-19.
- [6] Piotrowski J., U. Pociask, J. Sobstel, J. Szebeszczyk: Koncepcja układu sterowania systemem wodno-gospodarczym, *Zeszyty Nauk. Polit.Śl.*, z.48, 1979, str.23-35.
- [7] Słowiński R.: A multicriteria fuzzy linear programming method for water supply system development planning, *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 19, no. 1, 1986.
- [8] Słowiński R., A. Urbaniak, J. Węglarz: Multicriteria capacity expansion planning of a water supply and wastewater treatment system, *Int.J. of Modelling and Simulation*, vol. 5, no. 4, 1985.
- [9] Słowiński R., A. Urbaniak, J. Węglarz: Wybór strategii rozwoju systemu zaopatrzenia w wodę i ochrony wód w warunkach niepewności, *Zeszyty Nauk.Pol.Śl.*, z.79, Gliwice, 1985, pp.63-74.
- [10] Słowiński R., A. Urbaniak, J. Węglarz: Probabilistic and fuzzy approaches to capacity expansion planning of a water supply system, *IFAC-Conf. on Sys.Analysis Applied to Water and Rel. Land Res.*, 2/4 oct. 1985, Lisbon, Portugal.
- [11] Teghem J: jr. Multiobjective and stochastic linear programming, *Found. of Control Engrg.* 8, 1983, no.3-4, pp.225-232.
- [12] Urbaniak A.: A method of a choice of an expansion strategy of the water supply system, *Found.of Control Engrg.* 10, no. 3, 1985, pp.143-159.
- [13] Urbaniak A.: A multicriteria expansion planning of a water supply and wastewater treatment systems with random data, *UNESCO-Symp. on Decision Making in Water Resources Planning*, 5-7 May 1986, Oslo (Norway).

ДИАЛОГОВЫЙ АЛГОРИТМ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Резюме

В докладе представлен диалоговый многоцелевой метод линейного программирования со случайными данными. Алгоритм метода базируется на методах СТЕМ и СВТ. Прямую линейную задачу со случайными данными мы трансформируем к множеству линейных детерминистических задач. Диалог между процедурой и децидентом происходит во время выбора компромиссного решения из множества Парето-оптимальных и ведёт к более лучшим решениям. В конце доклада представлен пример для системы водоснабжения и очистки сточной воды.

INTERACTIVE ALGORITHM OF MULTICRITERIA CHOICE OF THE EXPANSION STRATEGY OF A WATER SUPPLY SYSTEM

Summary

The method of solution of the multicriteria programming problem is presented for a case when the parameters of the problem are treated as random variables with known probability density functions. The proposed approach is implemented for the water supply and waste-water treatment system. This method is illustrated by a simple example.

Recenzent: Dr inż. Janusz FILIMOWSKI

Wpłynęło do Redakcji 17.06.1987 r.