



ИЗБОР НА ОПТИМАЛЕН ВАРИАНТ НА МЕХАТРОНЕН ПРОДУКТ В УСЛОВИЯТА НА РИСК И НЕОПРЕДЕЛЕНОСТ

Малаков, И., В. Захаринов

Резюме: Докладът разглежда избора на оптимален вариант на мехатронен продукт в условията на риск и неопределеност. Формулирана е постановката на задачата и е предложен математически модел за нейното решаване, когато неопределеността е зададена чрез състоянията на околната среда. Систематизирани са различни критерии за вземане на решение в условията на риск и неопределеност. Предложен е алгоритъм за избор на оптимален вариант на мехатронен продукт в условията на риск и неопределеност. Решена е примерна задача с представения алгоритъм чрез прилагане на различни критерии за вземане на решение.

Ключови думи: проектиране, оптимизация, неопределеност, риск, мехатронен продукт, критерии за вземане на решение

1. Въведение

При решаване на задачата за избор на оптимален вариант на мехатронен продукт се използва обширна информация, относяща се до връзките на продукта с околната среда през отделните етапи на жизнения му цикъл. Част от необходимата информация може да бъде еднозначно определена (детерминирана) (напр. производителност, брой на модификациите на сглобявания продукт, характеристики на манипулираните обекти и др.), а останалата да бъде неопределена, т.е. зададена нееднозначно, неточно, непълно, размито (напр. прогнозиран пазарен живот, годишен лихвен процент, обезценяване на националната валута и др.) [1, 6, 7, 8]. Следователно, при решаване на задачата за избор на оптимален вариант на мехатронен продукт се използва информация с различна степен на неопределеност. Неопределеността се поражда в следствие на непълна информация за състоянието на околната среда или от практически и теоретични ограничения свързани с възможността за предсказване на бъдещи събития [5].

В теорията за вземане на решения се прави ясно разграничение между условия на риск и условия на неопределеност. И в двата случая съществува неуправляемо случайно събитие като разликата е в това, че при риск неуправляемото случайно събитие притежава известно вероятностно разпределение, а в условията на неопределеност това разпределение не е известно [5, 9].

Известни са редица публикации разглеждащи проблемите при избор на оптимален вариант в условията на риск и неопределеност [1, 3, 5, 9]. Те не



отчитат достатъчно пълно някои от характерните особености на разглежданата задача [6] като: автоматизираното генериране на възможните варианти на мехатронния продукт и наличието на ограничителни условия върху технико-икономическите му характеристики.

Целта на настоящия доклад е да се разработи алгоритъм за решаване на еднокритериални оптимизационни задачи с наличие на ограничителни условия за избор на оптимален вариант на мехатронен продукт в условията на риск и неопределеност.

2. Форма на описание на неопределеността

Съществуват различни форми на описание на непълната информация - стохастично (вероятностно, случайно), статистическо, интервално и размито. Те зависят от вида на априорната информация, която съществува за неопределените параметри. В специализираната литература се използват и други форми на описание, но те могат да се отнесат към горните четири вида.

В настоящата разработка се използва форма на описание чрез дискретни състояния на околната среда. В общия случай неопределеността зависи от съвкупност от външни смущаващи въздействия Ω (фактори). Тези фактори оказват влияние върху стойностите на показателите на елементарните устройства. За тяхното определяне се приемат следните хипотези:

1. Под въздействие на смущаващите фактори Ω неопределените параметри и константи Φ_t , $t = 1 \div T$ имат дискретни нива на промяна, т.е.:

$$\Phi_t = \{\phi_t^1, \phi_t^2, \dots, \phi_t^u, \dots, \phi_t^{U_t}\}, \quad (1)$$

където ϕ_t^u е u -то ниво на параметъра Φ_t , $u = 1 \div U_t$, включен в някоя функционална зависимост. Например прогнозираният пазарен живот на мехатронния продукт може да бъде 1, 2 или 3 години; лихвеният процент на кредитите – 9%, 9,5% или 11%; коефициентът на дисконтиране на капиталните вложения – 5%, 7%, 9% или 11%, коефициентът на готовност на техническо средство – 0,80, 0,85 или 0,87 и т.н.

2. Всяка комбинация от стойности на неопределените параметри дефинира определено състояние на околната среда S_q , т.е.:

$$S = \Phi_1 \times \Phi_2 \times \dots \times \Phi_t \times \dots \times \Phi_T, \quad (2)$$

където $S = \{S_1, S_2, \dots, S_q, \dots, S_Q\}$ е множеството от състояния на околната среда,

$Q = \prod_{t=1}^T U_t$, но лицето взимащо решение (ЛВР) не разполага с информация за възможното състояние на околната среда в момента на вземане на решение.

3. На всяко състояние на околната среда съответстват определени стойности на технико-икономическите показатели на елементарните устройства, изграждащи мехатронния продукт.



3. Постановка на задачата

Изборът на оптимален вариант на мехатронен продукт в условията на риск и неопределеност, е свързан с решаване на задачата:

При разработена функционална структура на мехатронен продукт, определени възможните състояния, в които околната среда може да се намира и определени алтернативните елементарни устройства за изпълнение на частичните му функции, трябва да се определи такава тяхна съвместима комбинация, изпълняваща общата функция на продукта, която да удовлетворява предварително зададени изисквания и условия (ограничения) към технико-икономическите характеристики на продукта.

Математическият модел на така формулираната задача е следният:

Да се намери вариант $x^* = \{x_1^{*l}; x_2^{*l}; \dots; x_n^{*l}; \dots; x_N^{*l}\}$, $l \in L_n, n = 1 \div N$, за който целевата функция добива желанния екстремум:

$$\text{opt } f(x, S_q), \quad x \in X, \quad q = 1 \div Q \quad (3)$$

удовлетворяващ ограниченията:

$$g_m(x, S_q) \leq b_m, m \in M_1, \quad (4)$$

$$g_m(x, S_q) \geq b_m, m \in M_2, \quad (5)$$

определящи допустимата област D , където x_n^{*l} е l^{mo} елементарно устройство изпълняващо n^{ma} частична функция и е част от решението на задачата определена от (3), (4) и (5); l - индексът показващ поредния номер на елементарно устройство x_n^l в частична функция F_n ; L_n - множеството от индекси на елементарните устройства, изпълняващи частична функция F_n ; n - индексът показващ поредния номер на частична функция; N - общият брой на определените от функционалната структура на мехатронния продукт частични функции; $f(x, S_q)$ - дискретната целева функция зададена таблично; S_q - q^{mo} състояние на средата, което се определя от множеството на външните смущаващи въздействия Ω ; X - множеството на възможните варианти на мехатронния продукт; q - индексът показващ поредния номер на състоянието на средата; Q - общият брой на състоянията на средата; $g_m(x, S_q)$ - дискретната функция за ограничение m зададена таблично; b_m - ограничаващата стойност за ограничение g_m ; m - индексът показващ поредния номер на ограничение; M_1 и M_2 - множествата съдържащи индексите на ограниченията съответно от вида $\leq$ и вида $\geq$.

4. Критерии за вземане на решения в условията на риск и неопределеност при избор на оптимален вариант на мехатронен продукт

Известни са редица критерии за вземане на решения в условията на непълна информация – критерии на Байес, Кмиетович и Пиърман, Вальд,



XXV МНТК „АДП-2016”

Хурвиц, Лаплас, Севидж, Оптимизъм и Парето [1, 2, 3, 4]. В Табл. 1 са посочени математическите изрази свързани с приложението на отделните критерии за вземане на решение, където $E\{f(x_i), S_q\}$ е математическо очакване; $p(S_q)$ - вероятността за попадане на средата в състояние S_q ; x_i - i -ти възможен вариант; I - общ брой на възможните варианти; x^* - оптимален вариант; $E_p\{f(x_i), S_q\}$ - частично средно; λ - коефициент на доверие, $0 \leq \lambda \leq 1$; $\bar{f}_{iq}$ - елемент от матрица на риск $R_{IxQ} = [\bar{f}_{iq}]_{IxQ}$. В колоната „Употреба“ е отбелязано при какви условия на средата може да се прилага съответния критерий, където „Р“ е риск, а „Н“ - неопределеност. Някои критерии се характеризират с изчисляването на допълнителен параметър, а фактическото условие за избор е сходно с някои от останалите критерии (Кмиетович и Пиърман, Лаплас).

Таблица 1. Критерии за вземане на решение

Критерий	Търсен екстремум за целевата функция		Употреба
	$\max f(x, S_q)$	$\min f(x, S_q)$	
Байес	$E\{f(x_i, S_q)\} = \sum_{q=1}^Q f_{iq} \cdot p(S_q), i = 1 \div I$		Р
	$x^* = \underset{x_i}{\operatorname{argmax}} E\{f(x_i, S_q)\}$	$x^* = \underset{x_i}{\operatorname{argmin}} E\{f(x_i, S_q)\}$	
Кмиетович и Пиърман	$E_p\{f(x_i, S_q)\} = \frac{\sum_{k=1}^q f_{ik}}{q}$, изчислява се след ранжиране на S_q по правилото $p(S_q) \geq p(S_{q+1})$		Н
	Валд, оптимизъм, Хурвиц, Севидж		
Валд	$x^* = \underset{x_i}{\operatorname{argmax}} \underset{S_q}{\min} f(x_i, S_q)$	$x^* = \underset{x_i}{\operatorname{argmin}} \underset{S_q}{\max} f(x_i, S_q)$	Н
Хурвиц	$x^* = \underset{x_i}{\operatorname{argmax}} [\lambda \cdot \underset{S_q}{\max} f(x_i, S_q) + (1 - \lambda) \cdot \underset{S_q}{\min} f(x_i, S_q)]$	$x^* = \underset{x_i}{\operatorname{argmin}} [\lambda \cdot \underset{S_q}{\min} f(x_i, S_q) + (1 - \lambda) \cdot \underset{S_q}{\max} f(x_i, S_q)]$	Н
Лаплас	$E\{f(x_i, S_q)\} = \frac{\sum_{q=1}^Q f_{iq}}{Q}$ или $E\{f(x_i, S_q)\} = \sum_{q=1}^Q f_{iq} \frac{2(Q - q + 1)}{Q(Q + 1)}$		Н
	Байес		
Севидж	$\bar{f}_{iq} = f(x_i, S_q) - \max_{1 \leq i \leq I} f(x_i, S_q)$	$\bar{f}_{iq} = f(x_i, S_q) - \min_{1 \leq i \leq I} f(x_i, S_q)$	Н
	$x^* = \underset{x_i}{\operatorname{argmax}} \underset{S_q}{\min} \bar{f}_{iq}$	$x^* = \underset{z_i}{\operatorname{argmin}} \underset{S_q}{\max} \bar{f}_{iq}$	
Оптимизъм	$x^* = \underset{x_i}{\operatorname{argmax}} \underset{S_q}{\max} f(x_i, S_q)$	$x^* = \underset{x_i}{\operatorname{argmin}} \underset{S_q}{\min} f(x_i, S_q)$	Н
Парето	$x^* = \{f_{j1}, f_{j2}, \dots, f_{jq}, \dots, f_{jQ}\}, f_{jq} \geq f_{iq}, i \in [1 \div j) \cup (j \div I]$	$x^* = \{f_{j1}, f_{j2}, \dots, f_{jq}, \dots, f_{jQ}\}, f_{jq} \leq f_{iq}, i \in [1 \div j) \cup (j \div I]$	Н



5. Алгоритъм за избор на оптимален вариант на мехатронен продукт в условията на риск и неопределеност

Разработеният алгоритъм може да се прилага за решаване на еднокритериални дискретни оптимизационни задачи с ограничителни условия, при пълна съвместимост на елементарните устройства изпълняващи частичните функции на мехатронния продукт.

На Фиг. 1 е показан псевдокодът описващ основните стъпки на алгоритъма, където с $S[1]$ е отбелязан първият елемент от множеството на оптималните решения S и $f(x_i, S_q) = f_{iq}$. Приема се, че за да е допустимо едно решение то трябва да удовлетворява ограничителните условия при всички състояния S_q , $q = 1 \div Q$. Алгоритъмът може да работи с всички разгледани критерии за вземане на решение като истинността и практическата реализация на условието $f(x_i, S_q) \succ S[1]$ зависи от избрания критерий за вземане на решение.

На Фиг. 2 е показана блокова схема, реализираща псевдокода от Фиг. 1 чрез прилагане на критерия на Вальд.

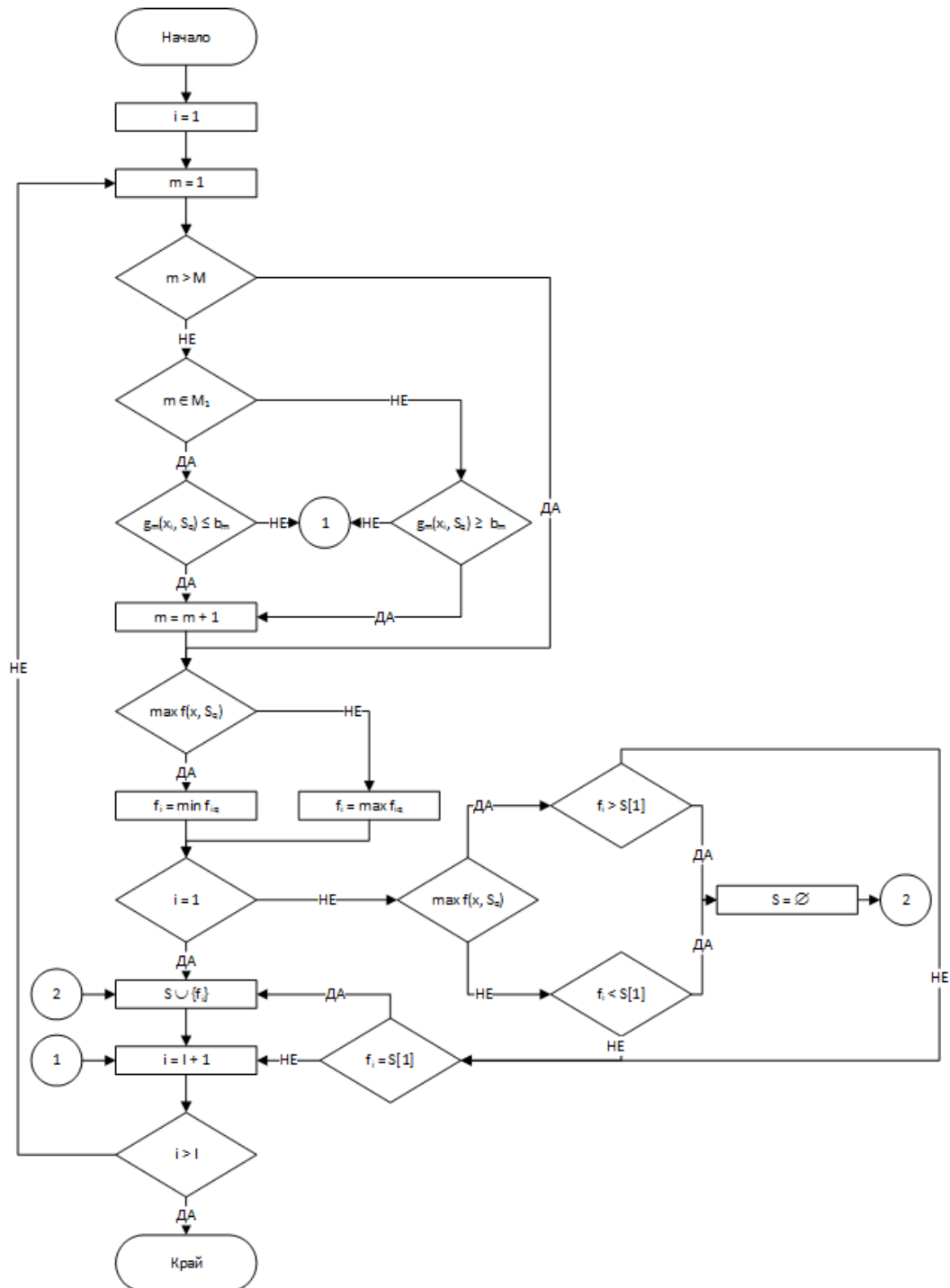
6. Примерна задача

С предложения алгоритъм е решена следната задача:

Екип проектиращ нов мехатронен продукт е разработил функционална структура на изделието включваща пет частични функции. За изпълнението на всяка от тях са разработени алтернативни варианти x_n^l , $l \in L_n, n = 1 \div 5$, $l_1 = 6$, $l_2 = 4$, $l_3 = 5$, $l_4 = 4$, $l_5 = 5$.

```
i = 1
Множество на оптималните решения  $S = \emptyset$ 
while i ≤ I
    Изчисляване на  $g_m(x_i, S_q)$ ,  $q = 1 \div Q$ 
    if ( $m \in M_1$  and  $g_m(x_i, S_q) \leq b_m$ ) or ( $m \in M_2$  and  $g_m(x_i, S_q) \geq b_m$ ),  $q = 1 \div Q$ 
        Изчисляване на  $f(x_i, S_q)$ ,  $q = 1 \div Q$ 
        if i = 1
             $S \cup \{f(x_i, S_q)\}$ ,  $q = 1 \div Q$ 
        else
            if  $f(x_i, S_q) \succ S[1]$ ,  $q = 1 \div Q$ 
                 $S = \emptyset$ 
                 $S \cup \{f(x_i, S_q)\}$ 
            else if  $f(x_i, S_q) = S[1]$ ,  $q = 1 \div Q$ 
                 $S \cup \{f(x_i, S_q)\}$ 
        i = i + 1
end while
```

Фиг. 1. Псевдокод на предложения алгоритъм



Фиг. 2 Блокова схема на разработения алгоритъм

Да се намери вариант на мехатронен продукт $x^* = \{x_1^*; x_2^*; x_3^*; x_4^*; x_5^*\}$, за който избрана целева функция има минимална стойност:

$$\min f(x, S_q) = \sum_{n=1}^5 f(x_n^l, S_q), \quad (6)$$

и удовлетворява следните ограничения:

$$g_1(x, S_q) = \sum_{n=1}^5 g_1(x_n^l, S_q) \leq 150, \quad g_2(x, S_q) = \sum_{n=1}^5 g_2(x_n^l, S_q) \leq 200, \quad q = 1 \div 6 \quad (5)$$



XXV МНТК „АДП-2016”

Броят на възможните варианти е 2400.

Задачата е решена чрез прилагане на всички разгледани критерии за вземане на решение, приложими в условията на неопределеност. В Табл. 2, 3 и 4 са показани стойностите за целевата и ограничителните функции, в Табл. 5 са показани параметрите на решенията намерени чрез прилагане на отделните критерии за вземане на решение, а на Фиг. 3 са изобразени графично получените резултати.

Таблица 2. Таблично зададена дискретна целева функция $f(x_n^l, S_q)$

n	l	1	2	3	4	5	6
1		12; 35; 45; 32; 7; 45	42; 33; 46; 43; 33; 7	41; 27; 5; 34; 16; 17	19; 22; 33; 9; 33; 41	24; 27; 13; 41; 44; 46	10; 30; 10; 31; 31; 15
2		41; 29; 30; 43; 13; 33	42; 46; 12; 42; 29; 23	5; 4; 20; 19; 24; 38	22; 9; 22; 33; 7; 2		
3		19; 14; 35; 35; 4; 11	9; 6; 5; 23; 13; 8	39; 41; 35; 9; 9; 36	13; 9; 3; 32; 33; 15	16; 18; 29; 3; 39; 27	
4		25; 14; 16; 8; 16; 11	35; 12; 16; 13; 8; 17	17; 23; 26; 39; 9; 24	15; 10; 25; 6; 45; 29		$S_1; S_2; S_3;$ $S_4; S_5; S_6$
5		12; 15; 34; 16; 21; 32	31; 6; 45; 33; 23; 20	34; 17; 40; 23; 38; 4	31; 12; 3; 26; 43; 4	25; 30; 5; 15; 41; 36	

Таблица 3. Таблично зададена дискретна ограничителна функция $g_1(x_n^l, S_q)$

n	l	1	2	3	4	5	6
1		12; 15; 43; 14; 32; 31	18; 15; 19; 44; 10; 14	7; 24; 7; 33; 6; 44	8; 21; 44; 40; 23; 46	31; 27; 35; 37; 12; 21	29; 42; 30; 9; 8; 41
2		23; 7; 39; 5; 44; 20	27; 5; 9; 35; 31; 28	37; 38; 45; 17; 29; 27	2; 14; 20; 35; 42; 44		
3		19; 32; 28; 16; 6; 35	37; 3; 3; 13; 32; 6	40; 39; 17; 48; 13; 5	43; 11; 31; 32; 1; 26	32; 14; 3; 14; 23; 15	
4		23; 44; 10; 23; 23; 5	19; 34; 40; 16; 47; 42	23; 31; 37; 8; 33; 5	20; 30; 44; 18; 1; 41		$S_1; S_2; S_3;$ $S_4; S_5; S_6$
5		39; 44; 37; 40; 2; 7	10; 23; 27; 15; 45; 42	46; 41; 41; 41; 42; 38	37; 35; 8; 18; 36; 30	6; 22; 26; 43; 44; 27	

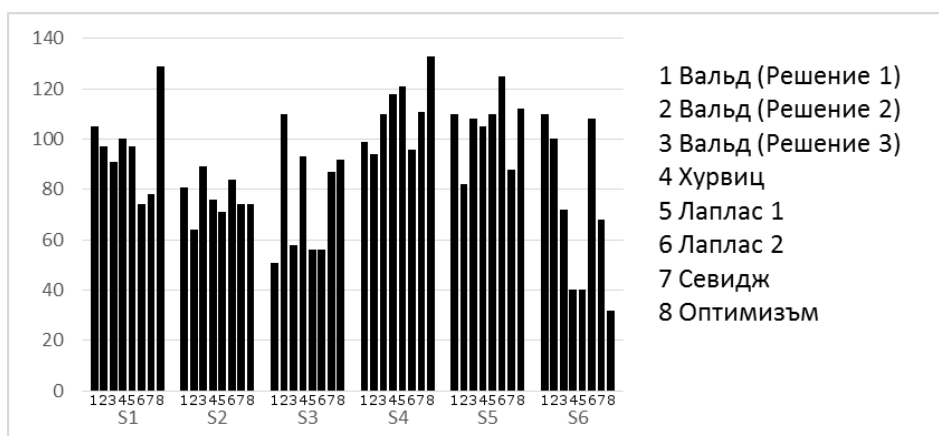
Таблица 4. Таблично зададена дискретна ограничителна функция $g_2(x_n^l, S_q)$

n	l	1	2	3	4	5	6
1		10; 29; 31; 42; 2; 5	6; 38; 5; 18; 36; 16	10; 47; 44; 43; 29; 23	43; 7; 49; 47; 10; 40	39; 13; 41; 39; 23; 20	2; 14; 36; 37; 30; 43
2		35; 24; 25; 19; 48; 8	12; 5; 20; 48; 22; 20	45; 50; 29; 26; 22; 44	9; 37; 23; 23; 40; 19		
3		25; 17; 50; 16; 45; 11	10; 18; 17; 2; 18; 43	4; 25; 15; 2; 31; 6	10; 45; 40; 50; 48; 3	37; 27; 18; 43; 48; 17	
4		14; 41; 38; 44; 11; 42	8; 8; 5; 48; 11; 5	6; 26; 2; 12; 44; 16	43; 33; 28; 47; 6; 36		$S_1; S_2; S_3;$ $S_4; S_5; S_6$
5		8; 8; 38; 37; 5; 40	45; 6; 41; 24; 24; 10	39; 17; 27; 15; 11; 30	43; 10; 23; 2; 15; 24	22; 41; 41; 18; 8; 19	



Таблица 5. Параметри на намерените решения

№	Критерий	x^*	$f(x^*, S_q)$	$g_1(x^*, S_q)$	$g_2(x^*, S_q)$
1	Вальд (Решение 1)	$\{x_1^3; x_2^3; x_3^2; x_4^1; x_5^5\}$	105; 81; 51; 99; 110; 110	110; 131; 91; 129; 134; 109	101; 197; 169; 133; 88; 171
2	Вальд (Решение 2)	$\{x_1^4; x_2^4; x_3^2; x_4^2; x_5^1\}$	97; 64; 110; 94; 82; 100	105; 116; 144; 144; 146; 145	78; 78; 132; 157; 84; 147
3	Вальд (Решение 3)	$\{x_1^6; x_2^4; x_3^2; x_4^1; x_5^5\}$	91; 89; 58; 110; 108; 72	97; 125; 89; 123; 149; 123	57; 151; 155; 124; 107; 166
4	Хурвиц ($\lambda = 0.5$)	$\{x_1^6; x_2^4; x_3^2; x_4^1; x_5^3\}$	100; 76; 93; 118; 105; 40	137; 144; 104; 121; 147; 134	74; 127; 141; 121; 110; 177
5	Лаплас ($p(S_q) = \frac{1}{Q}$)	$\{x_1^6; x_2^4; x_3^2; x_4^1; x_5^4\}$	97; 71; 56; 121; 110; 40	128; 138; 71; 98; 141; 126	78; 120; 137; 108; 114; 171
6	Лаплас ($p(S_q) = \frac{2(Q-q+1)}{Q(Q+1)}$)	$\{x_1^6; x_2^3; x_3^2; x_4^1; x_5^4\}$	74; 84; 56; 96; 125; 108	132; 149; 114; 105; 136; 106	93; 164; 161; 127; 89; 191
7	Севидж	$\{x_1^6; x_2^4; x_3^2; x_4^1; x_5^1\}$	78; 74; 87; 111; 88; 68	130; 147; 100; 120; 107; 103	43; 118; 152; 143; 104; 187
8	Оптимизъм	$\{x_1^2; x_2^4; x_3^2; x_4^1; x_5^4\}$	129; 74; 92; 133; 112; 32	117; 111; 60; 133; 143; 99	82; 144; 106; 89; 120; 144
9	Кмиевич и Пиърман	= Севидж			
10	Парето	Не съществува решение отговарящо на критерия			



Фиг. 3. Стойности на целевата функция при прилагане на различни критерии за вземане на решение

Критерият на Вальд не успява да посочи единствено решение, а предлага три възможни. Стойността за целевата функция, по която са избрани те е 110 и тя се постига от всяко едно от трите при различни състояния на средата. Критериите на Хурвиц, Лаплас, Кмиевич и Пиърман, Севидж и оптимизма успяват да посочат единствено решение. При това решението намерено чрез



Кмиетович и Пиърман съвпада с решението избрано от критерия на Севидж, а критериите на Хурвиц (при $\lambda = 0.5$) и Лаплас (при равна вероятност) предлагат близки решения. Очаквано, критерият на оптимизма предлага решение, което включва минимума за целевата функция, който за конкретната задача се осъществява, когато околната среда се намира в състояние S_6 . Това решение, обаче достига значителна стойност за целевата функция ако средата се намира в състояние S_1 или S_4 . Критерият на Парето не може да намери решение.

От Фиг. 3 се вижда, че избраният вариант зависи значително от избора на критерий за вземане на решение. Могат да се направят следните изводи:

- Критерият на Вальд, при задачи с голям брой варианти, е възможно да не е в състояние да предложи единствено решение;
- Решенията, намерени чрез критерия на Вальд са песимистични и консервативни, затова той е подходящ при вземане на много важно решение, при което е недопустим и минимален риск;
- Критерият на оптимизма е опасно да се използва в условията на неопределеност, тъй като допуска възможност за голяма загуба;
- Критерият на Парето не може да намери решение при задачи с относително малка размерност (освен в частни случаи), а при задачи с голяма размерност изисква много изчислително време;
- Вероятността за намиране на единствено решение е по-голяма при критерии предлагащи изчисляване на допълнителен параметър, по който да бъдат оценявани възможните варианти.

7. Заключение

В доклада са постигнати следните резултати:

- При избрана форма на описание на неопределеността е формулирана задачата за избор на оптимален вариант на мехатронен продукт;
- Построен е математически модел на еднокритериална задача с наличие на ограничителни условия върху част от технико-икономическите характеристики на проектирания мехатронен продукт;
- Систематизирани са критерии за вземане на решение в условията на риск и неопределеност;
- Разработен е алгоритъм позволяващ намирането на решение с всички разгледани критерии. Алгоритъмът автоматизира изчислението на стойностите на параметрите на мехатронния продукт, върху които има наложени ограничения или се търси оптимална стойност. Това води до съществено намаляване на разхода на време;
- Решен е конкретен пример и на основата на анализ на резултатите са направени препоръки за приложимостта на отделните критерии.

Благодарности

Представеното в доклада изследване се финансира от научноизследователски проект №161ПР0006-06.



Литература:

1. Вошинин, А.П., Г.Р. Сотиров. Оптимизация в условиях неопределенности. София, МЭИ, Техника, 1989.
2. Зайченко, Ю.П. Исследование операций. Киев, Выща школа, 1988.
3. Сапунджиев, Г.Н. Вземане на решения в системите за управление. София, МП Издателство на ТУ София, 2004.
4. Kmietowicz, Z.W., A.D. Pearman. Decision Theory and Incomplete Knowledge. Gower, Hampshire, England, 1981.
5. Kochenderfer, M.J. Decision Making Under Uncertainty. Theory and Application. MIT Press, Cambridge, 2015.
6. Malakov, I., V. Zaharinov. Interactive Software System for Multicriteria Choosing of the Structural Variant of Complex Technical Systems. Annals of DAAAM, DAAAM International, Vienna, Austria, 2012.
7. Nikolov St., G. Kozlev. An approach for design automation of end-effector connecting surface for industrial robots. CAx Technologies, брой 3, декември 2015 г., ISSN1314-9628, (32-36).
8. Simeonovová, I., A. Gyurov, S. Simeonov. Modern methods for manufacturing planning and scheduling. MM Science Journal, vol. 2015, no. 9, p. 1-3
9. Wang, J.X. What every engineer should know about decision making under uncertainty. Marcel Dekker, New York, 2002.

**CHOICE OF AN OPTIMAL VARIANT OF A MECHATRONIC PRODUCT
UNDER RISK AND UNCERTAINTY**

Malakov I., Zaharinov V.

Abstract: *The present paper studies the choice of an optimal variant of a mechatronic product under risk and uncertainty. A problem definition is made and a mathematical model for solving the problem is proposed for cases when the uncertainty is described through states of the environment. A systematization of various decision making criteria applicable under risk and uncertainty. An algorithm for choosing of an optimal variant of a mechatronic product under risk and uncertainty is proposed. An example problem is solved by applying the proposed algorithm and various decision making criteria.*

Данни за авторите:

Иво Кръстев Малаков, професор доктор инж., катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел.: 965 37 00, e-mail: ikm@tu-sofia.bg

Велизар Велизаров Захаринов, гл. асистент доктор инж., катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел.: 965 37 63, e-mail: vzaharinov@tu-sofia.bg