

Кучеров А.С., Пупков Е.А., Мазуренко А.А.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ

Задача выбора альтернативы по многим критериям в общем случае не имеет математического решения, и выбор этот, так или иначе, сводится к поиску наилучшего компромисса между заданными критериями. При этом используется экспертная информация, отражающая систему предпочтений лица, принимающего решения.

Задача формулируется следующим образом. Задано множество альтернатив $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ и множество критериев эффективности $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$. Необходимо упорядочить альтернативы по степени их соответствия критериям эффективности.

В работах [1, 2] предложен подход, основанный на использовании методов нечёткой логики.

Определим нечёткие множества

$$\tilde{C}_i = \left\{ \frac{\mu^i(u_1)}{u_1}, \frac{\mu^i(u_2)}{u_2}, \dots, \frac{\mu^i(u_n)}{u_n} \right\}, i = \overline{1, m}, \quad (1)$$

где $\mu^i(u_j)$ – функция принадлежности (ФП), характеризующая степень принадлежности альтернативы u_j множеству \tilde{C}_i [3].

Для определения ФП экспертным путём формируются матрицы попарных сравнений альтернатив

$$A^i = \left\| a_{jk}^i \right\|, i = \overline{1, m}; j, k = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где a_{jk}^i – оценка степени важности альтернативы u_j по сравнению с альтернативой u_k по i -му критерию.

Определение ФП сводится к задаче нахождения собственного вектора матрицы A^i [4]:

$$\omega^i = (\omega_1^i, \omega_2^i, \dots, \omega_n^i), \quad A \cdot \omega = n \cdot \omega. \quad (3)$$

Решение указанной задачи тривиально; в системе Mathcad, например, собственный вектор матрицы рассчитывается с помощью стандартной функции

$eigenvecs(A)$.

Значения функции принадлежности рассчитываются с помощью следующего выражения:

$$\mu^i(u_j) = \frac{\omega_j^i}{\omega_1^i + \omega_2^i + \dots + \omega_n^i}. \quad (4)$$

Согласно принципу Беллмана-Заде [3], оптимальной является альтернатива u^* , для которой максимальна функция принадлежности нечёткому множеству

$$\tilde{D} = \tilde{C}_1 \cap \tilde{C}_2 \cap \dots \cap \tilde{C}_m. \quad (5)$$

Рассмотрим два варианта решения задачи.

1. Все критерии эффективности равнозначны (имеют одинаковую важность).

Тогда

$$\tilde{D} = \left\{ \frac{\min_{i=1, \dots, m} [\mu^i(u_1)]}{u_1}, \frac{\min_{i=1, \dots, m} [\mu^i(u_2)]}{u_2}, \dots, \frac{\min_{i=1, \dots, m} [\mu^i(u_n)]}{u_n} \right\}. \quad (6)$$

2. Критерий c_i имеет относительную важность $w_i \in [0;1]$, при этом

$$w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1. \quad (7)$$

Значения важностей критериев, так же как и значения важностей альтернатив, определяются путём их попарных сравнений.

В данном случае

$$\tilde{D} = \left\{ \frac{\min_{i=1,m} [\mu^i(u_1)]^{w_i}}{u_1}, \frac{\min_{i=1,m} [\mu^i(u_2)]^{w_i}}{u_2}, \dots, \frac{\min_{i=1,m} [\mu^i(u_n)]^{w_i}}{u_n} \right\}. \quad (8)$$

Рассмотрим применение описанного метода для выбора оптико-электронного телескопического комплекса (ОЭТК) космического аппарата дистанционного зондирования Земли по следующим критериях эффективности:

- c_1 : высота орбиты $H \in [600 \text{ км} \dots 650 \text{ км}]$;
- c_2 : ширина частотного диапазона $\Delta\lambda_p \rightarrow \max$;
- c_3 : разрешение на местности $L_M \rightarrow \min$;
- c_4 : ширина полосы обзора $B \rightarrow \max$;
- c_5 : масса ОЭТК $m \rightarrow \min$.

Рассматриваемые варианты ОЭТК (альтернативы) и их характеристики приведены в табл. 1.

В результате попарного сравнения альтернатив были определены следующие нечёткие множества:

$$\tilde{C}_1 = \left\{ \frac{0,036}{u_1}, \frac{0,110}{u_2}, \frac{0,155}{u_3}, \frac{0,244}{u_4}, \frac{0,454}{u_5} \right\};$$

$$\tilde{C}_2 = \left\{ \frac{0,045}{u_1}, \frac{0,313}{u_2}, \frac{0,403}{u_3}, \frac{0,045}{u_4}, \frac{0,195}{u_5} \right\};$$

$$\tilde{C}_3 = \left\{ \frac{0,042}{u_1}, \frac{0,378}{u_2}, \frac{0,244}{u_3}, \frac{0,294}{u_4}, \frac{0,042}{u_5} \right\};$$

$$\tilde{C}_4 = \left\{ \frac{0,166}{u_1}, \frac{0,061}{u_2}, \frac{0,041}{u_3}, \frac{0,343}{u_4}, \frac{0,389}{u_5} \right\};$$

$$\tilde{C}_5 = \left\{ \frac{0,030}{u_1}, \frac{0,435}{u_2}, \frac{0,231}{u_3}, \frac{0,205}{u_4}, \frac{0,117}{u_5} \right\}.$$

Таблица 1. Характеристики рассматриваемых ОЭТК

Показатель	Аркон	Аврора	Аврора-М	Pleiades	World-View-4
$?_p$, мкм	0,5	0,64	0,69	0,5	0,62
H, км	730	490	510	700	612
L_M , м	0,3	1,46	0,73	0,8	0,34
B, км	17,1	1,76	41,3	20	6
m, кг	1687	72,9	292	199	503

При равнозначных критериях эффективности получено следующее множество решений:

$$\tilde{D} = \left\{ \frac{0,030}{u_1}, \frac{0,061}{u_2}, \frac{0,041}{u_3}, \frac{0,045}{u_4}, \frac{0,042}{u_5} \right\}.$$

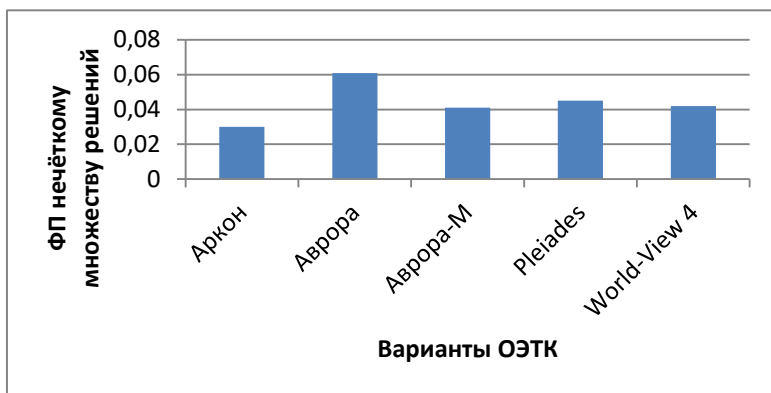
Соответственно, оптимальной является альтернатива u_2 , т.е. ОЭТК «Аврора» (рис. 1,а).

Произведём ранжирование критериев эффективности по важности. Пусть получены следующие показатели важности:

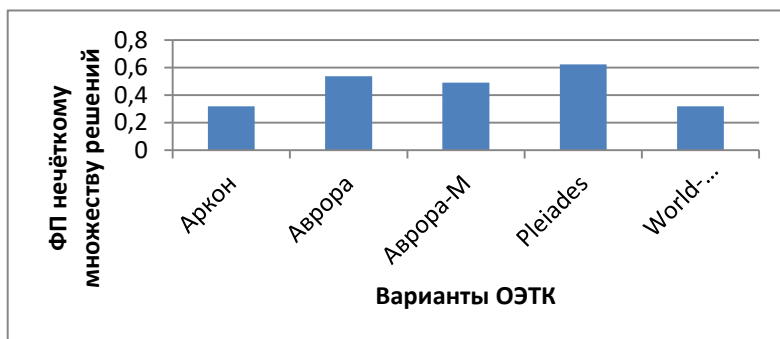
$$w_1=0,081; w_2=0,038; w_3=0,362; w_4=0,223; w_5=0,298.$$

Используя последовательно формулы (8) и (5), получим множество решений:

$$\tilde{D} = \left\{ \frac{0,317}{u_1}, \frac{0,536}{u_2}, \frac{0,491}{u_3}, \frac{0,642}{u_4}, \frac{0,317}{u_5} \right\}.$$



а



б

Рис. 1. Результат решения задачи при равной важности критериев (а) и различной важности критериев (б)

В данном случае оптимальной является альтернатива u_4 – ОЭТК КА «Pleiades» (см. рис. 1,б).

На рис. 2 показана степень соответствия альтернатив различным критериям.

Можно видеть, что различие между альтернативами минимально по первому и второму критериям (высота орбиты и ширина диапазона рабочих частот) и максимально по третьему и пятому критериям (разрешение на местности и масса ОЭТК).

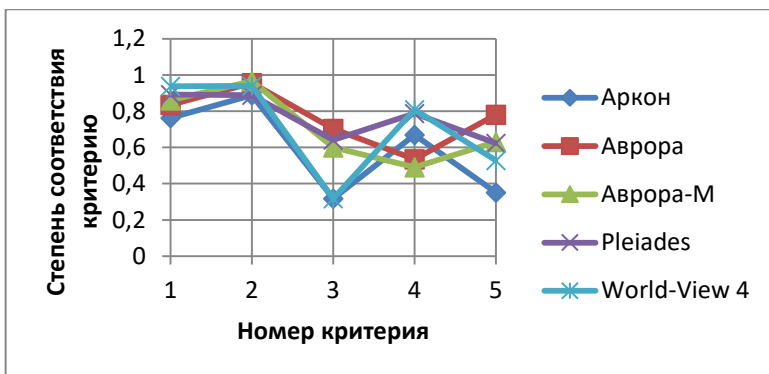


Рис. 2. Соответствие альтернатив критериям

Результаты данного анализа следует использовать при формировании системы предпочтений лица, принимающего решения.

Библиографический список

1. Rotshtein, A.P. Fuzzy Multicriteria Analysis of Variants with the Use of Paired Comparisons / A.P. Rotshtein and S.D. Shtovba // Journal of Computer and Systems Sciences International – 2001. – Vol. 40. – № 3. – P. 499–503.

2. Сазонов, А.Е. Использование метода экспертных отношений предпочтения для оценки уровня совершенства системы управления безопасностью морского судна / А.Е. Сазонов, Г.С. Осипов, В.Д. Клименко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2013. – № 3(19). – С. 94–104.

3. Беллман, Р. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л. Заде // Вопросы анализа и принятия решений. – Москва: Мир, 1976. – С. 172–215.

4. Саати, Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т.Л. Саати. – Москва: Радио и связь, 1993. – 278 с.