

Куренков В.И., Кучеров А.С., Якищук А.А.

МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ В ЗАДАЧАХ РАЗРАБОТКИ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Эффективность сложных технических систем, к числу которых относятся изделия ракетно-космической техники, характеризуется целым рядом показателей, и поэтому задача оптимизации их проектных параметров является многокритериальной [1]. К числу методов принятия решений по многим критериям относится метод анализа иерархий (МАИ). Метод был разработан американским математиком Томасом Саати и с успехом применён к задачам принятия решений в экономике [2].

Принятие решений с помощью МАИ начинается с построения иерархической структуры, на каждом уровне которой рассматриваются различные альтернативы: целей, критериев, вариантов решений и других рассматриваемых факторов, влияющих на выбор, и отражает понимание проблемы лицом, принимающим решение. Затем, на каждом уровне построенной иерархии, осуществляется сравнение возможных альтернатив с помощью процедуры попарных сравнений. Установлено, что такая процедура при экспертном сравнении альтернатив позволяет получить более объективные результаты, чем процедура, требующая ранжирования альтернатив по всей их совокупности [2]. На каждом уровне иерархии результат сравнения оформляется в виде матрицы

$$A = \|a_{ij}\|, \quad i, j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где

$$a_{ij} = \omega_i / \omega_j; \quad (2)$$

ω_i, ω_j – показатели качества соответственно i -ой и j -ой альтернатив, рассматриваемых на данном уровне; n – общее число альтернатив.

При этом:

$$a_{ji} = 1/a_{ij}, \quad a_{ii} = 1, \quad i, j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Из выражения (2) следует, что

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \omega_j = n \omega_i, \quad i = \overline{1, n} \quad (4)$$

или в матричной форме

$$A \cdot \omega = n \cdot \omega. \quad (5)$$

Таким образом, вектор ω , компонентами которого являются показатели качества альтернатив, может быть найден как собственный вектор матрицы A [2].

Тогда удельный вес i -ой альтернативы характеризуется показателем

$$\eta_i = \frac{\omega_i}{\sum_{j=1}^n \omega_j}. \quad (6)$$

На заключительном этапе анализа выполняется синтез выявленных приоритетов и в результате определяется альтернатива с максимальным значением приоритета.

Наиболее типичным является случай двухуровневой иерархии, когда на первом иерархическом уровне рассматриваются различные критерии принятия решения, а на втором – частные показатели эффективности различных вариантов решения по данным критериям.

В работе рассматривается пример использования МАИ применительно к задаче выбора топлива для ракеты-носителя. Для современных ракет-носителей, при проектировании которых используется системный подход, применяется следующий комплексный критерий эффективности:

$$W = \sum_{i=1}^n k_i W_i \rightarrow \max, \quad (7)$$

где k_i – удельный вес i -го частного показателя эффективности топлива; W_i – частный показатель эффективности; n – количество частных показателей эффективности.

В примере, рассмотренном в работе [3], использованы следующие показатели эффективности топлива: W_1 – энергетические возможности; W_2 – токсичность; W_3 – средняя плотность; W_4 – стабильность; W_5 – производственная база; W_6 – специальная производственная база; W_7 – стоимость.

Пусть в результате попарного сравнения частных показателей эффективности топлива экспертным путём получены следующие компоненты матрицы попарных сравнений a_{ij} (табл. 1). В табл. 1 приведены рассчитанные компоненты собственного вектора ω_i матрицы попарных сравнений удельные веса различных альтернатив η_i . В качестве таковых на первом уровне иерархии рассматриваются различные частные показатели эффективности ракетного топлива. Поэтому η_i играет роль параметра k_i в комплексном показателе эффективности (1).

Таблица 1 – Сравнительная оценка качества частных показателей эффективности

i	J							ω_i	η_i
	1	2	3	4	5	6	7		
1	1,00	0,66	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,55	0,20
2	1,50	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,32	0,30
3	0,50	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,77	0,10
4	0,50	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,77	0,10
5	0,50	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,77	0,10
6	0,50	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,77	0,10
7	0,50	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,77	0,10

Таблица 2 – Сравнительная оценка качества топлив по их энергетическим возможностям

Топливо	Кислород-водород	Кислород-керосин	Азотная кислота-НДМГ	Кислород-природный газ	ω_i	η_i
Кислород-водород	1,00	1,43	2,00	1,25	1,37	0,33
Кислород-керосин	0,70	1,00	1,40	0,88	0,96	0,23
Азотная кислота-НДМГ	0,50	0,71	1,00	0,63	0,69	0,17
Кислород-природный газ	0,80	1,14	1,60	1,00	1,10	0,27

По аналогии определяется качество различных топлив по частным показателям эффективности. Для примера в табл. 2 приведены значения a_{ij} , полученные в результате сравнения различных топлив по первому частному показателю эффективности (энергетическим возможностям). Здесь удельный вес альтернатив (вариантов топлива) η_i должен рассматриваться в качестве частного показателя эффективности W_i .

В табл. 3 приведены значения комплексного показателя эффективности W согласно (7).

Таблица 3 – Значения комплексного показателя эффективности.

	Топливо			
	Кислород-водород	Кислород-керосин	Азотная кислота-НДМГ	Кислород-природный газ
W	0,30	0,46	0,21	0,50

Как следует из табл. 3, наиболее эффективным является топливо «кислород-природный газ».

Библиографический список

1. В.И. Куренков, В. В. Салмин, Б. А. Абрамов. Основы устройства и моделирования целевого функционирования космических аппаратов наблюдения – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. – 296 с.
2. Т. Саати, Принятие решений. Метод анализа иерархий [Перевод с английского] – Москва: «Радио и связь» 1993. – 278 с.
3. В.И. Куренков, Основы проектирования ракет-носителей. Выбор основных проектных характеристик и формирование конструктивного облика – Самара: Изд. СГАУ, 2011.- 458 с.