

Список сокращений

СТС – сложная техническая система;
ТТХ – тактико-технические характеристики;
АБ – авиационная бомба;
УАБ – управляемая авиационная бомба;
КАБ – корректируемая авиационная бомба;
УПАБ – управляемо-планирующая авиационная бомба;
ГСН – головка самонаведения;

Методики сравнительной оценки технического уровня альтернативных вариантов СТС на примере УАР.

Технический уровень (ТУ) СТС – относительная характеристика качества СТС, основанная на сопоставлении показателей характеризующих техническое совершенство оцениваемой СТС, с соответствующими базовыми значениями.

Постановка задачи. Даны альтернативные варианты СТС и известны их ТТХ. Требуется разработать методику оценки их технического уровня на основе многокритериального выбора, лучшего варианта из заданных альтернатив.

Оценка технического уровня СТС методом весовых коэффициентов (МВК).

Для оценки ТУ методом ВК используется критерий:

$$K_{ТУ} = \sum_{i=1} K_{\Pi_i} \cdot \varphi_0(i),$$
$$\text{где } \varphi_0(i) = \frac{\bar{\varphi}(i)}{\sum \bar{\varphi}(i)}, \quad (1)$$

$K_{ТУ}$ - коэффициент технического уровня;

$\varphi_0(i)$ - функция нормирующая вес i -ого показателя;

$\bar{\varphi}(i)$ - среднее арифметическое значения весомости i -го показателя характеризующего техническое совершенство оцениваемой СТС.

Весомость i -го показателя $i = \overline{1, n}$ определяется по результатам моделирования, либо задается экспертным путем.

n - общее число показателей, учитываемых при определении $K_{ТУ}$. В качестве показателей рассмотрим основные ТТХ СТС;

K_{Π_i} - относительное значение i -го показателя, которое определяется по формуле (2)

$$K_{\Pi_i} = \frac{K_i}{K_{B_i}}, \quad (2)$$

если повышению ТУ соответствует увеличение i -го показателя. Либо по формуле (3)

$$K_{\pi_i} = \frac{K_{B_i}}{K_i}, \quad (3)$$

если повышению ТУ соответствует уменьшение i -го показателя.

K_i - величина i -го показателя СТС, ТУ которой подлежит определению;

K_{B_i} - величина i -го показателя образца аналога, принятого в качестве базового для сравнения;

Если в качестве аналогов принято несколько $S > 0$ образцов, i -ый показатель некоторого усредненного аналога определяется по формуле:

$$K_{B_i} = \sqrt[S]{K_{B_1} \cdot K_{B_2} \dots K_{B_S}}. \quad (4)$$

Считается, что при $K_{TV} > 1$ рассматриваемая СТС лучше, а при $K_{TV} \leq 1$ хуже или соответствует уровню выбранных аналогов. Если весомости показателей, рассматриваемые при определении K_{TV} , задаются экспертным путем, то для определения согласованности мнений экспертов используется следующие формулы математической статистики:

1) средне-арифметическое значение весомости i -го показателя

$$\bar{\varphi}(i) = \frac{\sum \varphi(i)_j}{m}, \quad (5)$$

$\varphi(i)_j$ - весомость i -го показателя, заданная j -ым экспертом, где $j = \overline{1, m}$, m - число экспертов.

Следует отметить, что в случае экспертного заключения весомости показателей их общее число n не должно превышать 9-ти ($n \leq 9$) по причине ограниченности человеческого восприятия;

2) средне-квадратическое отклонение весомости i -го показателя

$$\sigma(i) = \sqrt{\frac{\sum (\varphi(i)_j - \bar{\varphi}(i))^2}{m}}; \quad (6)$$

3) сумма рангов S_i по i -му показателю

$$S_i = \sum q_{ij}, \quad (7)$$

q_{ij} - ранг оценки весомости i -го показателя;

S_i - сумма рангов по i -му показателю;

4) среднее арифметическое значение суммы рангов по всем показателям

$$S = \frac{\sum S_i}{n}; \quad (8)$$

5) коэффициент изменчивости мнений экспертов по i -му показателю от среднего арифметического значения

$$V(i) = \frac{\sigma(i)}{\bar{\varphi}(i)} \cdot 100; \quad (9)$$

6) отклонение суммы рангов по i -му показателю от среднего арифметического значения

$$d_i = S_i - \bar{S}; \quad (10)$$

7) показатель связанности рангов

$$t_i = \sum_{l_i}^{L_i} (t_{l_i}^3 - t_{l_i}), \quad (11)$$

t_{l_i} - количество связанных рангов в этой группе по i -му показателю;

L_i - количество групп связанных рангов;

8) коэффициент конкордации, характеризующий согласованность мнений экспертов по всем показателям:

$$\omega = \frac{12 \sum d_i^2}{m^2(n^3 - 1) - m \sum T_i}, \quad (12)$$

m - количество экспертов;

n - число показателей;

при согласованности мнений экспертов $\omega > 0$;

9) фактическое значение критерия χ^2 (хи)

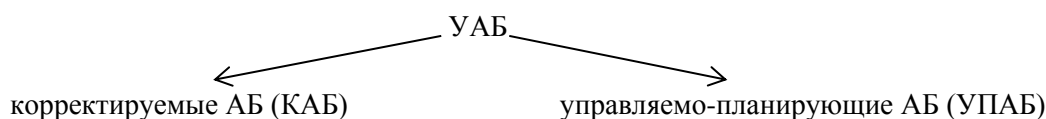
$$\chi_\phi^2 = \frac{12 \sum d_i^2}{m \cdot n \cdot (n + 1) - \frac{1}{n - 1} \cdot \sum T_i}. \quad (13)$$

Распределение χ^2 дает возможность оценить степень согласованности χ_{msop} и χ_ϕ . Для определения теоретического значения $\chi(\nu, p = 1 - \mu)$ необходимо задать уровень значимости $\mu \approx 5\%(0,05)$ и определить число степеней свободы $\nu = n - 1$ (таблицы теоретической вероятности Венцеля)

Если χ_ϕ^2 получается не меньше табличного, следовательно, согласованность мнений экспертов достаточная.

Применение МВК на примере сравнительного анализа УАБ.

УАБ состоит из головки самонаведения (ГСН), боевой части, системой управления, органов управления, двигатель-ускоритель для увеличения пробивающей способности.



Траектория формируется таким образом, чтобы минимизировать величину отклонений центра масс от баллистической траектории. Для поражения малоразмерных прочных целей при подавленной ПВО. ДД – короткая (до 5 км), малая - 5 ÷ 15 км, средняя 20 ÷ 30 км, большая 30-70 км, сверхбольшая >70 км, калибр 129, 9761 кг.

УПАБ используются в составе ударного авиационного комплекса для выполнения наиболее ответственных боевых задач без вхождения в зону объектовых средств поражения.

МВК состоит из 3-х процедур:

1) определение показателей используемых для СА разрабатываемого образца.

Все показатели подразделяются на *классификационные* и *оценочные*. *Классификационные* характеризуют назначение и область применения данного изделия. Их значение позволяет выделить

аналог для последующего его сопоставления со сравниваемыми образцами. Применительно к УАБ – калибр, тип ГСН, дальность применения, тип боевой части, показатели наличия дополнительных устройств или свойств. *Оценочные* показатели характеризуют функциональные и стоимостные свойства образца. Они используются непосредственно для сопоставления оцениваемого образца с аналогами. К *оценочным* относятся: показатели назначения, надежности, безопасности, стоимости.

В качестве показателей назначения устанавливаются следующие ТТХ:

- точность наведения;
- массогабаритные характеристики образца и его составляющих, их относительные показатели;
- условия и режимы боевого применения, к которым относят: \max и \min высоты полета, углы и скорости встречи УАБ с преградой, \max дальность сброса, относительный коэффициент автономности полета, круглосуточности всепогодности применения.

Показатели надежности и безопасности:

- вероятность безотказного функционирования УАБ в течение полета совместно с самолётом-носителем и в автономном полёте;
- среднее число отказов в течение заданного времени эксплуатации;
- характеристики взрыва при срыве;
- характеристики стойкости в случае поражения осколками при огневом воздействии противника.

Показатели стоимости: стоимость разработки, изготовления, эксплуатации, хранения и утилизации. Общее число показателей в случае преувеличения экспертов для оценки их значимости по причине ограниченности человеческого восприятия ≤ 9 . Так для экспертной оценки УАБ, предназначенных для поражения прочных целей, могут быть включены: точность наведения, масса боевой части, степень круглосуточности, степень автономности, \max дальность сброса, стоимость разработки.

Для УАБ (прочно, глубоко заложенные цели) значимыми могут быть:

h_{np} - глубина проникания в грунт или параметры, влияющие на величину (V_c, θ_c - угол подхода к цели), а также значимым показателем может быть радиус зоны разрушения:

$$R_p = K_p \sqrt[3]{m_{BB}},$$

K_p - тип преграды,

m_{BB} - масса ВВ;

2) определение весомости показателей (ВП).

Для определения ВП используется МЭО (метод экспертных оценок), при котором экспертам предлагается перечень показателей для указания их весомости. При разработке УАБ проведена ЭО значимости показателей и сведена в таблице «а».

$$\begin{aligned} \sum \varphi(i) &= 3,606 \\ \sum (K_{\Pi_i} \cdot \varphi) &= 4,089 \\ K_{TV} &= \frac{4,089}{3,606} = 1,134 \end{aligned}$$

Так как $K_{TV} > 1$, то разрабатываемая УАБ лучше аналогов.

Пределы изменения K_{TV}	Прогнозная оценка
1,05 ÷ 1,065	неперспективно
1,07 ÷ 1,13	малоперспективно

$1,135 \div 1,265$	перспективно
$1,27 <$	весьма перспективно

Таблица «а».

Рассматриваемая методика позволяет:

- 1) проводить анализ влияния каждого показателя или их совокупности на общий ТУ;
- 2) оценить ТУ нескольких вариантов и выбрать лучший;
- 3) определять соответствие разрабатываемого образца

Недостаток: метод определения ТУ требует сравнения с аналогом, при этом альтернативы друг с другом не сравниваются, а соотносятся последовательно через базу.

МВК целесообразно использовать при проведении сравнительного анализа базового образца с модернизированными альтернативами.

Была написана программа, реализующая алгоритм метода весовых коэффициентов (приложение 1).

Учитываются следующие весовые показатели:

- 1) **Фбоевой** (F_{combat}) – точность наведения, поражающий фактор, скорость соударения с целью, угол подхода к цели и т.д.;
- 2) **Фтактический** (F_{tactical}) – степень автономности, дальность применения, продольный/поперечный размер зоны возможных сбросов, степень реализации захвата и т.д.;
- 3) **Фнадёжности** ($F_{\text{reliability}}$) – вероятность безотказной работы;
- 4) **Фвыживаемости** (F_{survival}) – величина эффективной поверхности рассеивания, возможность противоракетного маневрирования, наличие горизонтального участка полёта, минимальная высота горизонтального участка полёта;
- 5) **Фэксплуатационно-технический** ($F_{\text{operational}}$) – назначенный ресурс, срок службы, контролепригодность и т.п.)
- 6) **Фтехнологический** ($F_{\text{technological}}$) – степень преемственности;
- 7) **Фэкономический** ($F_{\text{economical}}$) – стоимость разработки, аппаратуры изделия, эксплуатации, снятия с вооружения и утилизации.

Приложение 1.
Программа, реализующая алгоритм метода весовых коэффициентов.

[illegible]

comparative evaluation of alternative options

Method of expert evaluations

	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Expert 6
w.ind-tor 1	9,5	8,5	9	10	9	10
w.ind-tor 2	8	8,5	6	10	8	8,5
w.ind-tor 3	8	7	8,5	8	7	8
w.ind-tor 4	6	5	8	6	6	4
w.ind-tor 5	5	6	4	6	6	4

5

Count of indicators

6

Count of experts

3

Count of analogues

Example


Random evaluations

	GBU-0	GBU-1	GBU-2
Fc	3,5	5	5
Ft	380	355	453
Fr	0,62	0,62	0,62
Fs	0,5	0,5	0,5
Fo	25	20	20

Compare

Clear

Results



fi = 3,625

sum = 4,112

Kts = 1,134

The developed GBU is better than analogues

$F_i(i)$	$F_{i0}(i)$	$G(i)$	$V(i)$	$K_{ni}(i)$
0,933	0,257	0,055	5,923	1,429
0,817	0,225	0,118	14,431	0,948
0,775	0,214	0,056	7,213	1,000
0,583	0,161	0,121	20,800	1,000
0,517	0,143	0,090	17,372	1,250

1. Таблица оценки экспертами (expert) весовых показателей (weight indicators).
2. Таблица весовых показателей, сравниваемой АБ (GBU-0) и аналогов (Guided bomb units).
3. Таблица результативных расчётов.

Данная программа позволяет сравнить данный исходный образец (GBU-0) с различным количеством аналогов (но не больше 3) при помощи метода весовых коэффициентов.