

УДК 623.451.027:621:396.93

## **Системы наведения для управляемых авиационных бомб**

Обносов Б.В., Очковский А.А.

### **Аннотация**

В работе описывается методика попарного сравнения систем наведения управляемых авиационных бомб (УАБ). В качестве показателей эффективности были использованы критерии, характеризующие полезный эффект от применения УАБ, и отражающие возможность круглосуточного и всепогодного применения. Учет основных критериев эффективности позволяет адекватно охарактеризовать качество системы наведения УАБ в иерархической структуре комплекса авиационного вооружения (КАВ) и сформировать приоритетный ряд альтернативных систем наведения (СН).

### **Ключевые слова**

управляемая авиационная бомба; комплекс авиационного вооружения; система наведения; критерий эффективности; метод анализа иерархий.

В настоящее время в составе КАВ ударных летательных аппаратов имеется большая номенклатура неуправляемых и управляемых средств поражения, позволяющая выполнять задачи по поражению различных целей в оперативной и тактической глубине. Одним из типов систем высокоточного оружия являются УАБ, имеющие достаточно высокую точность наведения и мощную боевую часть.

Совершенствование систем противодействия предъявляет все более жесткие требования к тактико-техническим характеристикам модернизируемых и разрабатываемых систем высокоточного оружия. С точки зрения решения задачи проектирования, УАБ представляет собой сложную техническую систему. Под проектированием здесь понимается процесс принятия проектно-конструкторских решений, направленных на получение

удовлетворяющего техническому заданию описания или, иначе, облика рассматриваемой системы [1].

Современный уровень разработок позволяет создать широкую номенклатуру УАБ, сочетая различные энерго-баллистические характеристики, возможность оснащения различными системами наведения и обеспечить надежное их функционирование в условиях противодействия. В этой связи одной из важных задач является обоснование выбора СН для перспективных УАБ. Структуру технической системы можно представить в виде следующего вектора [2].

$$\vec{V}_1 = \{k, m, \vec{y}_1 \dots \vec{y}_k, \vec{z}_1 \dots \vec{z}_m, \vec{v}_{1y} \dots \vec{v}_{ky}, \vec{v}_{2z} \dots \vec{v}_{mz}\}; \quad (1)$$

где  $k$ - число элементов, составляющих систему;  $m$  - число способов соединения между элементами;  $\vec{y}_i$ - вектор описывающий характеристики  $i$ -го элемента;  $\vec{z}_j$ -вектор описывающий характеристики  $j$ -го узла соединения;  $\vec{v}_{iy}, \vec{v}_{jz}$  - векторы характеризующие положение  $i$ -го элемента и  $j$ -го узла соединения в пространстве. Вектор  $\vec{V}_1$  - определяется на множестве допустимых структур  $V_{\text{дон}}$ .

Процесс функционирования системы описывается вектором

$$\vec{V}_2 = \{T_1 \dots T_q, u_1 \dots u_q, h_1 \dots h_s\}; \quad (2)$$

где  $T_i$  - параметр описывающий режим функционирования системы (поиск цели, самонаведение),  $u_i$  - функции управления, выбираемые для каждого режима,  $h_i$  - параметры среды. Каждая структура системы зависит от вектора проектных параметров  $\vec{\Pi} = \{\Pi_1 \dots \Pi_n\}$ ,  $a_i \leq \Pi_i \leq b_i$ , где  $a_i, b_i$  - априорно заданные границы. Качество проектируемой системы обычно оценивается по векторному критерию оптимальности  $\vec{I} = \{f_1 \dots f_r\}$ , определяемому на множестве допустимых структур

$$V = \{\vec{V}_1, \vec{V}_2\} \in V_{\text{дон}}.$$

Оптимизация на множестве  $\Omega = \Omega_x \cap V_{\text{дон}}$  по критерию  $\vec{I}$  позволяет решить задачу определения векторов  $V, \vec{\Pi}$ , где  $\Omega_x = \{\vec{\Pi} \mid a_i \leq \Pi_i < b_i, i = 1, n\}$ .

С учетом большого многообразия типов систем наведения УАБ и условий их применения возникает необходимость предварительного ограничения заданного множества  $V_{дон}$ , с целью снижения размерности задачи по обоснованию облика перспективных образцов.

Предлагаемая методика предназначена для формирования приоритетного ряда альтернативных СН УАБ и получения приоритетности критериев для их оценки. Принятие решения о приоритетности рассматриваемых образцов основано на методе анализа иерархических структур и попарного сравнения. В основу положены принципы декомпозиции, сравнительного анализа и синтезирования, позволяющие оценить альтернативные образцы по выбранным критериям и принять решение [3].

В качестве критериев выберем характеристики СН которые наиболее полно отражают основные свойства исследуемых образцов:

- наряд средств поражения обеспечивающих заданную вероятность поражения типовых расчетных объектов  $N$ ;
- максимальная дальность применения УАБ  $D$ , км;
- коэффициент круглосуточности применения  $T^*$ ;
- коэффициент всепогодности применения  $V^*$ ;
- стоимость изготовления образца  $C_{изг}$ .

где:  $N = \frac{\ln(1 - P_{зад})}{\ln(1 - P_{пор})}$ ; ( $P_{зад} = 0.8$  - заданная вероятность поражения цели,  $P_{пор}$  -

вероятность поражения расчетного объекта одним средством поражения)[4];

$$\bar{T} = \frac{T_{прим}}{24}; (T_{прим} - \text{возможное время применения СН в течение суток, ч});$$

$$\bar{V} = \frac{V_{прим}}{100}; (V_{прим} - \text{суммарное время возможности применения (выполнения задачи}$$

наведения) по условиям продолжительности при метеоусловиях (дождь, снег, туман, дымка), % к дням года).

В общем случае разработанная методика позволяет исследовать и другие дополнительные боевые, тактические и экономические критерии в зависимости от рассматриваемого ряда исследуемых альтернатив.

Итак, для выбора СН УАБ малой дальности, предназначенной для поражения особопрочных и малоразмерных наземных целей, рассмотрим пять СН с предварительно

рассчитанными экспертами значениями показателей  $i = 1, 2, 3, 4, 5$  приведенными в таблице 1[5].

Таблица 1

СН	N	D <sub>прим</sub> , км	T*	B*	C <sub>изг</sub>
ТВСН	4	10	0,5	0,55	0,7
ТПСН	3	10	0,99	0,92	1
ПЛСН	6	10	0,5	0,5	0,12
АРСН	9	15	0,7	0,95	0,5
БИСН	8	25	0,95	0,95	0,4

В таблице приняты следующие обозначения: ТВСН - телевизионная система наведения, ТПСН –тепловизионная СН, ПЛСН - полуактивная лазерная СН, АРСН - СН с активной радиолокационной ГСН, БИСН – инерциальная СН на базе бесплатформенной ИНС. Стоимость изготовления систем наведения принята в относительных единицах. К единице приравняем самую дорогую тепловизионную систему. Например, полная стоимость изготовления GBU-15 с ТВСН – \$128 тыс., а с ТПСН – \$182 тыс. [6].

Декомпозиция является важным элементом системного подхода при анализе и синтезе сложных технических систем. Поэтому на рисунке 1 построим структуру рассматриваемых систем наведения и критериев оценки в доминантную иерархию, состоящую из вершины, от которой идут промежуточные уровни к самому низкому уровню.

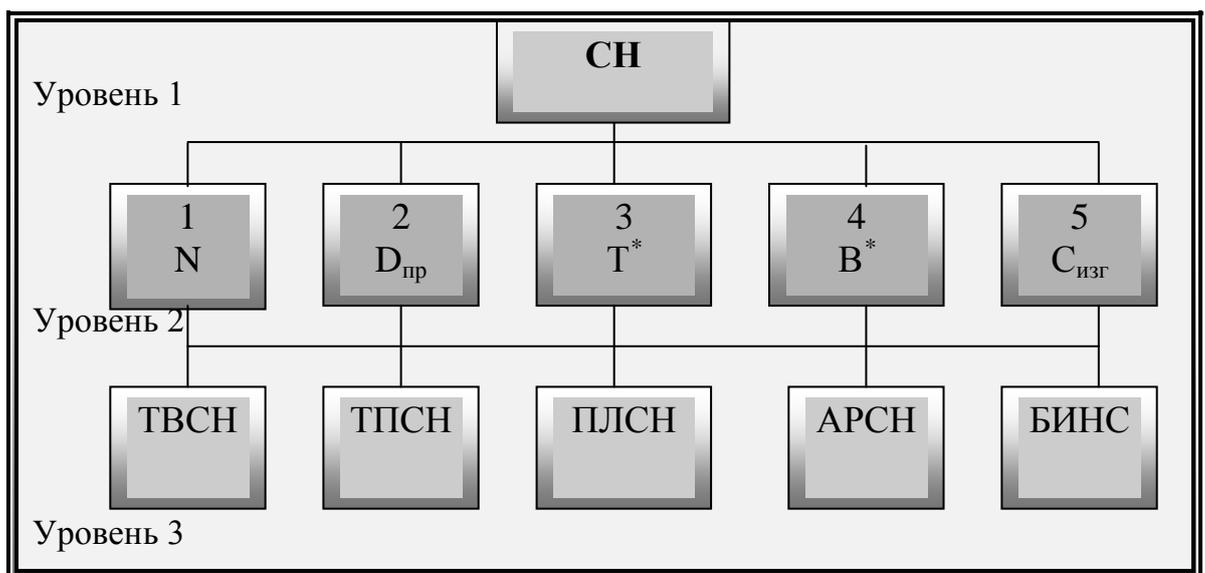


Рисунок 1

Закон иерархической непрерывности требует, чтобы элементы нижнего уровня иерархии сравнивались попарно по отношению к элементам вышестоящего уровня и так далее до вершины иерархии.

Сравнивая элементы каждого уровня иерархии попарно по отношению к их воздействию на общую характеристику можно получить квадратную матрицу, имеющую свойство обратной симметричности  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ .

$$M_1 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}$$

Если представить множество из n элементов как  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , а множество  $b_1, b_2, \dots, b_n$  - соответственно их интенсивности, то сравнить веса любых двух элементов множества по отношению к общему для них свойству (цели) можно следующим образом:

$$\begin{array}{c|cccc} & A_1 & A_2 & \dots & A_n \\ \hline A_1 & b_1/b_1 & b_1/b_2 & \dots & b_1/b_n \\ A_2 & b_2/b_1 & b_2/b_2 & \dots & b_2/b_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_n & b_n/b_1 & b_n/b_2 & \dots & b_n/b_n \end{array} = M_2$$

Величины  $b_1, b_2, \dots, b_n$  определяются с помощью шкалы относительной важности, приведенной в табл.2.

Таблица 2

Интенсивность относительной важности	Определения	Пояснения
1	Равная значимость	Равная значимость показателей для изделия данного назначения и условий его применения
3	Умеренное превосходство одного показателя над другим	Опыт и суждения дают легкое превосходство одного показателя над другим
⋮	.....	.....
9	Очень сильное превосходство	Очевидность превосходства подтверждается наиболее сильно

2,4,6,8	Промежуточные решения между двумя парными суждениями
1/9,1/8...1/2	Обратное сравнение

Сравнивая элементы второго уровня иерархии, получим матрицу попарных сравнений  $M_3$  и результат сведем в таблицу 3. В первой строке и первом столбце таблицы записаны применяемые показатели  $i = 1,2,3,4,5$ .

Таблица 3

Показатели	$N$	$D_{прим}$	$T^*$	$B^*$	$C_{изг}$
$N$	1	4	5	5	4
$D_{прим}$	1/4	1	3	4	3
$T^*$	1/5	1/3	1	2	4
$B^*$	1/5	1/4	1/2	1	4
$C_{изг}$	1/4	1/3	1/4	1/4	1

Определение весомости критериев осуществляется с левого элемента первой строки матрицы  $M_3$  в соответствии с элементами  $b_i/b_j$  матрицы  $M_2$ . Если показатель сравнивается с самим собой, отношение равно единице. Если первый показатель важнее чем второй, то используется целое число из таблицы 2, в противном случае - обратная величина. Таким образом, определяются все 25 элементов матрицы попарных сравнений для уровня 2.

Составление матриц попарных сравнений  $M_4, M_5, M_6, M_7, M_8$  для уровня иерархии 3 аналогично предыдущему шагу. Элементы матриц  $b_1/b_1, b_1/b_2 \dots$  определяются делением значений показателей соответствующей СН (табл.1) применительно к каждому используемому критерию ( $i = 1,2,3,4,5$ ) и результаты сводятся в таблицы 4,5,6,7 и 8.

Матрица попарных сравнений для критерия N

Таблица 4

N	ТВСН	ТПСН	ПЛСН	АРСН	БИНС
ТВСН	1	1,33	0,66	0,44	0,5
ТПСН	0,75	1	0,5	0,33	0,37
ПЛСН	1,5	2	1	0,66	0,75
АРСН	2,25	3	1,5	1	1,12
БИНС	2	2,66	1,33	0,88	1

Матрица попарных сравнений для критерия  $D_{\text{прим}}$ 

Таблица 5

$D_{\text{прим}}$	ТВСН	ТПСН	ПЛСН	АРСН	БИНС
ТВСН	1	1	1	0,66	0,4
ТПСН	1	1	1	0,66	0,4
ПЛСН	1	1	1	0,66	0,4
АРСН	1,5	1,5	1,5	1	0,6
БИНС	2,5	2,5	2,5	1,66	1

Матрица попарных сравнений для критерия  $T^*$ 

Таблица 6

$T^*$	ТВСН	ТПСН	ПЛСН	АРСН	БИНС
ТВСН	1	0,51	1	0,71	0,53
ТПСН	1,98	1	1,98	1,41	1,04
ПЛСН	1	0,51	1	0,71	0,53
АРСН	1,4	0,71	1,4	1	0,73
БИНС	1,9	0,96	1,9	1,36	1

Матрица попарных сравнений для критерия  $B^*$ 

Таблица 7

$B^*$	ТВСН	ТПСН	ПЛСН	АРСН	БИНС
ТВСН	1	0,59	1,1	0,58	0,58
ТПСН	1,67	1	1,84	0,96	0,96
ПЛСН	0,91	0,54	1	0,52	0,52
АРСН	1,72	1,03	1,9	1	1
БИНС	1,72	1,03	1,9	1	1

Матрица попарных сравнений для критерия  $C_{\text{изг}}$ 

Таблица 8

$C_{\text{изг}}$	ТВСН	ТПСН	ПЛСН	АРСН	БИНС
ТВСН	1	0,7	5,83	1,4	1,75
ТПСН	1,43	1	8,33	2	2,5

ПЛСН	0,17	0,12	1	0,24	0,3
АРСН	0,71	0,5	4,16	1	1,25
БИНС	0,57	0,4	3,33	0,8	1

Для определения локальных приоритетов из группы матриц попарных сравнений определяется набор локальных приоритетов, которые выражают относительное влияние множества элементов на элемент иерархии примыкающего сверху уровня.

При этом находится относительный вес каждого отдельного объекта через “решение” матриц, каждая из которых обладает обратной симметричностью. С этой целью производится вычисление множества векторов для каждой матрицы, а результат приводится к нормализованному виду. В итоге, формируется вектор приоритетов  $\bar{X}$ , составляющими которого являются собственные векторы строк матрицы  $M_2$ . Вычисление собственных векторов в таблице 9, производится путем определения среднего геометрического элементов каждой строки матрицы. Полученный таким образом столбец чисел нормализуется делением каждого числа на сумму всех чисел.

После определения локальных приоритетов осуществляется их согласованность с помощью индекса согласованности (ИС), который дает информацию о степени нарушения численной и порядковой согласованности матриц. Если согласованность сильно нарушена, то осуществляется поиск дополнительной информации, и исследования повторяются.

ИС в каждой матрице рассматриваемого уровня иерархии определяется следующим образом: сумма каждого столбца матрицы попарных сравнений  $\Sigma_i$  умножается на соответствующую компоненту нормализованного вектора  $x_i$  и полученные результаты в столбце суммируются. Таким образом, можно получить величину, обозначаемую  $\lambda_{\max}$ .

Таблица 9

i	1	2	3	4	5	Произведение П	$\sqrt[5]{\Pi}$ ( $a_i$ )	Оценка вектора пр-тетов ( $x_i$ )	Определение ( $\lambda_{\max}$ )
1	1	4	5	5	4	400	3,31	0,49	0,93
2	1/4	1	3	4	3	9	1,55	0,23	1,35
3	1/5	1/3	1	2	4	0,53	0,88	0,13	1,26
4	1/5	1/4	1/2	1	4	0,1	0,63	0,09	1,13

5	1/4	1/3	1/4	1/4	1	0,005	0,35	0,05	0,8
	$\Sigma_1=1,9$	$\Sigma_2=5,9$	$\Sigma_3=9,7$	$\Sigma_4=12,25$	$\Sigma_5=16$		$\Sigma=6,72$	$\Sigma=1$	$\lambda_{\max}= 5,47$

Значения величин  $x_i$  и  $\lambda_{\max}$  определяются в соответствии:

$$x_i = a_i / \sum_{i=1}^5 a_i ; \quad (3)$$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^5 (\Sigma_i \cdot x_i) . \quad (4)$$

Индекс согласованности вычисляется в соответствии с формулой:

$$ИС = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} ; \quad (5)$$

где: n - число сравниваемых образцов.

Применительно к симметричной матрице всегда соблюдается условие  $\lambda_{\max} \geq n$ . При абсолютной согласованности матрицы наблюдается равенство  $\lambda_{\max} = n$ .

В таблице 10 приведены средние согласованности для случайных матриц различного порядка.

Таблица 10

Размер матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайная согласованность (СС)	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Если разделить ИС на число, соответствующее случайной согласованности матрицы того же порядка, то получим отношение согласованности (ОС). Величина ОС не должна превышать 10%. Если ОС выходит из этих пределов, то необходимо провести дополнительные исследования.

Для второго уровня иерархии имеем индекс согласованности:

$$ИС = 0,1175; \text{ и отношение согласованности } ОС = \frac{ИС}{СС} = 0,1, \text{ т.е. } ОС=10\%, \text{ что}$$

свидетельствует об удовлетворительной согласованности матрицы  $M_3$ .

Локальные приоритеты и их согласованности для уровня 3 рассчитываются аналогично как и для уровня 2.

Для выявления глобальных приоритетов среди альтернативных вариантов СН УАБ в таблице 11 локальные приоритеты  $i = 1, 2, \dots, 5$ , располагаются под соответствующим критерием. Затем каждый локальный приоритет СН УАБ умножается на приоритет соответствующего критерия, и результат складывается вдоль каждой строки, т.е. для каждой СН УАБ.

Таблица 11

Показатель $i$		N	$D_{\text{прим}}$	$T^*$	$B^*$	$C_{\text{изг}}$
Вектор приоритета показателя		0,49	0,23	0,13	0,09	0,06
Приоритеты СН УАБ по каждому показателю	ТВСН	0,26	0,14	0,13	0,14	0,09
	ТПСН	0,34	0,14	0,27	0,24	0,07
	ПЛСН	0,16	0,14	0,14	0,13	0,54
	АРСН	0,11	0,21	0,19	0,24	0,13
	БИНС	0,12	0,36	0,26	0,25	0,16

В результате проведенных вычислений получим следующие приоритеты для каждого варианта СН УАБ:  $Pr_1 = 0,2$ ;  $Pr_2 = 0,26$ ;  $Pr_3 = 0,17$ ;  $Pr_4 = 0,16$ ;  $Pr_5 = 0,21$ . На рисунке 2 показано распределение показателя приоритета СН перспективных УАБ.

Сравнительный анализ приоритетов наглядно показывает, что при принятых исходных данных наиболее перспективным вариантом оснащения проектируемых образцов УАБ является ТПСН.

Высокий приоритет инерциальной СН обусловлен ее стоимостными характеристиками по сравнению с другими образцами.

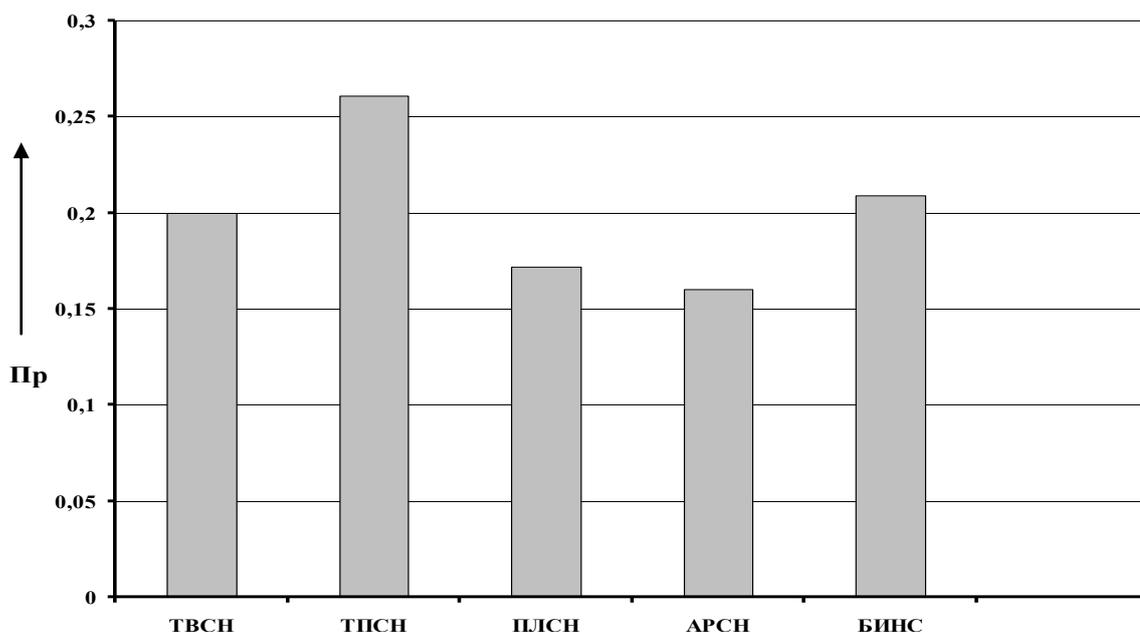


Рисунок 2

### **Библиографический справочник.**

1. Вишнякова Л.В., Кухтенко В.И., Слатин А.В. Применение методов де-композиции к задаче оптимального проектирования ЗРС и ее элементов на ранних этапах разработки. Известия РАН. Системный анализ и исследование операций. 1996г., N4. с. 606-616.
2. Балык В.М., Никулин А.М. Структурный синтез технических систем с векторным критерием. Сборник научных трудов. Системный анализ, информатика и оптимизация. 1996г. с. 214-236.
3. Саати Т. Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М. Радио и связь, 1991г. – 224 с.
4. Боевое применение и эффективность комплексов авиационного вооружения. М. ВВИА. 1992г. с. 267-315.
5. Дмитриев В. Новые управляемые авиационные бомбы. Зарубежное военное обозрение. 1985г., N7. с. 198.
6. Ефимов Е.В. Управляемые авиационные бомбы зарубежных стран. Зарубежное военное обозрение. 1995., №4. с. 234.

### **Сведения об авторах**

Обносков Борис Викторович, заведующий кафедрой Московского авиационного института (национального исследовательского университета), д.т.н., МАИ, Волоколамское ш., 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993; тел.: (499) 158-46-02, e-mail: kaf701mai@mail.ru

Очковский Александр Алексеевич, доцент Московского авиационного института (национального исследовательского университета), e-mail: [ochkovsky@bk.ru](mailto:ochkovsky@bk.ru)