

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ГИПЕРВЕКТОРНОГО РАНЖИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА ЭНЕРГОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

©2009 В. В. Сафронов, А. С. Жебраков

ОАО «Конструкторское бюро «Электроприбор», г. Саратов

Рассматривается задача выбора эффективных вариантов энергосиловых установок и вариантов их конструкции для различных летательных аппаратов на этапе проектирования, которая сводится к задаче гипервекторного ранжирования. Предлагается метод ее решения, основанный на методе «жесткого» ранжирования. Приведен численный пример.

*Энергосиловая установка, летательный аппарат, критерии, гипервекторное ранжирование*

Энергосиловая установка (ЭСУ) является важнейшей подсистемой любого подвижного объекта, в том числе, летательного аппарата (ЛА). На ЛА применяются различные варианты энергосиловых установок: ВРД (воздушно-реактивные двигатели), ПВРД (прямоточные воздушно-реактивные двигатели), СПВРД (сверхзвуковые прямоточные воздушно-реактивные двигатели), ГПВРД (гиперзвуковые прямоточные воздушно-реактивные двигатели), ЖРД (жидкостные ракетные двигатели), РДТТ (ракетные двигатели твердого топлива), РПДж (жидкостные ракетно-прямоточные двигатели), РПДт (ракетно-прямоточные двигатели твердого топлива) и ДД (детонационные двигатели), в том числе пульсирующие (ПДД) [1–3]. Характеристики ЭСУ во многом определяют эффективность функционирования всей системы. Поэтому актуальной является задача выбора эффективного варианта ЭСУ, а также эффективного варианта конструктивного исполнения принятой схемы ЭСУ, которая решается на этапе проектирования.

Выбор эффективного варианта энергосиловой установки (ЭСУ) предлагается осуществлять в следующей последовательности:

1. Составить дерево возможных вариантов ЭСУ для каждого класса подвижных объектов, например, летательных аппаратов.
2. Сформировать, исходя из предназначения ЭСУ, множество критериев, характеризующих её основные качества.
3. Определить коэффициенты важности критериев.

4. Решить задачу ранжирования и построить множество эффективных вариантов (кортеж Парето) или подмножество эффективных вариантов (подкортеж Парето) ЭСУ.

В аналогичной последовательности осуществляется и выбор эффективного варианта конструкции ЭСУ.

В качестве примера на рис. 1 показан фрагмент «дерева» вариантов ЭСУ для ЛА. Каждый из вариантов характеризуется одиннадцатью критериями  $K_{ij}$ , которые представлены двумя многовекторными компонентами (табл.1). В первую многовекторную компоненту входят 7 критериев ( $K_{11} - K_{17}$ ), заданных в интервальном виде. Вторая многовекторная компонента состоит из 4 критериев.

Необходимо осуществить ранжирование ЭСУ по рассматриваемой совокупности критериев и выбрать эффективный вариант. Такое сочетание критериев приводится впервые и позволяет, как показали исследования, всесторонне охарактеризовать ЭСУ.

В аналогичной последовательности осуществляется и выбор эффективного варианта конструкции ЭСУ. Каждый из вариантов конструкции, как показал анализ, характеризуется восемью критериями  $m_{kl}$ , представленными тремя многовекторными компонентами (табл.2). Первая компонента состоит из 4 критериев, из которых три критерия ( $m_{11}, m_{12}, m_{14}$ ) заданы в интервальном виде.

С использованием методов теории принятия решений предлагаемая система критериев позволяет проводить оценку мно-

жества различных ЭСУ. Для такой оценки широкое применение нашли различные методы ранжирования, например, [4–6].

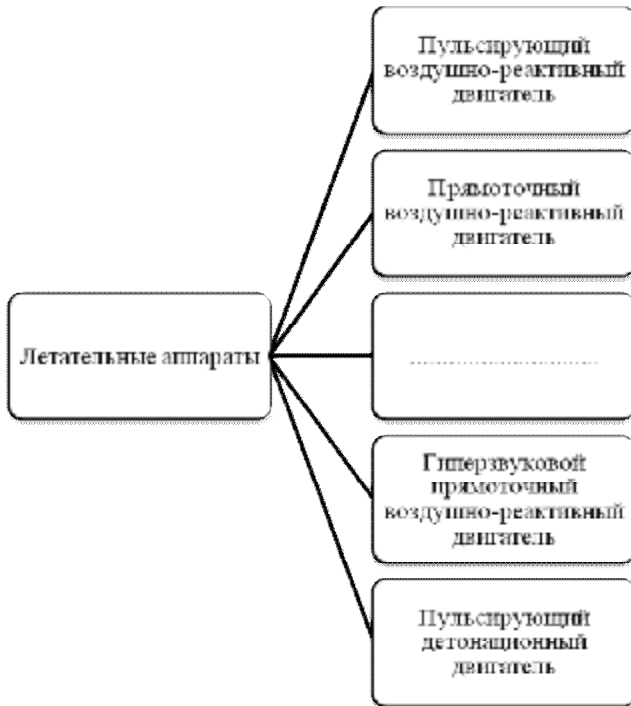


Рис.1. Дерево вариантов ЭСУ (фрагмент)

Таблица 1 - Критерии оценки типа ЭСУ

Характеристики	Критерии	Обозначение
Технические $K_1$	Масса	$K_{11}$
	Удельная тяга	$K_{12}$
	Коэффициент тяги	$K_{13}$
	Удельный расход	$K_{14}$
	Удельная масса двигателя	$K_{15}$
	Лобовая тяга	$K_{16}$
	Расходный комплекс	$K_{17}$
Эксплуатационные $K_2$	Сложность, технологичность конструкции	$K_{21}$
	Готовность к запуску	$K_{22}$
	Сложность эксплуатации	$K_{23}$
	Топливо	$K_{24}$

Как показывает анализ системы критериев, используемых для сравнения ЭСУ и конструкции ЭСУ, задача принятия решений сводится в данном случае к задаче гипервекторного ранжирования [7,8]. Рассмотрим постановку и метод решения такой задачи.

Таблица 2 - Критерии оценки конструкции ЭСУ

Характеристики	Наименование критерия	Обозначение
Тактические $m_1$	Время выхода на режим	$m_{11}$
	Частота пульсаций	$m_{12}$
	Возможность управления модулем тяги	$m_{13}$
	Масса силового блока (без топливного отсека)	$m_{14}$
Эксплуатационные $m_2$	Агрегатное состояние горючего при хранении	$m_{21}$
	Наличие специальной системы инициирования	$m_{22}$
Технологические $m_3$	Степень сложности и технологичности конструкции	$m_{31}$
	Наличие дополнительного окислительного компонента на борту	$m_{32}$

**Постановка и метод решения задачи гипервекторного ранжирования**

Введём необходимые в дальнейшем обозначения:

$$S = \{S_\alpha, \alpha = \overline{1, n}\} - \text{множество вариантов ЭСУ, где } n - \text{число ЭСУ;}$$

где  $n$  – число ЭСУ;

$$K(S_\alpha) = \{K_\varepsilon(S_\alpha), \varepsilon = \overline{1, E}\} - \text{множество многовекторных компонент } K_\varepsilon(S_\alpha), \text{ характеризующих вариант ЭСУ } S_\alpha \in S;$$

множество многовекторных компонент  $K_\varepsilon(S_\alpha)$ , характеризующих вариант ЭСУ  $S_\alpha \in S$ ;

$K_\varepsilon(S_\alpha) = \{K_{\varepsilon j}(S_\alpha), j = \overline{1, r_\varepsilon}\}$  – множество векторных компонент, характеризующих вариант ЭСУ  $S_\alpha$ ;

$K_{\varepsilon j}(S_\alpha) = \{K_{\varepsilon ji}(S_\alpha), i = \overline{1, r_{\varepsilon j}}\}$  – множество скалярных компонент, характеризующих вариант ЭСУ  $S_\alpha$ ;

$A = \{a_\varepsilon, \varepsilon = \overline{1, E}\}$  – множество коэффициентов важности многовекторных компонент, причем  $\sum_{\varepsilon=1}^E a_\varepsilon = 1$ ;

$A_\varepsilon = \{a_{\varepsilon j}, j = \overline{1, r_\varepsilon}\}$  – множество коэффициентов важности векторных компонент, причём  $\sum_{j=1}^{r_\varepsilon} a_{\varepsilon j} = 1, \varepsilon = \overline{1, E}$ ;

$A_{\varepsilon j} = \{a_{\varepsilon ji}, i = \overline{1, r_{\varepsilon j}}\}$  – множество коэффициентов важности скалярных компонент, причём

$$\sum_{i=1}^{r_{\varepsilon j}} a_{\varepsilon ji} = 1, j = \overline{1, r_\varepsilon}, \varepsilon = \overline{1, E};$$

$S^\pi$  – множество эффективных (Парето оптимальных) вариантов ЭСУ с числом элементов  $n^\pi, S^\pi \in S$ ;

$S_p^0 \in S^\pi$  – варианты ЭСУ, которые входят в множество эффективных решений,  $p \in \{1, n\}$ ;

$D(S_\alpha) = \{D_i(S_\alpha), i = \overline{1, M}\}$  – множество ограничений, зависящих от варианта ЭСУ. При выборе вариантов ЭСУ должны выполняться условия

$$D_i(S_\alpha) \leq D_i^0, i = \overline{1, M}, \quad (1)$$

где  $D_i^0$  – допустимое значение  $i$ -го ограничения,  $M$  – число ограничений;

$P = \{S_{k_1}^0, S_{k_2}^0, \dots, S_{k_{n^\pi}}^0\}$  – упорядоченное множество эффективных вариантов ЭСУ (кортеж Парето); элементы кортежа ранжированы в соответствии с решающими правилами так, что выполняется условие

$$S_{k_1}^0 \succ S_{k_2}^0 \succ \dots \succ S_{k_i}^0 \succ \dots \succ S_{k_{n^\pi}}^0,$$

где « $\succ$ » – знак отношения доминирования,  $k_i \in \{1, 2, \dots, n\}$ . Длина кортежа равна  $n^\pi$ ;

Допустим, известны множества

$$A, A_\varepsilon, A_{\varepsilon j}, S, K_{\varepsilon j}(S_\alpha), D(S_\alpha),$$

( $\alpha = \overline{1, n}; \varepsilon = \overline{1, E}; j = \overline{1, r_\varepsilon}$ ), решающие правила.

Требуется найти кортеж Парето  $P$ , для элементов которого справедливо

$$K(S_p^0) = \min_{S_\alpha \in S} K(S_\alpha), S_p^0 \in P \quad (2)$$

и выполняется условие (1).

Пусть нам известен метод ранжирования систем по совокупности скалярных компонент  $K_{\varepsilon j}(S_{\alpha\varepsilon}), \varepsilon = \overline{1, E}, j = \overline{1, r_\varepsilon}$ , например, метод «жесткого» ранжирования [7,8]. После его применения будут построены частные кортежи Парето, которые позволят однозначно определить расположение варианта ЭСУ  $S_\alpha$  относительно других вариантов по каждой векторной компоненте. Причём выявляются как доминирующие (доминируемые), так и эквивалентные варианты ЭСУ. Это позволяет придать всем векторным компонентам некоторые числа, значения которых зависят от расположения вариантов ЭСУ: для доминируемых вариантов ЭСУ эти значения больше, чем для доминирующих, а для эквивалентных вариантов ЭСУ эти значения будут равными. Назовём такие числа *псевдозначениями* (рангами) векторных компонент. Введение таких псевдозначений позволяет вновь применить метод «жесткого» ранжирования (число обращений к методу будет равно числу многовекторных компонент, т. е.  $E$  раз) и построить частные кортежи Парето. В результате решения задачи получаем расположение вариантов ЭСУ по совокупности многовекторных компонент  $K_\varepsilon(S_\alpha), \varepsilon = \overline{1, E}$ . Это, в свою очередь, позволяет обоснованно ввести псевдозначения многовекторных компонент и вновь обратиться к методу «жесткого» ранжирования. В итоге и будет построен искомым кортеж Парето. Более подробно методы ранжирования рассмотрены в [7,8].

*Методика решения задачи гипервекторного ранжирования*

1. Провести анализ исходной информации, формирование критериев оценок моделей, определить коэффициенты важности критериев.
2. Провести ранжирование вариантов ЭСУ по множеству скалярных компонент каждой векторной компоненты.
3. Определить псевдозначения векторных компонент.
4. Провести ранжирование вариантов ЭСУ по множеству векторных компонент (построить частные кортежи Парето).
5. Определить псевдозначения многовекторных компонент.
6. Построить кортеж Парето.
7. Провести анализ результатов решения.
8. В случае необходимости уточнить исходные данные. Перейти к шагу 2. В противоположном случае перейти к шагу 9.
9. Конец решения.

Рассмотрим теперь основные идеи метода жёсткого ранжирования. Без потери общности изложение будем проводить для систем  $S_\alpha, \alpha = \overline{1, n}$ , свойства которых задают с помощью критериев  $K_j(S_\alpha), j = \overline{1, r}$ .

Допустим, известны множества  $S, K(S_\alpha), \bar{A}$ . Необходимо построить кортеж (подкортеж) Парето. Множество  $S$  при решении задачи ранжирования представляет собой множество вариантов ЭСУ (уже сформированных). В ходе решения задачи будем анализировать множество упорядоченных пар сложных систем  $S_k, S_l (k = \overline{1, n}; l = \overline{1, n}; k \neq l)$ , а результат анализа заносить в специальную оценочную матрицу  $\|C_{kl}\|$ .

Сущность метода заключается в следующем.

1. На основе попарного сравнения вариантов ЭСУ  $S_k, S_l (k = \overline{1, n}; l = \overline{1, n}; k \neq l)$  определяем элементы  $C_{kl}$  оценочной матрицы  $\|C_{kl}\|$ . Значения элементов  $C_{kl}$  подбирают

таким образом, чтобы отсеять неэффективные варианты ЭСУ. У эквивалентных вариантов ЭСУ  $S_k, S_l$  все соответствующие критерии равны. Полагаем,  $C_{kl} = 1, C_{lk} = 1$ .

К числу неэффективных вариантов ЭСУ отнесем варианты, у которых:

а) все значения критериев  $k$ -го варианта хуже, чем у  $l$ -го варианта, тогда полагаем  $C_{kl} = N_2 \gg 1$ ;

б) значения  $m (m < r)$  критериев  $k$ -го варианта хуже соответствующих значений критериев  $l$ -го варианта при равных соответствующих значениях остальных критериев этих вариантов. Тогда полагаем  $C_{kl} = N_3, 1 \ll N_3 < N_2$ .

Если же для вариантов  $k, l$  ЭСУ имеем лучшие, худшие и, возможно, равные критерии, то значение  $C_{kl}$  определим по следующему методу.

Обозначим  $N_{kl}^+, N_{kl}^-, N_{kl}^-$  – соответственно подмножества номеров лучших, худших и равных критериев для каждой пары вариантов  $S_k, S_l (k = \overline{1, n}; l = \overline{1, n}; k \neq l)$ . Будем осуществлять попарное сравнение вариантов ЭСУ  $S_k, S_l$  на основе анализа критериев  $K_j(S_k), K_j(S_l), j = \overline{1, r}$ . Для возможных значений подмножеств номеров  $N_{kl}^+, N_{kl}^-, N_{kl}^-$  соответственно лучших, худших и равных критериев введем следующие значения элементов оценочной матрицы  $\|C_{kl}\|$ :

$$\text{если } N_{kl}^+ = \emptyset, N_{kl}^- = \emptyset, N_{kl}^- = \{\overline{1, r}\}, \quad (4)$$

$$\text{то } C_{kl} = 1, C_{lk} = 1; \quad (5)$$

$$\text{если } N_{kl}^+ = \{\overline{1, r}\}, N_{kl}^- = \emptyset, N_{kl}^- = \emptyset, \quad (6)$$

$$\text{то } C_{kl} = N_2, C_{lk} = 0, N_2 \gg 1; \quad (7)$$

$$\text{если } N_{kl}^+ = \emptyset, N_{kl}^- = \{\overline{1, r}\}, N_{kl}^- = \emptyset, \quad (8)$$

$$\text{то } C_{kl} = 0, C_{lk} = N_2; \quad (9)$$

$$\text{если } N_{kl}^+ \neq \emptyset, N_{kl}^- = \emptyset, N_{kl}^- \neq \emptyset, \quad (10)$$

$$\text{то } C_{kl} = N_3, C_{lk} = 0, 1 \ll N_3 < N_2; \quad (11)$$

$$\text{если } N_{kl}^+ = \emptyset, N_{kl}^- \neq \emptyset, N_{kl}^- \neq \emptyset, \quad (12)$$

$$\text{то } C_{kl} = 0, C_{lk} = N_3; \quad (13)$$

если  $N_{kl}^+ \neq \emptyset, N_{kl}^- \neq \emptyset, |N_{kl}^-| \geq 0$ , (14)

то определим  $C_{kl}$  в виде [5]:

$$C_{kl} = \sum_{j \in N_{kl}^+} a_j \times \left( \sum_{j \in N_{kl}^-} a_j \right)^{-1}, C_{lk} = C_{kl}^{-1}.$$

2. Для формулировки решающих правил (специальных неформальных правил, зависящих от специфики задачи и позволяющих провести ранжирование вариантов ЭСУ) введем числа:  $H_l$  – количество элементов в  $l$ -м столбце оценочной матрицы, значение которых больше единицы;  $M_l$  – количество элементов в  $l$ -м столбце той же матрицы, значение которых меньше единицы;  $C_{kl\max}$  – максимальное значение элемента в  $l$ -м столбце матрицы  $\|C_{kl}\|$ .

*Физический смысл чисел:*

$H_l$  показывает, сколько вариантов ЭСУ из рассматриваемого множества превышают  $l$ -й вариант;

$M_l$  – сколько вариантов доминирует  $l$ -й вариант ЭСУ;

$C_{kl\max}$  определяет, во сколько раз  $l$ -й вариант ЭСУ «превышается»  $k$ -м вариантом ( $k \in \{1, \dots, n\}, k \neq l$ ).

3. Для реализации «жесткого» ранжирования перейдем от одношагового процесса поиска приоритетного расположения вариантов ЭСУ в кортеже Парето к многошаговому процессу.

Общая идея заключается в следующем.

На каждом шаге  $t (t=1, 2, \dots, n-1)$  выбираем  $j$ -й вариант ЭСУ, лучший с точки зрения предлагаемого ниже решающего правила. Затем его номер включаем в множество  $P$  и в последующем рассмотрении  $j$ -й вариант больше не участвует (в матрице  $\|C_{kl}\|$  вычеркиваем  $j$ -ю строку и  $j$ -й столбец). Указанная процедура позволяет исключить влияние варианта  $S_j$  на выбор лучшего варианта ЭСУ, проводимого уже на шаге  $(t+1)$ .

*Решающие правила «жесткого» ранжирования*

1. Ранжирование необходимо проводить среди эффективных вариантов ЭСУ по шагам. Число шагов  $t \leq (n-1)$ . (15)

2. На каждом шаге  $t (t=1, 2, \dots, n-1)$ :

- найти числа  $H_l^{(t)}, M_l^{(t)}, C_{kl\max}^{(t)}$  и определить лучший вариант ЭСУ  $S_j$  с минимальным значением  $H_j^{(t)}$  и  $C_{lj} \geq 1 \forall l \in \{1, \dots, n\}, l \neq j$ ;
- номер  $j$  занести в множество  $P$ ;
- исключить из оценочной матрицы  $j$ -ю строку и  $j$ -й столбец.

Если ЭСУ с номерами  $l_j \in L_{k(t)} = \{l_1, l_2, \dots, l_j, \dots, l_{k(t)}\}$  имеют одинаковые минимальные значения  $H_{l_j}^{(t)}$ , то лучшим является вариант ЭСУ  $S_{l_j}$  с максимальным значением

$$M_{l_j}^{(t)} = \max_{l_j \in L_{k(t)}} M_{l_j}^{(t)}.$$

3. Если ЭСУ с номерами  $l_j \in L_{k(t)} = \{l_1, l_2, \dots, l_j, \dots, l_{k(t)}\}$  имеют соответственно одинаковые значения  $H_{l_j}^{(t)}, M_{l_j}^{(t)}$ , то из оценочной матрицы выделить подматрицу с номерами столбцов и строк  $l_j (j = \overline{1, k(t)})$  и провести ранжирование ее элементов.

4. Эквивалентные варианты ЭСУ  $S_{l_j}, l_j \in L_m \subseteq L_k$  упорядочить на основе анализа чисел  $H_l^{(1)}, M_l^{(1)}, C_{kl\max}^{(1)}$ , полученных на первом шаге.

*Методика решения задачи многокритериального ранжирования ЭСУ (методика МКР)*

1. Провести анализ исходной информации. Определить критерии, по которым будут сравниваться варианты ЭСУ, коэффициенты важности критериев или группы коэффициентов важности.

2. Вычислить элементы оценочной матрицы  $\|C_{kl}\|$ . С этой целью использовать выражения (4)–(15).

3. Определить неэффективные, в паретовском смысле, варианты ЭСУ. Запомнить их номера.

4. Провести ранжирование систем по шагам. Число шагов равно  $(n-1)$ . Положить  $t = 0$ .

5. Положить  $t = t + 1$ .

6. Найти числа  $H_i^{(t)}, M_i^{(t)}, C_{kl\max}^{(t)}$  и определить лучший вариант ЭСУ  $S_j$  с минимальными значениями  $H_i^{(t)}$ . Если таких вариантов несколько, то лучшим среди них будет вариант ЭСУ с максимальным значением  $M_i^{(t)}$ . Если число вариантов ЭСУ с равными максимальными значениями  $M_i^{(t)}$  более единицы, то лучшим будет вариант с минимальным значением  $C_{kl\max}^{(t)}$ .

Если лучшие варианты ЭСУ имеют соответственно равные значения  $H_i^{(t)}, M_i^{(t)}, C_{kl\max}^{(t)}$ , то такие варианты считают эквивалентными.

7. Запомнить номер  $j$ , занести его в кортеж Парето  $P$ .

8. Исключить из оценочной матрицы  $j$ -ю строку и  $j$ -й столбец.

9. Если  $t < (n-1)$ , перейти к шагу 5, иначе – к шагу 10.

10. Занести в множество Парето  $P$  оставшийся вариант ЭСУ.

11. Если задача решается для одной группы коэффициентов важности – перейти к шагу 13, иначе к шагу 12.

12. Если задача решается для множества групп коэффициентов важности, повторить шаги 2–10 нужное число раз. Перейти к шагу 13.

13. Провести анализ результатов решения. При необходимости повторить шаги 2–12. Перейти к шагу 14.

14. Конец решения.

На основе предлагаемого метода решена задача ранжирования ЭСУ, применяемых на ЛА различных классов (*авиационные ракеты, боевые блоки ракет, зенитные ракеты, реактивные снаряды, авиабомбы, баллистические ракеты, крылатые ракеты,*

*космические ЛА, самолеты, беспилотные ЛА*).

Анализ результатов решения позволил сделать следующие выводы:

1. Детонационный двигатель является весьма перспективным при использовании на ЛА следующих видов: *авиационные ракеты; боевые блоки ракет; зенитные ракеты; космические ЛА; самолеты; БП ЛА.*

2. Для *реактивных снарядов* оптимальным вариантом ЭСУ является РДТТ.

3. Для *баллистических ракет* эффективными вариантами будут ЖРД и РДТТ.

4. На *крылатых ракетах* целесообразно применение СПВРД.

Разработчик вправе принять и иное решение, анализируя полученные результаты. Вся информация о расположении вариантов ЭСУ в порядке убывания приоритета имеется.

С использованием метода гипервекторного ранжирования решена задача выбора эффективных вариантов конструктивного исполнения (КИ) ПДД, применяемых для ЛА различных классов: ПДД с кольцевой детонационной камерой (ДК) –  $S_1$ ; ПДД с газогенератором предварительного сжигания смеси –  $S_2$ ; ПДД с цилиндрической ДК, диффузором и эжекторным насадком –  $S_3$ ; ПДД с системой инициирования на основе генератора Гартмана –  $S_4$ . В результате решения задачи получен следующий кортеж Парето  $P = \langle S_3, S_1, S_2 \rangle$ , т. е. предпочтение следует отдать *третьему* варианту КИ ПДД. Первый и второй варианты занимают соответственно второе и третье места. Четвертый вариант КИ ПДД оказался неэффективным.

В статье рассмотрена прикладная задача обоснованного выбора ЭСУ и их конструктивного исполнения, возникающая на этапе проектирования. Предложена система критериев, с помощью которой возможно было бы осуществлять выбор варианта ЭСУ для его практического внедрения. Критерии целесообразно представить в виде многовекторных компонент. Особенностью ряда скалярных критериев является то, что они заданы в интервальном виде. Задача выбора эф-

фективных вариантов ЭСУ и вариантов их конструкции для различных летательных аппаратов (построения кортежей Парето) сводится в этом случае к задаче гипервекторного ранжирования. Предложен метод ее решения.

Использование предлагаемого подхода к сравнению и выбору оптимального варианта для конкретного ЛА позволит специалистам, связанным с разработкой ЭСУ, быть более объективными при решении практических задач.

Исследования проводятся в рамках гранта МО РФ

### **Библиографический список**

1. Алемасов, В.Е. Основы теории физико-химических процессов в тепловых двигателях и энергетических установках: учебное пособие для вузов / В.В. Алемасов, А.Ф. Дрегалин, А.С. Черенков. - М.: Химия, 2000. - 520 с.
2. Кулагин, В.В. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: учебник / В.В. Кулагин. - М.: Машиностроение, 2003. - 616 с.
3. Кривошеев, И.А. САПР авиационных двигателей: состояние и перспективы / И.А. Кривошеев // Информационные технологии. - 2000. № 1. - С. 8–15.
4. Ларичев, О.И. Наука и искусство принятия решений / О.И. Ларичев. - М.: Наука, 1979. - 200 с.
5. Руа, Б. Проблемы и методы решений в задачах со многими целевыми функциями / Б. Руа // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. - М.: Мир, 1976. - С. 20–58.
6. Саати, Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т.Л. Саати. - М.: Радио и связь. 1993. - 320 с.
7. Сафронов, В.В. Гипервекторное ранжирование сложных систем / В.В. Сафронов //

Информационные технологии. - 2003. № 5. - С. 23-27.

8. Сафронов, В.В. Основы системного анализа: методы многовекторной оптимизации и многовекторного ранжирования: Монография / В.В. Сафронов. - Саратов: Научная книга, 2009. - 329 с.

### **References**

1. Alemasov V.E., Dregalin A.F, Tcherenkov A.S. The bases of the theory of physical and chemical processes in thermal engines and energy-power plant: the Manual for high schools. M: Chemistry, 2000. 520 p.
2. Kulagin V.V. The theory, calculation and designing of aircraft engines and energy-power plant: the Textbook. M: Engineering industry, 2003. 616 p.
3. Krivosheyev I.A. SAPR of aircraft engines: a condition and prospects//the Informational production engineering. 2000. № 1. P. 8-15.
4. Larichev O.I. A science and decision-making art. M: the Science, 1979. 200 p.
5. Pya B. The Problems and the methods of solutions in problems with many object functions//Questions of the analysis and decision-making procedure. - M: the World, 1976. - P. 20-58.
6. Saaty T.L. A method of the analysis of hierarchies. M: Radio and communication. 1993. 320 p.
7. Safronov V.V. Hypervector ranging of difficult systems//the Informational production engineering. 2003. № 5. P. 23-27.
8. Safronov V.V. The bases of the system analysis: methods of multivector optimisation and multivector ranging: the Monography. - Saratov: the Scientific book, 2009. 329 p.

## USE OF THE MATHEMATICAL TOOL OF HYPERVECTOR RANGING FOR SELECTION ENERGY-POWER PLANT OF FLIGHT VEHICLES

© 2009 V. V. Safronov, A. S. Zhebrakov

«Electropribor» Design Bureau, Saratov

The problem of selection of effective versions energy-power plant and versions of their design for various flight vehicles at a design stage which is reduced to a problem of hypervector ranging is observed. The method of its solution based on a method of "rigid" ranging is offered. The numerical instance is resulted.

*Energy-power plant, a flight vehicle, criteria, hypervector ranging*

### Информация об авторах

**Сафронов Валерий Васильевич**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ОАО «КБ Электроприбор», г. Саратов. 410065, г. Саратов, 2-й Красноармейский тупик, д. 3. E-mail: [svv@kbep.ru](mailto:svv@kbep.ru). Область научных интересов: системный анализ, теория принятия решений, методы целочисленного программирования, векторная оптимизация сложных систем.

**Жебраков Алексей Сергеевич**, инженер-конструктор 2 категории ОАО «КБ Электроприбор», г. Саратов. 410065, г. Саратов, 2-й Красноармейский тупик, д. 3. E-mail: [zas@kbep.ru](mailto:zas@kbep.ru). Область научных интересов: системный анализ, силовые установки летательных аппаратов, детонация.

**Safronov Valery Vasilevich**, Doctor of Scientific Tech, the professor, The main scientific employee of «Electropribor» Design Bureau, Saratov. 410060, Saratov, 2nd Krasnoarmejsky dock, 3. E-mail: [svv@kbep.ru](mailto:svv@kbep.ru). Area of research: the system analysis, the decision-making theory, integer programming methods, vector optimisation of difficult systems.

**Zhebrakov Alexey Sergeevich**, The Design engineer of 2 classes of «Electropribor» Design Bureau, Saratov. 410060, Saratov, 2nd Krasnoarmejsky dock, 3. E-mail: [zas@kbep.ru](mailto:zas@kbep.ru). Area of research: the system analysis, power plants of flight vehicles, a detonation.