УДК 355/359

П.П. КРУТСКИХ, доктор технических наук, старший научный сотрудник
Т.В. РАДЗИЕВСКАЯ, доктор экономических наук, доцент

МЕТОДИКА ВЫБОРА ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНОГО ВАРИАНТА МОДЕРНИЗАЦИИ ОБРАЗЦА ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

Предложена экспертно-аналитическая методика выбора варианта модернизации вооружения и военной техники, учитывающая влияние факторов эффективности, затрат и времени на значение интегрального показателя предпочтения. В качестве примера рассмотрен возможный вариант модернизации авиационного комплекса.

***Ключевые слова**: модернизация вооружения и военной техники; эффективность; затраты; время; авиационный комплекс.*

При решении задачи оценки военно-экономической целесообразности модернизации ВВТ в качестве базового варианта $v_{\text{М}}$ обычно рассматривается образец штатного состава, а в качестве альтернативного варианта $v_{\text{С}}$ – тот же образец с модифицированными элементами, определяющими его эффективность в процессе боевого применения. Сравнение вариантов $v_{\text{М}}$ и $v_{\text{С}}$ можно осуществлять с использованием интегрального показателя предпочтения $\Pi_{\text{И}}$, обеспечивающего их порядковое ранжирование [1]. Методологические основы военно-экономического анализа, учитывающие специфические ограничения военной экономики, базируются на использовании системы (триады) показателей «эффект ($\Pi_{\text{Э}}$) – затраты ($\Pi_{\text{З}}$) – время ($\Pi_{\text{Т}}$)» [2; 3]. Соотношения показателей $\Pi_{\text{И}}$, $\Pi_{\text{Э}}$, $\Pi_{\text{З}}$, $\Pi_{\text{Т}}$ представим в виде:

$$\Pi_{\text{И}} = F_0(\Pi_{\text{Э}}, \Pi_{\text{З}}, \Pi_{\text{Т}}), \qquad (1)$$

где F_0 – правило получения значения показателя предпочтения по значениям его составных элементов в иерархии.

Показатель эффекта $\Pi_{\text{Э}}$ характеризует соответствие создаваемого (модернизируемого) образца цели его боевого применения и интерпретируется как конфликтная устойчивость вооружения для совокупности наиболее вероятных типовых боевых эпизодов. Его количественная оценка представляет сложную военно-научную задачу, решаемую на основе предложенных математических моделей конфликтно и иерархически связанных систем.

Показатель затрат П_3 рассчитывается в предположении, что решение поставленной задачи образцом ВВТ характеризуется требуемым значением показателя эффекта, а при его создании используются штатные и новые комплектующие изделия. Сравнение этих изделий выполняется при тождестве эффекта от их применения в образце. Если они обладают новым качеством, то требуемое количество может снижаться по сравнению со штатным, формируя экономию затрат. В ситуации, когда штатные образцы ВВТ из-за возросших возможностей противника не обеспечивают требуемый показатель эффекта, выигрыш в стоимостном выражении может определяться как разница в стоимости сохраненных объектов и затрат на создание новых образцов ВВТ, отличающихся от состоящих на вооружении тактико-техническими характеристиками.

Показатель времени $\text{П}_\text{Т}$ характеризует темпы модернизации существующих образцов ВВТ и используется по следующим основным причинам [4]. Во-первых, запаздывание с началом разработки (модернизации) образца ВВТ приведет к невозможности противодействия противнику в ряде типовых боевых эпизодов, т.е. к снижению эффекта, характеризуемого показателем $\text{П}_\text{Э}$. Во-вторых, те же последствия возникают при ограничениях по применению новых образцов в ходе боевых действий, когда фактор времени играет решающую роль в исходе конфликта. В-третьих, продолжительности этапов боевого применения образца являются исходными данными при планировании мероприятий по отражению действий противника.

Для определенности дальнейшего анализа будем считать, что модернизации подлежит образец авиационной техники – перспективный интегрированный радиоэлектронно-ударный комплекс, размещенный на борту современного летательного аппарата. Наиболее значимыми факторами, определяющими значения показателей, $\text{П}_\text{Э}$, П_3, $\text{П}_\text{Т}$, примем следующие: П_1 – качество предполетной подготовки экипажа и техники; П_2 – возможности силовой установки самолета; П_3 – оперативность поддержки принятых решений о применении оружия в процессе боевой работы; П_4 – эффективность аппаратуры радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и средств снижения оптической и радиолокационной заметности; Π_5 – точность прогноза метеоусловий; Π_6 – эффективность бортовой радиолокационной системы (РЛС); Π_7 – эффективность навигационного комплекса[1].

$$\Pi_Э = F_1(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7), \quad (2)$$

$$\Pi_З = F_2(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7), \quad (3)$$

$$\Pi_Т = F_3(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7). \quad (4)$$

Таким образом, задача сравнения альтернативных вариантов модернизации авиационного комплекса представляет собой задачу многокритериальной оптимизации, особенностями которой являются иерархическая структура показателей предпочтения (рисунок 1), разнотипность показателей (качественные и количественные), разные единицы измерения показателей. В [1; 5] разработан метод порядкового ранжирования альтернативных вариантов на основе иерархической структуры частных показателей предпочтения.

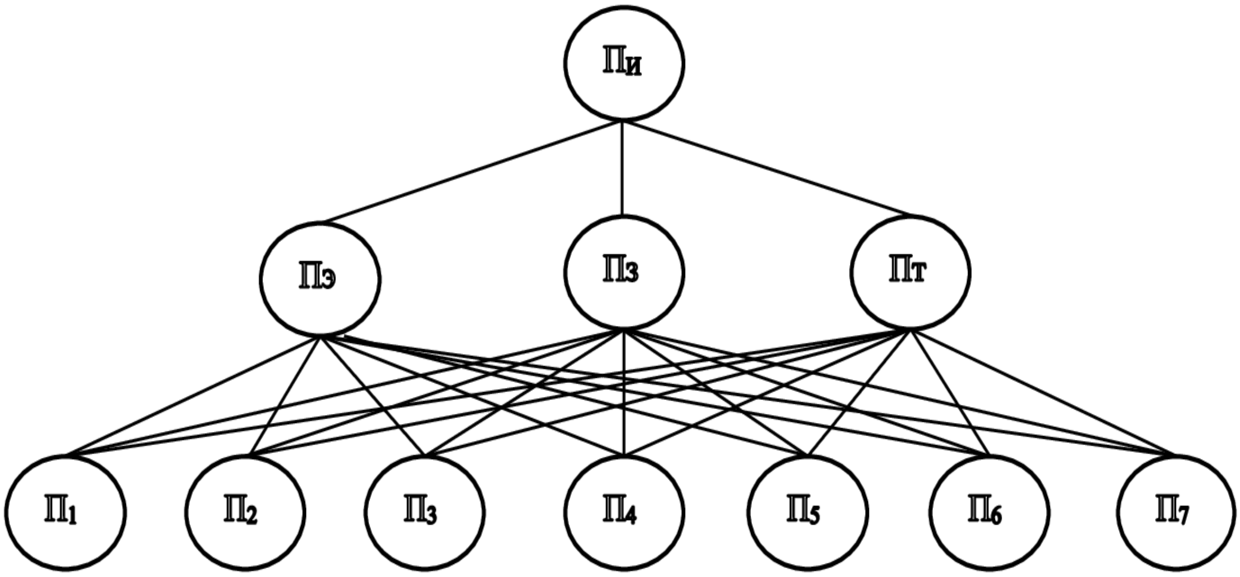

Рисунок 1 – Иерархическая структура показателей предпочтения альтернативных вариантов модернизации авиационного комплекса

[1] Вооружение, военная и специальная техника зарубежных стран. Тенденции и перспективы развития / Под общ. ред. Д.В. Булгакова. М.: 3 ЦНИИ Минобороны России, 2016. – 528 с.; Карпухин В.И., Козлов С.В., Лазаренков С.М. Модель конфликта авиационных систем радиоэлектронной борьбы и противовоздушной обороны. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2013. – 468 с.; Обносов Б.В. О роли бортового радиоэлектронного оборудования современных авиационных комплексов в развитии боевых возможностей высокоточного авиационного оружия // Фазотрон. 2011. №1. – С. 46-50.

Из выражений (2) – (4) и структуры интегрального показателя предпочтения $\Pi_И$ следует, что сначала необходимо определить значения показателей $\Pi_Э$, $\Pi_З$, $\Pi_Т$ по правилам F_1, F_2, F_3 и затем уже по ним определить значение $\Pi_И$ по правилу F_0.

Для определения $\Pi_Э$, $\Pi_З$, $\Pi_Т$ необходимо оценить вклад показателей третьего уровня иерархии в достижение целей, определяемых показателями второго уровня. Такие оценки проводятся путем попарных сравнений степени влияния показателей третьего уровня на показатели второго уровня. Попарное сравнение проводится только для тех элементов нижнего уровня иерархии, которые связаны с элементами вышестоящего уровня. Результаты оценок заносятся в матрицы попарных сравнений:

$$\boldsymbol{r}_1 = \begin{pmatrix} 1 \dots \mathrm{r}_{1,j}^{(1)} \dots \mathrm{r}_{1,7}^{(1)} \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ r_{i,1}^{(1)} \dots 1 \dots \mathrm{r}_{i,7}^{(1)} \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ r_{7,1}^{(1)} \dots \mathrm{r}_{7,j}^{(1)} \dots 1 \end{pmatrix}, \boldsymbol{r}_2 = \begin{pmatrix} 1 \dots \mathrm{r}_{1,j}^{(2)} \dots \mathrm{r}_{1,7}^{(2)} \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ r_{i,1}^{(2)} \dots 1 \dots \mathrm{r}_{i,7}^{(2)} \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ r_{7,1}^{(2)} \dots \mathrm{r}_{7,j}^{(2)} \dots 1 \end{pmatrix}, \boldsymbol{r}_3 = \begin{pmatrix} 1 \dots \mathrm{r}_{1,j}^{(3)} \dots \mathrm{r}_{1,7}^{(3)} \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ r_{i,1}^{(3)} \dots 1 \dots \mathrm{r}_{i,7}^{(3)} \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ r_{7,1}^{(3)} \dots \mathrm{r}_{7,j}^{(3)} \dots 1 \end{pmatrix}. \qquad (5)$$

В матрице $\boldsymbol{r}_1$ элемент $r_{i,j}^{(1)}$ представляет собой относительную оценку вклада показателя Π_i в значение показателя $\Pi_Э$ в сравнении с показателем Π_j. В матрице $\boldsymbol{r}_2$ элемент $r_{i,j}^{(2)}$ представляет собой относительную оценку вклада показателя Π_i в значение показателя $\Pi_З$ в сравнении с показателем Π_j. В матрице $\boldsymbol{r}_3$ элемент $r_{i,j}^{(3)}$ представляет собой относительную оценку вклада показателя Π_i в значение показателя $\Pi_Т$ в сравнении с показателем Π_j. Отметим, что значения элементов $r_{i,j}^{(1)}$, $r_{i,j}^{(2)}$, $r_{i,j}^{(3)}$ в общем случае независимы, поскольку $r_{i,j}^{(1)}$ отражает относительное влияние пары показателей на конфликтную устойчивость авиационного комплекса, $r_{i,j}^{(2)}$ – на величину расходуемого материального ресурса, $r_{i,j}^{(3)}$ – на темпы модернизации. Значения элементов матриц попарных сравнений выбираются из предопределенного множества $S = \{s_k\}$ в соответствии с оценками квалифицированных экспертов, имеющих необходимый уровень знаний в соответствующей предметной области.

Матрицы попарных сравнений $\boldsymbol{r}_1$, $\boldsymbol{r}_2$, $\boldsymbol{r}_3$ описывают в определенной форме функции предпочтения F_1, F_2, F_3 для сравниваемых элементов. Эти функции можно восстановить в явном виде и тем самым определить относительную важность этих элементов. Такое восстановление явного вида функций предпочтения осуществляется путем определения собственных векторов $\vec{\boldsymbol{w}}_1$, $\vec{\boldsymbol{w}}_2$, $\vec{\boldsymbol{w}}_3$ матриц $\mathbf{r}_1$, $\mathbf{r}_2$, $\mathbf{r}_3$, которые отвечают их максимальным собственным значениям λ^1_{max}, λ^2_{max}, λ^3_{max}.

Собственные векторы $\vec{\boldsymbol{w}}_1$, $\vec{\boldsymbol{w}}_2$, $\vec{\boldsymbol{w}}_3$ определяются из уравнения вида[2]:

$$(\boldsymbol{r} - \lambda \boldsymbol{I})\vec{\boldsymbol{w}} = 0, \tag{6}$$

где λ – некоторая, в общем случае комплексная величина, для которой $\exists \vec{\boldsymbol{w}}$: $\boldsymbol{r}\vec{\boldsymbol{w}} = \lambda\vec{\boldsymbol{w}}$, $\boldsymbol{I}$ – единичная матрица той же размерности, что и $\boldsymbol{r}$, или в развернутом виде:

$$\begin{pmatrix} r_{1,1}-\lambda & \cdots & \mathrm{r}_{1,j} & \cdots & \mathrm{r}_{1,n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r_{i,1} & \cdots & r_{i,i}-\lambda & \cdots & \mathrm{r}_{i,n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \mathrm{r}_{n,1} & \cdots & \mathrm{r}_{n,j} & \cdots & r_{n,n}-\lambda \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_i \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = 0. \tag{7}$$

Необходимым и достаточным условием существования ненулевого решения уравнения (6) является равенство нулю характеристического определителя Δ(λ) матрицы $\boldsymbol{r}$:

$$\Delta(\lambda) = \begin{vmatrix} r_{1,1}-\lambda & \cdots & \mathrm{r}_{1,j} & \cdots & \mathrm{r}_{1,7} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r_{i,1} & \cdots & r_{i,i}-\lambda & \cdots & \mathrm{r}_{i,7} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \mathrm{r}_{7,1} & \cdots & \mathrm{r}_{7,j} & \cdots & r_{7,7}-\lambda \end{vmatrix} = 0. \tag{8}$$

Решение (8) представляет собой множество корней полинома вида:

$$\Delta(\lambda) = (-1)^n[\lambda^n - \mathrm{Sp}\boldsymbol{r}\lambda^{n-1} + \cdots + (-1)^n \det \boldsymbol{r}], \tag{9}$$

являющееся спектром матрицы $\boldsymbol{r}$: λ_1, …, λ_n. В (9) Sp – след матрицы, $\det$ – определитель матрицы.

Собственные векторы $\vec{\boldsymbol{w}}_i = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ матрицы $\boldsymbol{r}$ определяются путем решения для каждого λ_i системы уравнений:

$$\begin{cases} (r_{1,1} - \lambda_i)w_1 + \cdots + r_{1,n}w_n = 0, \\ \qquad\qquad \dots \\ r_{n,1}w_1 + \cdots + (r_{n,n} - \lambda_i)w_n = 0. \end{cases} \tag{10}$$

Матрица коэффициентов этой системы особая, т.е. $\det(\boldsymbol{r} - \lambda_i \boldsymbol{I}) = 0$. Структура решений системы (10) зависит от ранга матрицы и ее коэффициентов.

[2] Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики: учеб. пособие. 3-е изд. М.: Наука, 1966. – 664 с.

Определение собственных векторов $\vec{\boldsymbol{w}}_i$ матрицы $\boldsymbol{r}$ связано с большим объемом вычислений, в общем случае собственных векторов имеется несколько (максимум – n, где n – размерность квадратной матрицы $\boldsymbol{r}$). В [1] показано, что если к матрице попарных сравнений $\boldsymbol{r}$ предъявить требование согласованности, то значение λ_{max} становится близким к n, а значения остальных λ_i стремится к нулю. В этом случае вместо уравнения (6) можно использовать уравнение

$$(r \ -\lambda_{max}\boldsymbol{I})\vec{\boldsymbol{w}} = 0. \quad (11)$$

Решением (11) будет единственный собственный вектор $\vec{\boldsymbol{w}}$.

Элементы векторов $\vec{\boldsymbol{w}}_1$, $\vec{\boldsymbol{w}}_2$, $\vec{\boldsymbol{w}}_3$ есть значения относительного вклада показателей Π_i $(i = 1,\dots,7)$ в значения показателей $\Pi_{Э}$, $\Pi_{З}$, $\Pi_{Т}$.

Определение интегрального показателя предпочтения $\Pi_{И}$ осуществляется с использованием процедуры, аналогичной рассмотренной выше. Для этого необходимо определить относительный вклад показателей второго уровня иерархии $\Pi_{Э}$, $\Pi_{З}$, $\Pi_{Т}$ в значение $\Pi_{И}$. Построим матрицу попарных сравнений $\boldsymbol{r}_0$:

$$\boldsymbol{r}_0 = \begin{pmatrix} 1 & r_{1,2}^{(0)} & r_{1,3}^{(0)} \\ r_{2,1}^{(0)} & 1 & r_{2,3}^{(0)} \\ r_{3,1}^{(0)} & r_{3,2}^{(0)} & 1 \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Элемент матрицы $r_{1,2}^{(0)}$ представляет собой относительную оценку вклада показателя $\Pi_{Э}$ в значение интегрального показателя $\Pi_{И}$ в сравнении с $\Pi_{З}$, элемент $r_{1,3}^{(0)}$ – показателя $\Pi_{Э}$ в значение глобального показателя $\Pi_{И}$ в сравнении с $\Pi_{Т}$, элемент $r_{2,3}^{(0)}$ – показателя $\Pi_{З}$ в значение глобального показателя $\Pi_{И}$ в сравнении с $\Pi_{Т}$. В соответствии с требованием согласованности матрицы попарных сравнений $r_{2,1}^{(0)} = \frac{1}{r_{1,2}^{(0)}}$, $r_{3,1}^{(0)} = \frac{1}{r_{1,3}^{(0)}}$, $r_{3,2}^{(0)} = \frac{1}{r_{2,3}^{(0)}}$.

Для λ_{max}^{0} из (10) определяем значение собственного вектора $\vec{\boldsymbol{w}}_0 = \begin{pmatrix} w_1^{(0)} \\ w_2^{(0)} \\ w_3^{(0)} \end{pmatrix}$. Тогда результирующий вектор $\vec{\boldsymbol{w}}$ приоритетов для показателей Π_i с учетом степени их влияния на показатели верхних уровней иерархии $\Pi_{Э}$, $\Pi_{З}$, $\Pi_{Т}$ определим путем умножения матрицы, полученной из собственных векторов $\vec{\boldsymbol{w}}_1$, $\vec{\boldsymbol{w}}_2$, $\vec{\boldsymbol{w}}_3$, на вектор-столбец $\vec{\boldsymbol{w}}_0$:

$$\vec{\boldsymbol{w}} = \begin{pmatrix} w_1^{(1)} & w_1^{(2)} & w_1^{(3)} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ w_7^{(1)} & w_7^{(2)} & w_7^{(3)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1^{(0)} \\ w_2^{(0)} \\ w_3^{(0)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_7 \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Рассмотренная процедура фактически обеспечивает расчет весовых коэффициентов для показателей нижнего уровня Π_i и, как следствие, редукцию исходной многокритериальной задачи с иерархической структурой показателей к обычной скалярной задаче.

Оценка альтернативных вариантов $v_{\text{М}}$ и $v_{\text{С}}$ по показателям Π_i и вектору $\vec{\boldsymbol{w}}$ также проводится с использованием рассмотренного выше аппарата. Для этого по каждому показателю Π_i проводится попарное сравнение всех альтернативных вариантов. Результаты сравнения заносятся в 7 (по количеству показателей Π_i) матриц $\boldsymbol{r}_4 - \boldsymbol{r}_{10}$, имеющих размерность 2×2 (по количеству альтернативных вариантов). Для каждой матрицы по (6) определяются максимальные собственные значения λ_{max}, для которых в свою очередь вычисляются собственные векторы $\vec{\boldsymbol{w}}_4 - \vec{\boldsymbol{w}}_{10}$ и формируется матрица:

$$\begin{pmatrix} w_1^{(4)} & w_1^{(5)} & w_1^{(6)} & w_1^{(7)} & w_1^{(8)} & w_1^{(9)} & w_1^{(10)} \\ w_2^{(4)} & w_2^{(5)} & w_2^{(6)} & w_2^{(7)} & w_2^{(8)} & w_2^{(9)} & w_2^{(10)} \end{pmatrix}. \tag{14}$$

Завершающим действием является умножение полученной матрицы справа на вектор весов $\vec{\boldsymbol{w}}$:

$$\begin{pmatrix} w_1^{(4)} & w_1^{(5)} & w_1^{(6)} & w_1^{(7)} & w_1^{(8)} & w_1^{(9)} & w_1^{(10)} \\ w_2^{(4)} & w_2^{(5)} & w_2^{(6)} & w_2^{(7)} & w_2^{(8)} & w_2^{(9)} & w_2^{(10)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Pi_{\text{И}}(v_{\text{М}}) \\ \Pi_{\text{И}}(v_{\text{С}}) \end{pmatrix}. \tag{15}$$

Элементами полученного вектор-столбца являются значения интегрального показателя предпочтения для альтернативного ($\Pi_{\text{И}}(v_{\text{С}})$) и базового ($\Pi_{\text{И}}(v_{\text{М}})$) вариантов перспективного авиационного комплекса.

Процедура сравнения альтернативных вариантов с достаточной для практики точностью может быть реализована с использованием эффективных приближенных численных методов[3]. Так, вместо строгой итерационной процедуры вычисления собственных векторов $\vec{\boldsymbol{w}} = \{w_1, \dots, w_n\}$ матриц $\boldsymbol{r}$, представленной выше, с достаточной для практических приложений точностью можно использовать формулу

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} r_{i,j}}{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} r_{i,j}}. \tag{16}$$

В качестве примера выполним далее сравнение альтернативных вариантов $v_{\text{М}}$ и $v_{\text{С}}$. Определим значения матриц $\boldsymbol{r}_0$, $\boldsymbol{r}_1$, $\boldsymbol{r}_2$, $\boldsymbol{r}_3$. Матрица $\boldsymbol{r}_0$ учитывает влияние системы показателей $\Pi_{\text{Э}}$, $\Pi_{\text{З}}$, $\Pi_{\text{Т}}$ на интегральный

---

[3] Демидович Б.П., Марон И.А. *Указ. соч.*

показатель $\Pi_И$. При ее формировании учитываются перспективы развития авиационных комплексов[4]. Матрица $\boldsymbol{r}_1$ учитывает влияние показателей Π_i на конфликтную устойчивость комплексов для совокупности наиболее вероятных типовых боевых эпизодов. При ее формировании используются результаты, охватывающие основные направления развития авиационной техники. Матрица $\boldsymbol{r}_2$ учитывает влияние значений показателей Π_i на стоимость комплекса. При ее формировании оценка стоимости разработки отдельных подсистем осуществлялась в соответствии с существующей методикой[5]. Матрица $\boldsymbol{r}_3$ учитывает влияние требуемого уровня показателей Π_i на необходимое время модернизации существующего образца комплекса с учетом имеющегося научно-технического задела и возможностей специализированных предприятий оборонной промышленности. С учетом имеющихся исходных данных примем следующие значения матриц:

$$\boldsymbol{r}_0 = \begin{pmatrix} 1 & 7 & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{7} & 1 & 5 \\ 3 & \frac{1}{5} & 1 \end{pmatrix}, \boldsymbol{r}_1 = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 7 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} \\ 5 & 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{2} & 1 & 3 & \frac{1}{7} \\ 3 & 5 & 1 & 2 & 5 & 2 & 3 \\ 3 & 2 & \frac{1}{2} & 1 & 3 & \frac{1}{3} & 2 \\ \frac{1}{7} & 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{2} \\ 3 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 3 & 5 & 1 & 2 \\ 2 & 7 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 2 & \frac{1}{2} & 1 \end{pmatrix},$$

$$\boldsymbol{r}_2 = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{9} & \frac{1}{5} & \frac{1}{7} & 5 & \frac{1}{3} & 2 \\ 9 & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} & 3 & 5 & 3 \\ 5 & 3 & 1 & 3 & 7 & \frac{1}{3} & 5 \\ 7 & 5 & \frac{1}{3} & 1 & 3 & 3 & 3 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & \frac{1}{7} & \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} \\ 3 & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 5 & 1 & \frac{1}{7} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & 3 & 7 & 1 \end{pmatrix}, \boldsymbol{r}_3 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 & 5 & \frac{1}{2} & 7 & 7 \\ \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{5} & 3 & 3 \\ \frac{1}{5} & 3 & 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{7} & 5 & 3 \\ \frac{1}{5} & 2 & 5 & 1 & \frac{1}{2} & 3 & 3 \\ 2 & 5 & 7 & 2 & 1 & 7 & 5 \\ \frac{1}{7} & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & \frac{1}{7} & 1 & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{7} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} & 3 & 1 \end{pmatrix}.$$

[4] Вооружение, военная и специальная техника зарубежных стран. Тенденции и перспективы развития. *Указ. соч.*; Обносов Б.В. *Указ. соч.*; др.

[5] Типовые методические рекомендации по планированию, учету и калькулированию себестоимости научно-технической продукции (утв. Миннауки РФ 15 июня 1994 г. №ОР-22-2-46).

Вектор весовых коэффициентов, вычисленный в соответствии с (13), имеет следующее значение:

$$\vec{\boldsymbol{w}}^T = \{0.207, 0.107, 0.19, 0.162, 0.161, 0.081, 0.098\}.$$

Результаты попарного сравнения альтернативных вариантов $v_{\text{М}}$ и $v_{\text{С}}$ по показателям Π_i определяют значения матриц $\boldsymbol{r}_4 - \boldsymbol{r}_{10}$:

$$\boldsymbol{r}_4 = \begin{pmatrix} 1 & 5 \\ \frac{1}{5} & 1 \end{pmatrix}, \boldsymbol{r}_5 = \begin{pmatrix} 1 & 7 \\ \frac{1}{7} & 1 \end{pmatrix}, \boldsymbol{r}_6 = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{5} \\ 5 & 1 \end{pmatrix}, \boldsymbol{r}_7 = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{3} \\ 3 & 1 \end{pmatrix},$$

$$\boldsymbol{r}_8 = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{2} \\ 2 & 1 \end{pmatrix}, \boldsymbol{r}_9 = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{2} \\ 2 & 1 \end{pmatrix}, \boldsymbol{r}_{10} = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{7} \\ 7 & 1 \end{pmatrix},$$

которым соответствуют собственные векторы:

$$\vec{\boldsymbol{w}}_4 = \begin{pmatrix} 0.83 \\ 0.17 \end{pmatrix}, \vec{\boldsymbol{w}}_5 = \begin{pmatrix} 0.88 \\ 0.12 \end{pmatrix}, \vec{\boldsymbol{w}}_6 = \begin{pmatrix} 0.17 \\ 0.83 \end{pmatrix}, \vec{\boldsymbol{w}}_7 = \begin{pmatrix} 0.25 \\ 0.75 \end{pmatrix},$$

$$\vec{\boldsymbol{w}}_8 = \begin{pmatrix} 0.33 \\ 0.67 \end{pmatrix}, \vec{\boldsymbol{w}}_9 = \begin{pmatrix} 0.33 \\ 0.67 \end{pmatrix}, \vec{\boldsymbol{w}}_{10} = \begin{pmatrix} 0.12 \\ 0.88 \end{pmatrix}.$$

Подстановкой значений $\vec{\boldsymbol{w}}$ и $\vec{\boldsymbol{w}}_4 - \vec{\boldsymbol{w}}_{10}$ в выражение (15) получим значения интегрального показателя предпочтения для альтернативных вариантов комплекса: $\Pi_{\text{И}}(v_{\text{М}}) = 0{,}424$; $\Pi_{\text{И}}(v_{\text{С}}) = 0{,}576$.

Таким образом, в результате военно-экономического анализа модернизации образцов авиационных комплексов, проведенного с использованием системы (триады) показателей, учитывающих специфические ограничения военной экономики, и частных показателей, характеризующих степень соответствия комплекса назначению и условиям боевого применения, показано, что наиболее предпочтительным вариантом является модернизированный комплекс с элементами, обеспечивающими более высокие боевые возможности в процессе применения. При этом вариант $v_{\text{С}}$ может не являться доминирующим по всем частным показателям.

Список использованных источников

1. Саати Т.Л. Математические модели конфликтных ситуаций. М.: Сов. радио, 1977. – 302 с.

2. Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ: история, методология, проблемы // Вооружение и экономика. 2012. №4(20). – С. 86-97.

3. Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ боевых действий войск / Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ + программно-целевое планирование → эффективность. Элементы методологии управления военным строительством. М.: АПВЭиФ, Канцлер, 2019. – С. 25-37.

4. Викулов С.Ф., Радзиевская Т.В. Государственное регулирование при модернизации оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации. М., Воронеж, Ярославль: Канцлер, 2021. – 251 с.

5. Саати Т.Л. Исследование взаимодействий в иерархических системах // Техническая кибернетика. 1979. №1. – С. 68-84.