УДК 519. 816 / 62-50

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР ОБЪЕКТОВ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

к.т.н. А.В. Ершов, к.т.н. А.А. Левченко, О.Б. Голдобин
(представил д.т.н., проф. В.М. Бильчук)

В статье разработана и апробирована математическая модель многокритериального выбора объектов вооружения и военной техники, а также приведены результаты оценки очности решения задачи многовекторной оптимизации.

Объекты вооружения и военной техники (ОВВТ) относятся к быстро развивающимся сложным техническим системам. Задача сравнительной оценки их технического уровня является многовариантной и связана с многокритериальной постановкой. Эта задача актуальна и для Вооруженных Сил Украины, для которых, как отметил Министр обороны генерал армии А. Кузьмук [1], "... модернізація та якісне оновлення озброєння і військової техніки є одним з важливих компонентів могутності."

Решение задачи сравнительной оценки ОВВТ лежит в основе принятия решения об их замене, постановки на вооружение образцов и связано с объективно существующими факторами априорной неопределенности боевого применения в поле случайных возмущений. При этом следует говорить не только о задаче оптимального, в смысле множества показателей, выбора ОВВТ, но и оптимального, опять таки в смысле вектора условий использования, объекта в рамках стохастической системы "ОВВТ – Среда". Сформулируем эту бивекторную задачу математически.

Рассмотрим ограниченное счетное множество ОВВТ

$$\mathbf{X} = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, ..., \mathbf{x}_n\}, \qquad (1)$$

в котором $\forall \mathbf{x}_i \in \mathbf{X}, \mathbf{i} = \overline{\mathbf{1}, \mathbf{n}}$ имеет одинаковое целевое назначение, а всестороннюю оценку ОВВТ будем характеризовать одним набором локальных критериев

$$\mathbf{I} = \{\mathbf{I}_1, \mathbf{I}_2, ..., \mathbf{I}_m\}. \qquad (2)$$

Критерии $\mathbf{I_i}$, $\mathbf{i = \overline{1, m}}$ могут принимать значение из множеств $\mathbf{I_i \subset R}$, где $\mathbf{R}$ - множество действительных чисел. Тогда прямое произведение $\mathbf{I^n = I_1 \times I_2 \times ... \times I_m}$ - $\mathbf{m}$ - мерное евклидово пространство, представляет собой пространство критериев оценки качеств ОВВТ, в котором $\mathbf{\forall x_i \in X, i = \overline{1, n}}$, определяющему объект, однозначно сопоставлен вектор $\mathbf{I_i}$. При этом полагаем, что отображение

$$\mathbf{f : X \to I^n} \tag{3}$$

является изоморфизмом отношений предпочтительности между сравниваемыми ОВВТ, что дает основание не делать различий между реальными ОВВТ и их абстрактным векторным представлением в виде $\mathbf{I_i \in I^n}$, $\mathbf{i = \overline{1, n}}$.

Границы системы "ОВВТ – Среда" заданы вектором

$$\mathbf{Y = \{y_1, y_2, ..., y_p\}} \tag{4}$$

компоненты которого параметрически выделяют условия, в которых предстоит функционировать объектам техники, факторизирующим сегменты синтезируемого типажного ряда ОВВТ. Сущность и поведение системы интегрально оценивается вектором (2).

Тогда в рамках системного подхода задачу выбора сформулируем на критериальном языке, как бивекторно - оптимизационную: из некоторого ограниченного множества ОВВТ

$$\mathbf{X = \{x_1, x_2, ..., x_n\} = \varnothing}$$

необходимо выбрать систему объектов

$$\mathbf{\hat{x} \in X},$$

оптимальных в смысле вектора (2) и заданных условий работы (4).

Данной формулировке соответствует модель бивекторной оптимизации

$$\mathbf{\hat{x} = f^{-1}[optI(x)]} \tag{5}$$

где $\mathbf{I \in R^m \times R^p}$;

opt - оператор оптимизации, определяющий принципы оптимальности;

$\mathbf{f^{-1}}$ - обратное отображение $\mathbf{I \to x = f^{-1} (I)}$.

Бивекторность задачи выбора ОВВТ предопределяет необходимость дважды выбирать принцип оптимальности, один раз на пространстве критериев, а другой - на пространстве условий. Эффективность решения зависит от того, насколько вычислительная процедура многовекторной оптимизации является точным продолжением сформулированной проблемы оптимизации законов функционирования ОВВТ, как сложной стохастической системы. По этой причине к настоящему времени не удается найти универсальных решений, пригодных для многоплановых задач векторной оптимизации. При этом основные трудности связаны с адекватным представлением анализируемой системы "ОВВТ - Среда" исходной моделью и преобразованием ее к виду, удобному, как в смысле выбора принципа оптимизации, так и преодоления вычислительных трудностей в ходе принятия оптимального решения.

Независимо от свойств и решаемых задач ОВВТ можно выделить следующие концептуальные проблемы, от которых во многом зависит качество оптимального решения. Это выбор принципа оптимизации по введенным векторным критериям, куда отнесем и обоснование последовательности процедур оптимизации по векторным критериям $(2) \prec (4)$ или $(4) \prec (2)$. Это выбор принципа стьюдентизации локальных критериев, позволяющего провести последние к единому масштабу измерения и проводить сравнительную оценку качеств ОВВТ. И, наконец, это выбор принципа оценки приоритета, позволяющего оценить предпочтительность локальных критериев и сформировать схему компромисса.

Для решения поставленной бивекторной задачи выбора на первом этапе сформулируем стохастическую матрицу $(\mathbf{I_{ij}})$, $\mathbf{i = \overline{1,n}}$, $\mathbf{j = \overline{1,m}}$, строками которой выступают альтернативные ОВВТ, а столбцами - значения компонент векторного критерия (2) оценки качеств последних. При этом мы полагаем, что элементами матрицы $(\mathbf{I_{ij}})$ служат случайные величины, распределение которых зависит от времени $\mathbf{t}$ и первые два момента случайного вектора (2) существуют. С учетом того, что выборочная функция распределения с ростом числа анализируемых ОВВТ сколь угодно мало отличается от истинной функции распределения с вероятностью близкой к единице, выберем n, при котором выборочные и истинные моменты близки.

Решение проблемы стьюдентизации компонент вектора (2) осуществим по зависимостям

$$\mathbf{z_{ij}} = \frac{\mathbf{I_{ij}} - \overline{\mathbf{I_j}}}{\boldsymbol{\delta}_{\mathbf{j}}}, \quad \mathbf{i = \overline{1,n}}, \ \mathbf{j = \overline{1,m}}; \qquad (6)$$

$$\overline{I_j} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} I_{ij}; \tag{7}$$

$$\delta_j = \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(I_{ij} - \overline{I_j}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}, \tag{8}$$

где $\overline{I_j}$, δ_j - оценка математического ожидания и стандарт j - го локального критерия качества вектора (2).

Далее, поставим в соответствие матрице (I_{ij}) нормированную корреляционную матрицу

$$\left(r_{\kappa\ell}\right) = \begin{cases} \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} z_{i\kappa}, z_{i\ell}, \kappa \neq \ell \\ 1, \kappa = \ell \end{cases} \tag{9}$$

где r_{kl} - коэффициент линейной корреляции между локальными критериями I_k и I_l, вычисленными для момента времени t.

В силу нормировки для матрицы (9) имеем $\overline{z_\kappa} = \overline{z_\ell} = 0$, $\delta_\kappa = \delta_\ell = 1$.

С целью упрощения алгоритма реализации принципа оценки приоритета, решаем задачу редукции информации, как отображение множества точек, задаваемых матрицей (9) в пространство меньшей размерности.

Эту задачу ставим, как оптимизационную по критерию минимизации потерь информации в ходе ее редукции. При таком подходе задача может быть интерпретирована, как переход от большого числа m коррелированных компонент вектора (2), к их новым линейным комбинациям, число которых s, значительно меньше m.

Выбор s осуществим по критерию полноты исчерпания вариабельности компонент исходного вектора (2). Этот выбор проведен в рамках вычислительной процедуры метода главных компонент [2], что позволило оценить чувствительность объектов техники, синтезируемых сегментов типажного ряда ОВВТ к скорости потери информации о качестве последних, в ходе динамики развития вооружений на этапе исследования и принятия решения об их замене.

Оценку существенности главных компонент оценивали по $\mathbf{F}$ - критерию Фишера, что позволило использовать полученные однозначные и количественно определенные результаты для работы лиц принимающих решения на плоскости или в пространстве, в условиях контролируемой потери информации в процессе ее редукции.

Для всех оцениваемых сегментов типажного ряда ОВВТ, независимо от полноты квазиоптимальной редукции информации, выделяли область альтернатив, оптимальных по Парето $\hat{\mathbf{x}} = \{\hat{\mathbf{X}}\}$, для которых среда всех возможных $\mathbf{x} \in \mathbf{X}$ не существует такой, что $\mathbf{I_i}(\hat{\mathbf{x}}) \leq \mathbf{I_i}(\mathbf{x})$ для всех $\mathbf{i} = \overline{\mathbf{1}, \mathbf{m}}$ и $\mathbf{I_i}(\hat{\mathbf{x}}) \neq \mathbf{I_i}(\mathbf{x})$ хотя бы для одного $\mathbf{i}$. Выделением подмножества $\hat{\mathbf{x}}$ сегмента типажного ряда ОВВТ, заканчивается первый этап решения бивекторной задачи выбора.

Этот результат является исходным для осуществления второго этапа - оптимизации по вектору условий (4). Алгоритмически его проведение остается аналогичным выше описанному, однако проблематика этапа отличается. Ее отличия определяются сущностью локальных компонент вектора (4) и его размерностью, мощностью исходного множества $[\hat{\hat{\mathbf{X}}}]$. Другими словами, дискриминирующими факторами выступают границы подсистемы "Среда" и ее формализации в системе "ОВВТ – Среда". В случае использования критериального языка имеем трудности, адекватные рассмотренным на первом этапе. Их преодоление позволило найти новое множество $\hat{\hat{\mathbf{x}}}$ ОВВТ.

Принятие оптимального, в смысле векторов (2) и (4), решения об ОВВТ находим на основе выбора одной или нескольких альтернатив

$$\dot{\mathbf{x}} = \hat{\mathbf{x}} \bigcap \hat{\hat{\mathbf{x}}}, \qquad (10)$$

которые могут не быть оптимальными ни для одного из локальных критериев, но оказываются наиболее предпочтительными для их совокупности, заданной в задаче бивекторной оптимизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмук О. Завдання Збройних Сил України в сучасних умовах// Народна Армія.- № 53 – 55. - 1998.

2. М. Дж. Кендалл, А. Стюарт. Многомерный статический анализ и временные ряды. М.: Наука, 1976 – 736 с.