

УДК 629.73.001.63

ПОДХОД К ПОИСКУ НАПРАВЛЕНИЙ ОПТИМИЗАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ АНАЛИЗА СРЕДЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ¹

Н.И. ЗУРАБЬЯН

Статья представлена доктором технических наук Самойловым В.П.

Статья посвящена подходу к поиску направлений оптимизации авиационных систем в результате комплексной сравнительной оценки исследуемой системы. Лежащая в основе подхода методология анализа среды функционирования (АСФ) базируется на методах математического программирования, теории производственных функций и принципе оптимальности Парето.

Ключевые слова: авиационные системы, анализ среды функционирования, эффективность авиационных систем.

Введение

Создание и внедрение перспективных авиационных систем требуют все более совершенного аппарата для поиска направлений оптимизации большого количества параметров, характеризующих их облик. При этом для получения объективных результатов необходим учет множества факторов.

Существующие методики поиска направлений повышения эффективности авиационных систем базируются на известных методах решения задач с векторным критерием, использующих скалярную свертку, общим недостатком большинства из которых является значительная роль субъективной составляющей, проявляющейся в выделении приоритетного показателя, введении коэффициентов важности, являющихся результатом экспертных оценок и т.п.

Кроме того, направление по повышению эффективности зачастую определяется без учета достижений конкурентов в аналогичной области. Проведенные в этом направлении предварительные исследования проиллюстрировали всю важность учета этих факторов и их существенное влияние на итоговый результат [1].

В связи с этим актуальной становится задача выработки подхода к поиску направлений оптимизации характеристик авиационных систем, позволяющего определить эти направления с учетом сравнительной оценки рассматриваемых систем с существующими аналогами.

1. Постановка задачи

Задача, для решения которой предлагается описанный ниже подход, формируется следующим образом: рассматривается n авиационных систем, каждая из которых описывается набором из p характеристик

$$S_i = (s_{i1}, \dots, s_{ij}, \dots, s_{ip}), i = 1 \dots n,$$

где s_{ij} – j -я характеристика i -й системы.

Требуется определить вектор приращений характеристик системы с индексом i'

$$\Delta S_{i'} = (\Delta s_{i'1}, \dots, \Delta s_{i'p}),$$

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 14-08-31013.

такой, чтобы система $S_i^* = S_i + \Delta S_i$ получилась более эффективной, чем система S_i , с учетом производственных возможностей.

При такой постановке задачи возникают две основных проблемы.

1. Проблема поиска адекватного метода сравнения векторов S_i и S_i^* , позволяющего сделать однозначное предпочтение в пользу одного из них.

2. Проблема определения ограничений, связанных с возможностями производства, через информацию о системах-аналогах.

Для их решения предлагается использовать аппарат методологии анализа среды функционирования (АСФ).

2. Основы методологии АСФ

Начало созданию методологии АСФ положили в конце XX в. американские специалисты А. Чарнес и В. Купер. Методология базируется на методах математического программирования, теории производственных функций, производственной модели Леонтьева и принципе оптимальности Парето. Несмотря на тот факт, что эта методология активно применяется для анализа деятельности сложных систем, таких как банки, нефтяные компании и т.п., в России она пока мало известна. Тем не менее в последние годы она активно внедряется для анализа сложных систем [2; 3; 4].

Подробное описание методологии АСФ приводится в источнике [4]. Ниже приводится описание подхода АСФ с акцентом на его пригодность АСФ для решения озвученных выше проблем.

В моделях АСФ сложная система рассматривается как совокупность входных и выходных параметров. Входами, как правило, являются выраженные в том или ином виде затраты, а в качестве выходов могут выступать как характеристики самой системы, так и результат ее функционирования в зависимости от типа задачи, для решения которой применяется подход АСФ. Для авиационных систем в качестве входов могут выступать финансовые или временные затраты на их создание, а выходами могут являться показатели, характеризующие их экономическую, транспортную, боевую эффективность и т.п.

То есть применительно к поставленной выше задаче необходимо рассмотреть n систем, каждая из которых характеризуется парой векторов (\bar{X}, \bar{Y}) , где \bar{X} – вектор входных параметров, а \bar{Y} – вектор выходных параметров.

Векторы \bar{X}, \bar{Y} для i -й системы имеют вид

$$\begin{aligned}\bar{X}_i &= (x_{i1}, \dots, x_{im}); \\ \bar{Y}_i &= (y_{i1}, \dots, y_{il}),\end{aligned}$$

где x_{i1}, \dots, x_{im} – затраты для i -й системы; y_{i1}, \dots, y_{il} – выходные показатели для i -й системы, причем показатели выбираются таким образом, чтобы их значения удовлетворяли условиям:

$$\begin{aligned}x_{ij} &> 0, \\ y_{ik} &> 0.\end{aligned}$$

Свертка векторного критерия осуществляется по принципу коэффициента полезного действия, активно используемого в физике, экономического коэффициента рентабельности и т.п. Поскольку число входов и выходов в общем случае превышает единицу, в таких случаях используют отношение взвешенных сумм выходных показателей к взвешенным суммарным затратам.

Пусть требуется оценить систему с индексом i' , характеризующуюся показателями $((x_{i'1}, \dots, x_{i'm}), (y_{i'1}, \dots, y_{i'l}))$.

Тогда значение обобщенного показателя эффективности для нее будет иметь вид

$$k = \frac{\mu_1 y_{i1} + \dots + \mu_l y_{il}}{\omega_1 x_{i1} + \dots + \omega_m x_{im}}, \quad (1)$$

где μ_j, ω_i – ненормированные оценки важности входов и выходов ($j=1..l, i=1..m$).

На практике важность того или иного показателя часто определяется экспертным путем. В этом случае оценки будут в итоге отражать определенную долю субъективности экспертов. Создатели методологии АСФ предлагают поступить иначе.

Согласно одной из концепций, широко применяющейся в экономике, система оценок важности рассматривается как система управляющих воздействий, обеспечивающих наибольшее приближение обобщенного показателя эффективности k к желаемому результату при известных значениях входов и выходов $(x_{i1}, \dots, x_{im}), (y_{i1}, \dots, y_{il})$ [5]. Поскольку предполагается, что рассматриваемые варианты авиационных систем, каждой из которых соответствует определенный набор входных и выходных параметров, уже существуют в том или ином виде, такой подход в определении оценок частных показателей эффективности отражает предпочтения оперирующей стороны, руководствуясь которыми, выбор был остановлен на рассматриваемой системе.

Таким образом, оценки μ_j, ω_i максимизируют функционал (1), а известные значения частных показателей эффективности $(x_{i1}, \dots, x_{im}), (y_{i1}, \dots, y_{il})$ выступают в роли коэффициентов.

Ограничения на производственные возможности задаются исходя из утверждения, что ни для одного из объектов значение обобщенного показателя эффективности не может быть больше заданной нормы. Поскольку оценки μ_j, ω_i не нормированы, норма может быть принята равной единице.

Кроме того, оценки принимаются всегда строго положительными.

Тогда оценки входов и выходов могут быть определены при решении следующей оптимизационной задачи

$$h^*(\mu^*, \omega^*) = \max_{\mu, \omega} \frac{\sum_{j=1}^l \mu_j y_{ij}}{\sum_{i=1}^m \omega_i x_{ii}} \quad (2)$$

при ограничениях:

$$\frac{\sum_{j=1}^l \mu_j y_{kj}}{\sum_{i=1}^m \omega_i x_{ki}} \leq 1, k = 1..n; \quad (3)$$

$$\mu_j \geq \varepsilon, j = 1..l; \quad (4)$$

$$\omega_i \geq \varepsilon, i = 1..m, \quad (5)$$

где ε – бесконечно малая величина, введенная во избежание возникновения особых точек в нелинейной задаче.

Переход от задачи дробно-линейного программирования к задаче линейного программирования осуществляется путем введения новой переменной такой, что ее произведение на знаменатель дроби в выражении (2) тождественно равно единице.

В результате получаем задачу вида

$$h^*(u^*, v^*) = \max_{u, v} \sum_{j=1}^l v_j y_{ij}$$

при ограничениях:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m u_i x_{ii} &= 1; \\ -\sum_{i=1}^m u_i x_{ki} + \sum_{j=1}^l v_j y_{kj} &\leq 0, k=1, \dots, n; \\ u_j &\geq \varepsilon, j=1 \dots l; \\ v_i &\geq \varepsilon, i=1 \dots m. \end{aligned}$$

Затем к полученной задаче применяется соотношение двойственности.

Двойственная задача с переменными $\theta, \lambda, S^-, S^+$ будет иметь вид

$$(\theta^*, \lambda^*, S^{-*}, S^{+*}) = \arg \min_{\theta, \lambda, S^-, S^+} (\theta - \varepsilon (\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{j=1}^l s_j^+)) \quad (6)$$

при ограничениях:

$$\sum_{k=1}^n x_{ki} \lambda_k + s_i^- = \theta x_{ii}, i=1 \dots m; \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^n y_{kj} \lambda_k - s_j^+ = y_{ij}, j=1 \dots l; \quad (8)$$

$$\lambda_k \geq 0, k=1 \dots n; \quad (9)$$

$$s_i^- \geq 0, i=1 \dots m; \quad (10)$$

$$s_j^+ \geq 0, j=1 \dots l. \quad (11)$$

Задача (6)-(11) получила название входной модели CCR по первым буквам фамилий ее создателей: Charnes, Cooper, Rhodes.

Смысл оптимальных значений $\theta^*, \lambda^*, S^{-*}, S^{+*}$ состоит в следующем.

Коэффициенты $\lambda_k^* \geq 0, k=1 \dots n$ определяют границы множества производственных возможностей, которое для модели CCR имеет вид

$$\{(\bar{X}, \bar{Y}) \mid x_i \geq \sum_{k=1}^n x_{ki} \lambda_k, i=1 \dots m, y_j \leq \sum_{k=1}^n y_{kj} \lambda_k, j=1 \dots l\},$$

где x_{ki} – i -й входной параметр k -й из рассматриваемых систем; y_{kj} – j -й выходной параметр k -й из рассматриваемых систем. В более сложных моделях АСФ путем введения дополнительных ограничений на эти коэффициенты множество производственных возможностей корректируется. Принадлежность к границе множества точки, определяемой парой векторов (\bar{X}, \bar{Y}) , является необходимым условием эффективности рассматриваемой системы.

Оптимальное значение θ^* показывает степень близости рассматриваемой системы к границе множества производственных возможностей. По его значению можно судить о том, во сколько раз необходимо сократить затраты, чтобы система легла на границу множества производственных возможностей.

В случае выходных моделей, в основе которых лежит стремление минимизировать обобщенный показатель, вычисляющийся по формуле, обратной соотношению (1), имеет место аналогичная величина, показывающая, во сколько раз необходимо увеличить выходы.

Векторы S^{-*}, S^{+*} показывают, насколько необходимо сместить систему, полученную посредством умножения вектора затрат рассматриваемой системы на θ^* , чтобы она стала эффективной.

Таким образом, с помощью применения аппарата АСФ для сравнительной оценки авиационных систем для каждой из рассматриваемых систем определяется набор параметров, позволяющий сделать вывод, является ли рассматриваемая система эффективной, и если нет, то они определяют характер преобразования векторов входных и выходных параметров, переводящий систему в разряд эффективных.

Таким образом, применительно к изложенной выше постановке задачи, вектор, характеризующий систему i' , будет иметь вид

$$S_{i'} = (x_{i_1}, \dots, x_{i_m}, y_{i_1}, \dots, y_{i_l}), m + l = p.$$

Вектор приращений характеристик системы, переводящей ее в разряд эффективных, в случае реализации входной модели АСФ будет иметь вид

$$\Delta S_{i'} = ((\theta^* - 1)x_{i_1} - s_1^-, \dots, (\theta^* - 1)x_{i_m} - s_m^-, y_{i_1} + s_1^+, \dots, y_{i_l} + s_l^+),$$

где $m + l = p$.

Помимо этого, для каждой из рассматриваемых систем может быть определена зона устойчивости при изменении входных и выходных параметров, в пределах которой она не изменяет своего статуса, эффект масштаба и некоторые другие показатели.

3. Структура методики сравнительной оценки авиационных систем с использованием аппарата АСФ

Для создания методики сравнительной оценки авиационных систем с использованием аппарата АСФ необходим алгоритм агрегирования внешних данных о системе в исходные данные для проведения расчетов. В его основе должны лежать формально-логические принципы классификации, а также взаимосвязь между техническими характеристиками системы, затратами оперирующей стороны и результатами функционирования системы. Для получения этой взаимосвязи необходимо задействовать модели функционирования авиационных систем на всех этапах жизненного цикла.

В качестве моделей, описывающих функционирование авиационных систем, могут быть использованы разработанные ранее.

Также для создания методики необходим алгоритм выбора конкретной модели АСФ в зависимости от специфики рассматриваемой системы и цели исследований с учетом назначения конкретной авиационной системы и данных о ней.

Структурная схема методики представлена на рис. 1.

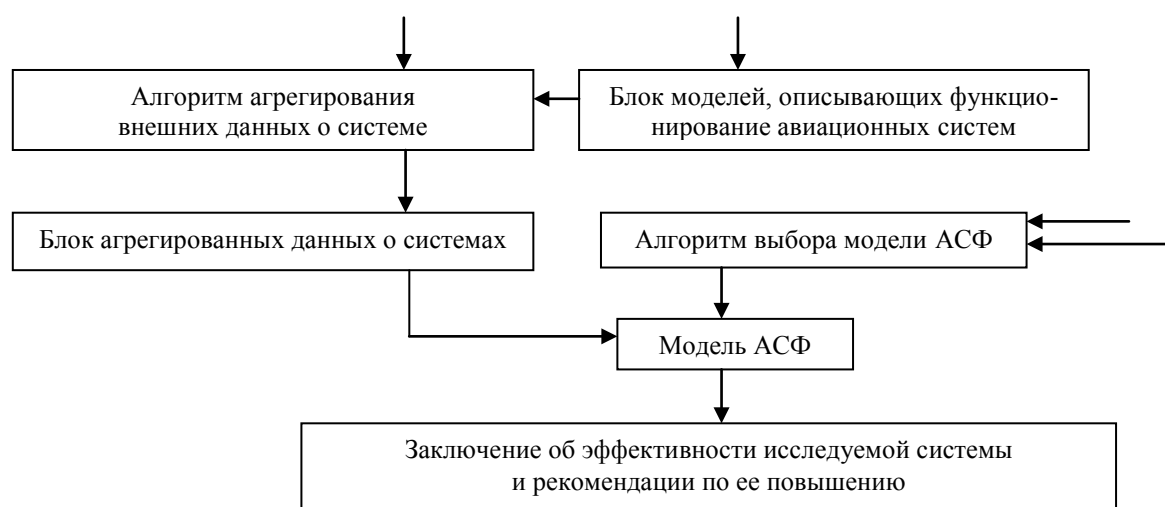


Рис. 1. Структурная схема методики

Заключение

Подход, лежащий в основе методологии АСФ, имеет ряд преимуществ перед традиционными методами решения многокритериальных задач.

1. Известные способы сведения векторного критерия к скалярному имеют ярко выраженную субъективную составляющую, проявляющуюся в выделении приоритетного показателя, введении коэффициентов важности, являющихся результатом экспертных оценок и т.п. Методология АСФ базируется на отношении суммарного «входа» к суммарному «выходу» по принципу коэффициента рентабельности, коэффициента полезного действия и т.п.; кроме того, создатели методологии предлагают подход, позволяющий избежать экспертного способа задания коэффициентов важности, определив их аналитически.

2. Рассчитываемые в моделях АСФ показатели носят наглядный экономический смысл, фактически иллюстрируя, каким образом необходимо сократить затраты или увеличить производительность, чтобы исследуемая система стала эффективной.

3. Аппарат АСФ позволяет определить границы множества производственных возможностей, не прибегая к моделированию производственных процессов.

Реализация предложенного подхода к сравнительной оценке авиационных систем позволит усовершенствовать и дополнить существующий научно-методический аппарат оптимизации их характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жеребин А.М., Зурабян Н.И. Модель боевых действий для оценки эффективности перспективного авиационного вооружения // Вестник МАИ. - 2009. - Т. 16. - № 4. - С. 8 – 13.

2. Шутенко Т.Н. Анализ среды функционирования логистической системы // Вестник Одесского Национального Морского Университета. - 2011. - № 32. - С. 195 – 203.

3. Щербак А.Д. Применение методологии анализа среды функционирования для оценки эффективности управления набором стратегических бизнес-единиц промышленных корпораций // Вестник Удмуртского Университета. - 2012. - Вып. 2. - С. 76 – 81.

4. Кривоножко В.Е., Лычев А.В. Анализ деятельности сложных социально-экономических систем. - М.: Макс-Пресс, 2010.

5. Царев В.В. Внутрифирменное планирование. - СПб: Издательский Дом Питер, 2002.

APPROACH TO THE FORMATION OF METHODS FOR ESTIMATING THE EFFICIENCY OF AVIATION SYSTEMS BASED ON DATA ENVELOPMENT ANALYSIS METHODOLOGY

Zurabyan N.I.

The article is devoted to finding the approach directions of optimization of aircraft systems as a result of a comprehensive comparative evaluation of the system studied. The underlying of approach data envelopment analysis methodology (DEA) based on the methods of mathematical programming, theory of production functions and Pareto optimality principle is dealt with.

Key words: aircraft systems, data envelopment analysis, efficiency of aviation systems.

Сведения об авторе

Зурабян Николай Иванович, 1983 г.р., окончил МАИ (2006), кандидат технических наук, старший научный сотрудник ФГУП ГосНИИАС, автор 15 научных работ, область научных интересов – оценка эффективности сложных технических систем, исследование операций.