

ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ МЕТОД ВЫБОРА ПУНКТОВ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ*

Тюпкин М.В., Новой А.В., Тынченко Я.А.

Сибирский государственный аэрокосмический университет

Наиболее важной проблемой при создании АСУ космическими системами является выбор их структуры, которая определяет состав элементов системы с соответствующими взаимосвязями, с учетом динамики их функционирования. Анализ различных подходов к проблеме формирования АСУ космическими системами показал, что задачу синтеза АСУ можно было бы разбить на две подзадачи. К первой относятся задачи, связанные с формированием топологической структуры АСУ космической системой, состоящей в определении состава, территориального расположения и типа управляющих узлов на всех уровнях иерархии системы и каналов связи между ними. Ко второй группе относятся проблемы формирования функциональной структуры системы, т. е. распределение функций управления между узлами системы, включая объект управления и распределение технических средств по узлам системы.

Решение задачи оптимизации состава АСУ космическими системами при выборе входящих в нее пунктов управления космическими аппаратами с учетом их стоимости и ряда тактико-технических показателей возможно выполнить, используя оптимизационный метод упорядоченного предпочтения через сходство с идеальным решением. Данный метод базируется на концепции, что наилучшая альтернатива (вариант формирования состава АСУ космической системы) должна иметь наименьшее расстояние до «идеального решения» и наибольшее расстояние до «идеального негативного решения».

Принимая, что каждый критерий имеет монотонно возрастающую (убывающую) целевую функцию, легко найти идеальное решение, которое состоит из лучших достижимых значений всех показателей и идеальное негативное решение, состоящее из худших достижимых значений всех показателей.

Лучшей принимается альтернатива, которая имеет минимальное евклидово расстояние до идеального решения и максимальное до идеального негативного решения.

На основе метода упорядоченного предпочтения через сходство с идеальным решением был разработан следующий алгоритм.

Шаг 1. Задать относительную важность w каждой из k целевых функций.

Шаг 2. Определить идеальное решение PIS (f^*) и идеальное негативное решение NIS (f^-), решая задачи:

$$\begin{aligned} f^* &= \{f_1^*, f_2^*, \dots, f_k^*\}, \\ f^- &= \{f_1^-, f_2^-, \dots, f_k^-\}, \end{aligned}$$

* Исследования выполнены в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы

где $f_j^* = \max_{x \in X} f_j(x)$ для $\forall j \in J$ и $f_i^* = \min_{x \in X} f_i(x)$ для $\forall i \in I$; $f_j^- = \min_{x \in X} f_j(x)$ для $\forall j \in J$ и $f_i^- = \max_{x \in X} f_i(x)$ для $\forall i \in I$; $f_j(x), j \in J$ – цель для максимизации типа «выгода», $f_i(x), i \in I$ – цель для минимизации типа «стоимость»; $k \in K, K = I \cup J$. Тогда f^* является вектором решения, который состоит из индивидуальных наилучших возможных решений для всех целей и называется *PIS*. Аналогично, f^- является вектором решения, который состоит из наихудших возможных решений для всех целей и называется *NIS*.

Шаг 3. Решить задачу:

$$\begin{aligned} \min d^{PIS}(x) \\ \max d^{NIS}(x) \\ x \in X, \end{aligned}$$

где

$$d^{PIS} = \left\{ \sum_{j \in J} w_j \left[\frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_j^-} \right]^2 + \sum_{i \in I} w_i \left[\frac{f_i(x) - f_i^*}{f_i^- - f_i^*} \right]^2 \right\}^{1/2},$$

$$d^{NIS} = \left\{ \sum_{j \in J} w_j \left[\frac{f_j(x) - f_j^-}{f_j^* - f_j^-} \right]^2 + \sum_{i \in I} w_i \left[\frac{f_i^- - f_i(x)}{f_i^- - f_i^*} \right]^2 \right\}^{1/2},$$

$w_t, t = 1, 2, \dots, k$ – относительная важность целей; d^{PIS} и d^{NIS} – расстояния до наилучшего идеального решения и наихудшего идеального решения соответственно.

Шаг 4. Найти $(d^{PIS})^*, (d^{NIS})^*, (d^{PIS})^-, (d^{NIS})^-$, решая задачу:

$$\begin{aligned} (d^{PIS})^* &= \min_{x \in X} d^{PIS}(x) \text{ и решение } - x^{PIS}, \\ (d^{NIS})^* &= \max_{x \in X} d^{NIS}(x) \text{ и решение } - x^{NIS}, \\ (d^{PIS})^- &= d^{PIS}(x^{NIS}), \\ (d^{NIS})^- &= d^{NIS}(x^{PIS}). \end{aligned}$$

Шаг 5. Найти функции принадлежности $\mu_1(x)$ и $\mu_2(x)$:

$$\mu_1(x) = \begin{cases} 1 & \text{если } d^{PIS}(x) < (d^{PIS})^*, \\ \frac{(d^{PIS})^- - d^{PIS}(x)}{(d^{PIS})^- - (d^{PIS})^*} & \text{если } (d^{PIS})^* \leq d^{PIS}(x) \leq (d^{PIS})^-, \\ 0 & \text{если } d^{PIS}(x) > (d^{PIS})^-. \end{cases}$$

$$\mu_2(x) = \begin{cases} 1 & \text{если } d^{NIS}(x) > (d^{NIS})^*, \\ \frac{d^{NIS}(x) - (d^{NIS})^-}{(d^{NIS})^* - (d^{NIS})^-} & \text{если } (d^{NIS})^- \leq d^{NIS}(x) \leq (d^{NIS})^*, \\ 0 & \text{если } d^{NIS}(x) < (d^{NIS})^-. \end{cases}$$

Шаг 6. Найти:

$$\begin{aligned} \max \alpha \\ \mu_1(x) \geq \alpha \text{ и } \mu_2(x) \geq \alpha \\ x \in X \end{aligned}$$

Шаг 7. Если решение удовлетворяет проектировщика, то происходит остановка работы алгоритма. Однако проектировщик может пожелать изменить относительную важность целевых функций или функции принадлежности, тогда выполняется возврат к шагам 1 или 5.

Применение метода упорядоченного предпочтения через сходство с идеальным решением обеспечивающий эффективное решение задачи формирования структуры АСУ космической системой, а именно, выбор лучшего набора пунктов управления космическими аппаратами, входящими в состав системы управления.