

АЛГОРИТМ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ ПО МНОГИМ КРИТЕРИЯМ

В.С. Симанков, П.Ю. Буцацкий

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар

Адыгейский государственный университет, Майкоп

В статье рассмотрен алгоритм формирования управления сложной системой, исходя из минимизации векторного критерия качества, при наличии ограничений на параметры состояния и вектор управления. Программа, реализующая указанный алгоритм, является информационно-управляющей системой, включающей сбор, накопление, обработку информации, а также блок формирования управляющего воздействия. В связи с этим предложена структура программы и описаны выполняемые функции.

Рассмотрим процесс функционирования управляемой системы при наличии ограничений на параметры состояния и вектор управления. Состояние системы в каждый момент времени определяется вектором управления u , принадлежащим допустимой области U :

$$u \in U \quad (1)$$

На параметры состояния управляемой системы наложены ограничения

$$G_j[u] \leq 0, j = 1, \dots, J \quad (2)$$

Целью функционирования системы является минимизация векторного критерия качества

$$R_k[u], k = 1, \dots, K \quad (3)$$

Таким образом, для управляемой системы требуется определить вектор управления в соответствии с ограничениями (1) и (2)

$$u \in \tilde{U} = \{u \in U, G_j[u] \leq 0, j = 1, \dots, J\} \quad (4)$$

минимизирующий векторный критерий (3).

В сформулированной задаче соотношения (2) и (3) задают отображение $v: \tilde{U} \rightarrow \Phi$, где Φ - область допустимых значений критериев, образуемая допустимыми значениями векторов $R_k[u] (k = 1, \dots, K)$ при управлениях, удовлетворяющих условиям (4). В дальнейшем используется множество индексов

Решение многокритериальной задачи приводит к формированию множества неулучшаемых по Парето (π -оптимальных) управлений u^* [1], принадлежащих множеству \tilde{U} . Множество Парето представляет собой совокупность управлений, определяемых из условия

$$\Pi = \left\{ \begin{array}{l} u^* \in \tilde{U} \mid \exists u \in \tilde{U} : R_k[u] \leq R_k[u^*], \\ k \in K, u \neq u^* \end{array} \right\} \quad (5)$$

Управления, входящие в множество Парето, являются несравнимыми по векторному критерию, вследствие чего возникает проблема выбора единственного управления из множества Парето. Единственность решения задачи (1)-(4) может быть обеспечена с помощью принципа гарантированного результата (минимакса) [2], согласно которому оптимальным считается управление u^0 из множества \tilde{U} , которое доставляет наилучшее значение наихудшему критерию качества:

$$u^0 = \arg \min_{u \in \tilde{U}} \max_{k \in K} R_k[u] \quad (6)$$

В общем случае K критериев алгоритм имеет вид [6]:

- 1) выбирается начальный закон управления $u^h \in \tilde{U}$; задается начальное значение шага $\Delta \zeta^i < 1$;
- 2) определяется опорное управление по правилу

$$u_i = \begin{cases} u_n, & i = 0, \\ u_{i-1}^C, & i > 0; \end{cases}$$

3) формируется K управляющих зависимостей $u_i^k, k \in K$ путем последовательного решения K задач минимизации

$$\xi_k^i[u_k^i] = \min_{u \in \tilde{U}_{ik}} \max_{k \in K} \xi_k^i[u], k = 1, \dots, K$$

$$\tilde{U}_{ki} = \left\{ u \in \tilde{U}, R^k[u] = \bar{R}_0^k, k \neq \arg \max_{k \in K} \xi_k^i[u_{k-1}^i], k \in K \right\}$$

в каждой из которых

$$\bar{R}^k = \bar{\xi}_k^i (R_k^{\max} - R_k^{\min}) + R_k^{\min}, \bar{\xi}_k^i = \bar{\xi}_{k-1}^i + \Delta \xi_i,$$

где $\bar{\xi}_{k-1}^i$ - значение k -го критерия, полученное в результате предыдущей задачи. В каждой из K задач начальным приближением служит управление u_i при $k=1$, u_{k-1}^i при $k=2,3,\dots,K$; при этом шаг итерации равен

$$\Delta \xi_i = \frac{\Delta \bar{\xi}_{i-1} + \left| \xi^{C_{i-1}} - \min_{k \in K} \xi_k^{A_i} \right|}{2};$$

4) вычисляются координаты точек $A_i^k (\xi_{1i}^k, \xi_{2i}^k, \dots, \xi_{Ki}^k), k \in K$ принадлежащих множеству $v(\Pi)$;

5) вычисляются координаты вершины гиперповерхности $C_i (\xi_{1i}^C, \xi_{2i}^C, \dots, \xi_{Ki}^C), k \in K$

$$\xi_{li}^C = \xi_{2i}^C = \dots = \xi_{Ki}^C = \xi_i^C = a \frac{1}{b_1 + b_2 + \dots + b_{K-1} + 1}$$

где коэффициенты b_1, b_2, \dots, b_{K-1} определяются из решения системы

$$\xi_K^k = a (\xi_1^k)^{-b_1} (\xi_2^k)^{-b_2} \dots (\xi_{K-1}^k)^{-b_{K-1}}, k = 1, 2, \dots, K$$

6) формируется управление u_i^C , соответствующее точке C_i или ближайшей к ней точке, если $C_i \notin \Phi$, для этого по координатам точки C_i определяются значения исходных критериев

$$R_k^C = \xi_{ki}^C (R_k^{\max} - R_k^{\min}) + R_k^{\min},$$

и находится управление и из условия принадлежности области

$$\tilde{U}^C = \left\{ u \in \tilde{U}, R^k[u] = R_k^C, k \in K \right\},$$

если $C_i \in \Phi$, или, если $C_i \notin \Phi$, из условия $\min_{u \in \tilde{U}} \max_{k \in K} |R^k[u] - R_k^C|$;

7) проверяется условие окончания итераций $|\xi_{i-1}^C - \xi_i^C| \leq \varepsilon$. Если оно выполнено, то точка C_i считается приближенным минимаксно-оптимальным сочетанием критериев, а ее прообраз u_i^C - минимаксно-оптимальным управлением u^0 ; в противном случае вычисления повторяются, начиная с шага 2.

В виде IDEF0-диаграммы предложенный алгоритм представлен на рис. 1[11].

Предложенный алгоритм позволяет определить минимаксно-оптимальное сочетание критериев ξ^0 за конечное число итераций, то есть для заданной точности $\varepsilon > 0$ найдется такой номер I , что

$$|\xi^0 - \xi_i^C| \leq \varepsilon \tag{7}$$

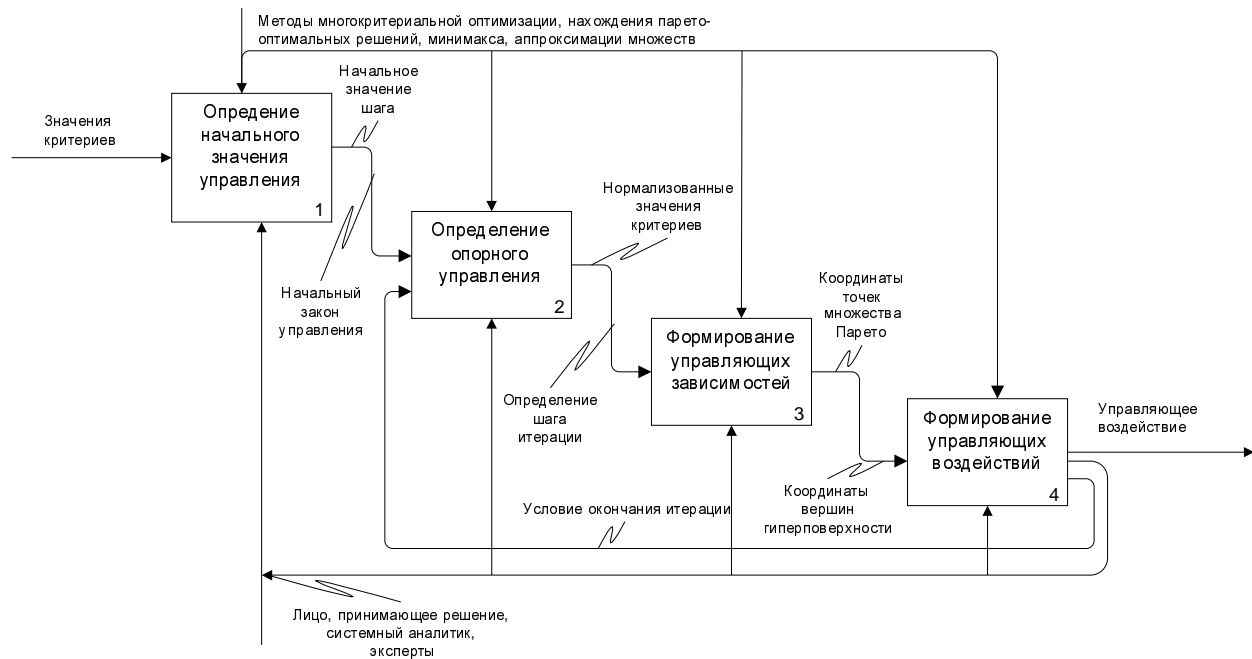


Рис. 1. IDEF0 диаграмма алгоритма решения многокритериальной задачи управления

Решение многокритериальной задачи на основе предложенного алгоритма сводится к последовательности скалярных оптимизационных задач и предусматривает [6]:

- 1) формирование K Парето-оптимальных управлений;
- 2) построение в соответствии со значениями критериев при этих управлениях гиперболических поверхностей, аппроксимирующих поверхность Парето в пределах малой окрестности опорного управления;
- 3) нахождение точки сочетания критериев, принадлежащей аппроксимирующей поверхности и имеющей равные нормализованные значения критериев, и формирование соответствующего управления.

Предложенный алгоритм имеет следующие преимущества [6].

1. Позволяет определять минимаксно-оптимальное сочетание критериев как в случае выпуклого к началу координат множества $\mathcal{U}(\Pi)$, так и в невыпуклом случае, поскольку на предпоследнем шаге в невыпуклом случае ищется точка, ближайшая к C в смысле

$$u = \arg \min_{u \in U} \max_{k \in K} |\xi_i^k[u] - \xi_i^C|.$$

2. Позволяет учесть приоритеты критериев, задаваемые весовыми коэффициентами β^k :

$$\sum_{k=1}^K \beta^k = 1, \beta^k > 0, k \in K.$$

В этом случае алгоритм применяется в неизменном виде, но нормализованные критерии подвергаются преобразованию:

$$\bar{\xi}^k = \beta^k \xi^k, k \in K.$$

Таким образом, предложенный алгоритм, формируя минимизирующую последовательность управлений, сводит решение многокритериальной задачи управления к последовательности решения скалярных задач оптимизации, для которых разработаны надежные численные методы решения.

Реализовать предложенный уточненный алгоритм многокритериальной оптимизации возможно в виде программного комплекса для ЭВМ. На основе имитационного эксперимента над моделью, отражающей важнейшие факторы и взаимосвязи реальной системы, программа может предоставить пользователю информацию о ее состоянии в целях поддержки принятия решений. При этом очень важными являются наглядность форм представления информации, быстрота получения новых

видов отчетности, возможность анализа текущих и исторических данных. Такие возможности предоставляют системы поддержки принятия решений (СППР).

Процедура принятия решений представляет собой информационный процесс, в котором можно выделить ряд технологических этапов (рисунок 2) [7, 8, 9].

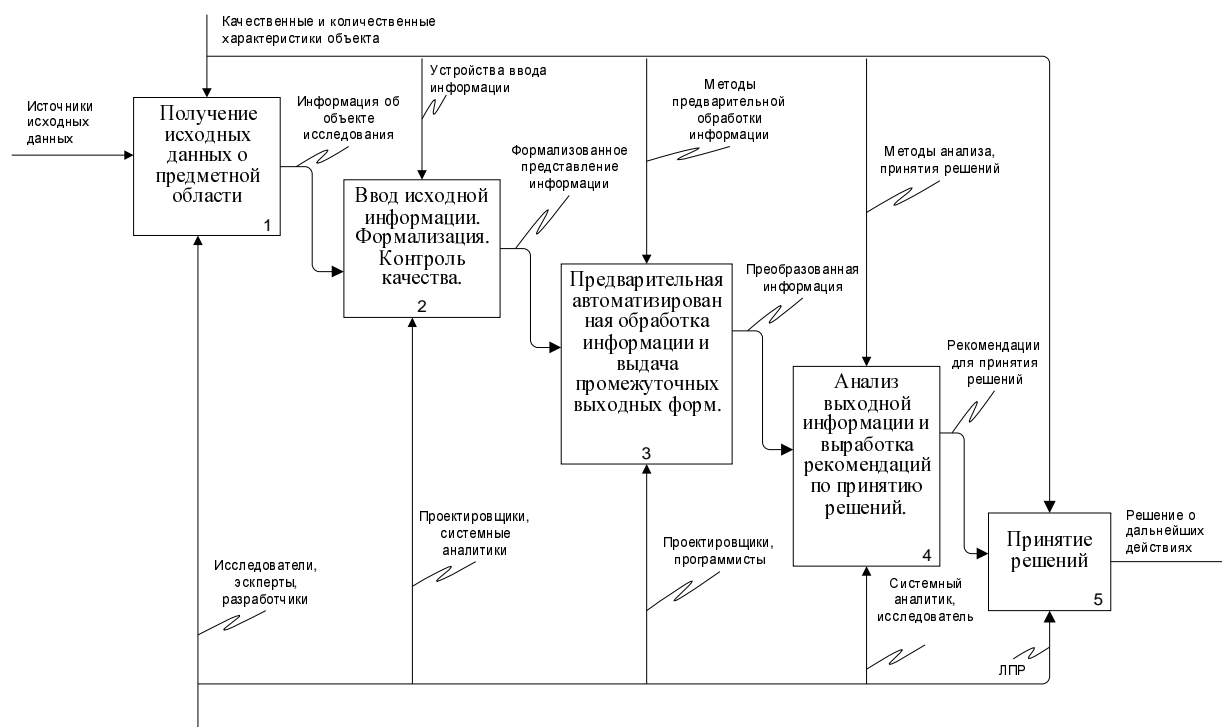


Рис. 2. Этапы процесса принятия решений

СППР можно разделить на два класса: информационные и управляющие. Целью функционирования информационных систем является сбор, обработка и выдача информации для эффективного принятия решений. Управляющие системы, наряду со сбором информации обеспечивают выдачу непосредственно команд исполнительным механизмам. Они обычно работают в реальном масштабе времени. Однако, для решения многокритериальных задач управления сложными системами в рамках одной программы необходимо осуществлять процедуры накопления и обработки информации, а также на основе полученных результатов формировать управляющее воздействие. Поэтому необходимо создание информационно-управляющего комплекса, который предоставляет пользователю достоверную информацию о состоянии сложной системы для эффективного выполнения своих функций.

Для управления сложной системой в рамках информационно-управляющей системы необходимо обработать информацию о ней за определенный временной промежуток по предложенным критериям, определить управляющее воздействие и на его основе принять решение о дальнейшем режиме функционирования системы. Для выполнения этих действий необходимо решить вопросы хранения статистической информации, доступа к ней и обработки, построения блока определения управляющего воздействия системы, интерпретации и представления результатов вычислительных экспериментов. Для решения указанных задач необходимо построение ИС, содержащей блок многокритериальной оптимизации. Она имеет структуру, представленную на рисунке 3 [10].

Программа должна выполнять следующие функции:

- построение модели объекта исследования;
- решение задачи многокритериальной оптимизации;
- интерпретация результатов оптимизации;
- адаптация модели к изменениям предметной области;
- взаимодействие системы с Windows-приложениями;
- обеспечение надежности эксплуатации.

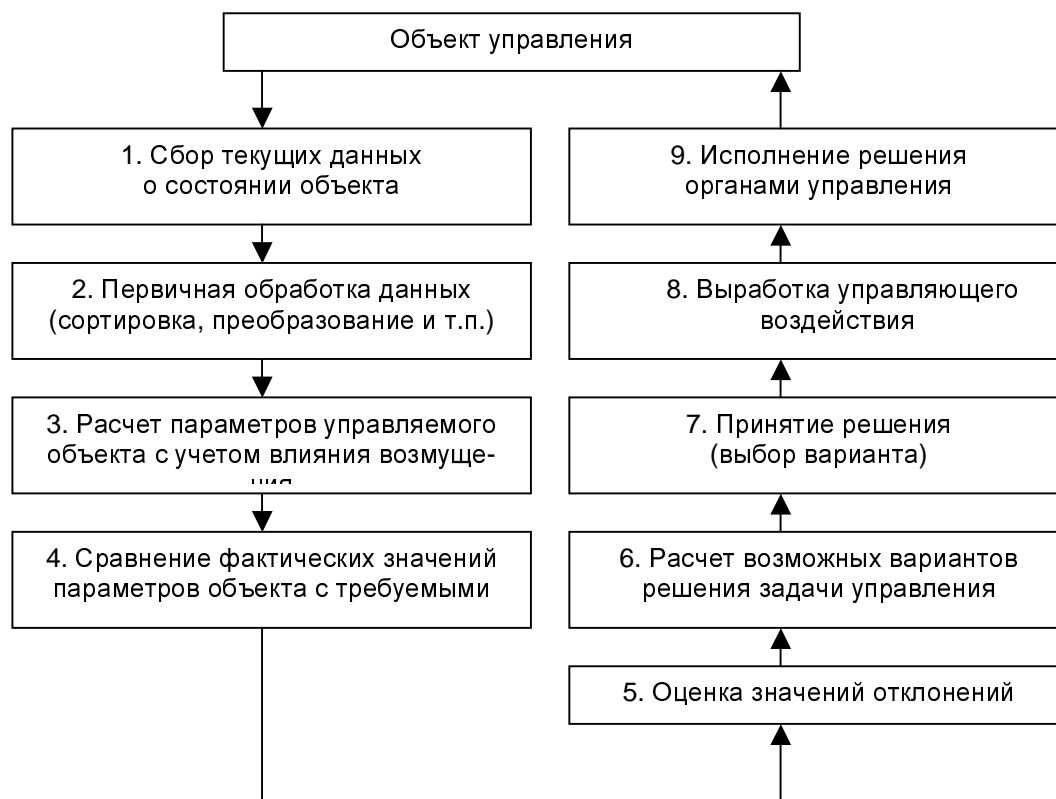


Рис. 3. Структура ИС для решения задачи многокритериальной оптимизации

Для организации удобного для пользователя способа общения с программой предназначена интерфейсная часть, включающая блоки ввода информации и интерпретации результатов. Она должна иметь удобный и понятный интерфейс, поэтому для его реализации с учетом приведенных характеристик разрабатываемой системы остановимся на среде визуального моделирования Delphi. Это позволит создать стандартный Windows-интерфейс для программы, максимально удобный и понятный для пользователя, обеспечит ввод и вывод информации в удобном для чтения виде, а также обеспечит связь с вычислительным блоком программы через механизм динамически подключаемых библиотек (DLL). Использование именно этого инструмента позволит существенно сократить объем программы и упростить процесс передачи параметров из интерфейсной части программы в вычислительную и обратно.

Рассмотрен алгоритм формирования управления сложной системой, исходя из минимизации векторного критерия качества, при наличии ограничений на параметры состояния и вектор управления. Предложен подход к решению этой задачи с использованием аппроксимации множества Парето гиперповерхностью, на основе которого разработан алгоритм формирования управления.

Установлено, что программа, реализующая указанный алгоритм, является информационно-управляющей системой, включающей сбор, накопление, обработку информации, а также блок формирования управляющего воздействия. В связи с этим предложена структура программы и описаны выполняемые функции.

Литература

1. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982.
2. Машунин Ю.К. Методы и модели векторной оптимизации. М.: Наука, 1986.
3. Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества. М.: Советское радио, 1975.
4. Хоменюк В.В. Элементы теории многоцелевой оптимизации. М.: Наука, 1983.
5. Лазарев Ю.Н. Численный метод формирования многоканального управления движением аэрокосмических аппаратов в атмосфере // Известия Самарского научного центра РАН. 1999. №1.

6. *Лазарев Ю.Н.* Алгоритм решения многокритериальных задач управления // Известия Самарского научного центра РАН. 2001. т3, №1.
7. *Симанков В.С.* Автоматизация системных исследований: Монография (научное издание). Кубанский государственный технологический университет. – Краснодар, 2002. – 376 с.
8. *Симанков В.С., Бучацкая В.В.* Системные исследования безопасности на основе нейронной сети: Монография (научное издание) / Техн. ун-т кубан. гос. технол.ун-та – Краснодар, 2003. – 228с.
9. *Симанков В. С., Бучацкий П. Ю., Шопин А. В.* Методология моделирования физических процессов в энергетических комплексах с нетрадиционными источниками энергии и оптимизация их параметров // Труды Физического Общества Республики Адыгея. 1998. №3. С. 18-26.
10. Теория автоматического управления: Учеб. для машиностроит. спец. вузов/В.Н. Брюханов, М.Г. Косов, С.П. Протопопов и др.; Под ред. Ю.М. Соломенцева. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 1999 – 268 с.: ил.
11. Integration definition for function modeling (IDEF0). Draft Federal Information.

Algorithm and the automated control system software of complex systems on the many criteriums

V.S. Symankov, P.Yu. Buchatski

In this article is considered the algorithm of forming control complex system on base minimization the vector of performance criterion for the restriction on state variables and control vector. The software realizing this algorithm is the informing-controlling system inclusive the accumulation cumulative data, information processing and formation block of control action. The software structure and functionality consider in this connexion.