

УДК 510

**АНАЛИТИКО–ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА МЕТОДОВ  
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ  
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

**ANALYTICAL AND INFORMATION ANALYSIS AND EVALUATION METHODS  
FOR SOLVING PROBLEMS OF MULTICRITERIA OPTIMIZATION TECHNICAL  
MANAGEMENT SYSTEMS**

©**Якубжанова Д. К.**

*Ташкентский университет информационных технологий  
г. Самарканд, Узбекистан, dilya55575@mail.ru*

©**Yakubjanova D.**

*Tashkent University of Informasion Technologies  
Samarkand, Uzbekistan, dilya55575@mail.ru*

*Аннотация.* В работе поставлена и решается задача аналитико–информационного анализа и оценки методов многокритериальной оптимизации технических систем управления. В теории многокритериальной оптимизации решаются задачи принятия решений одновременно по нескольким критериям. Универсальным способом для «упрощения» многокритериальности является переход к обобщенному критерию, который следует оптимизировать. В основе такого перехода лежит использование различных функций агрегирования, при которых результат не всегда поддается интерпретации и, следовательно, возникает вопрос об адекватности полученного оптимального решения.

*Abstract.* The work posed and solved the problem of analytical and information analysis and evaluation of multi–criteria optimization methods of technical control systems. In the theory of multicriteria optimization problem solved by the decision–making at the same time on several criteria. Universal way to “simplify” multicriteriality is the transition to the generalized criteria that should be optimized. At the heart of this transition is to use different aggregate functions, in which the results are not always amenable to interpretation and, therefore, the question arises about the adequacy of the obtained optimal solution.

*Ключевые слова:* анализ, оценка, модель, задача, оптимизация, многокритериальность, управление, система, метод.

*Keywords:* analysis, evaluation, model, task optimization, multicriteriality, management, system, method.

Особенностями объектно–ориентированных задач проектирования, на современном этапе развития инфокоммуникационных систем и технологий, являются их многокритериальность, обособленная множеством технико–технологических и экономических параметров.

Следует отметить, что с развитием и совершенствованием технологий производства число таких задач постоянно растет. В этом плане, в соответствии с рассматриваемой проблемой, процесс проектирования технических объектов и систем неразрывно связан с применением методов решения многокритериальной задачи оптимизации.

Многокритериальность является особенностью реальных систем, где критерии, которые необходимо оптимизировать, зачастую противоречат друг другу.

Универсальным способом для «упрощения» многокритериальности является переход к обобщенному критерию, который следует оптимизировать. В основе такого перехода лежит использование различных функций агрегирования, при которых результат не всегда поддается интерпретации и, следовательно, возникает вопрос об адекватности полученного оптимального решения.

Как правило, в задачах многокритериальной оптимизации предполагается, что все критерии независимы. Однако, в большинстве реальных задач целевые функции почти неизбежно являются противоречивыми и конфликтующими.

Отказ от учета этого фактора приводит к значительному упрощению задач, так что решения, полученные традиционными методами, представляют лишь малый интерес.

Известно, что в теории многокритериальной оптимизации (МКО) решаются задачи принятия решений одновременно по нескольким критериям.

Постановка задачи. Задача МКО в аналитической форме ставится следующим образом: требуется найти числа  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , удовлетворяющие системе ограничений

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

для которых функции

$$z_k = f_k(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (2)$$

достигают максимального значения.

Множество точек  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , удовлетворяющих системе (1), образует допустимую область  $D \subset R^n$ . Элементы множества  $D$  называются допустимыми или альтернативами решениями, а числовые функции  $f_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$  – целевыми функциями, или критериями, заданными на множестве  $D$ .

В формулировке задаче (1)–(2) присутствует  $K$  целевых функций. Эти функции отображают множество  $D \subset R^n$  во множество  $F \subset R^K$ , которое называется множеством достижимости.

В отличие от задач оптимизации с одним критерием в МКО имеется неопределенность целей. Действительно, существование решения, максимизирующего несколько целевых функций, является довольно-таки затруднительным, а порой и недостижимым, поэтому с математической точки зрения задачи МКО являются неопределенными и решением может быть только компромиссное решение. Поэтому, в теории МКО понятие оптимальности получает различные толкования, и сама теория содержит три основных направления:

- разработка концепции оптимальности;
- доказательство существования решения, оптимального в соответствующем смысле;
- разработка или совершенствование методов нахождения оптимального решения.

Зачастую при решении задач МКО приходится исследовать и специфические вопросы, связанные с неопределенностью целей и несоизмеримостью критериев.

Одними из основных проблем, возникающих, при разработке методов МКО являются:

– нормализация критериев, то есть приведение критериев к единому (безразмерному) масштабу измерения. При решении многокритериальной задачи необходимость нормализации критериев  $f_k(X)$ , заключается в приведении всех критериев к единому масштабу и безразмерному виду. В нашем случае принимаем, что все критерии неотрицательны, то есть  $f_k(X) \geq 0$  для всех  $X \in D$ .

Наиболее часто используется замена критериев их безразмерными относительными величинами:  $\lambda_k(X) = \frac{f_k(X)}{f_k^*}$ , где  $f_k^* = \max_{X \in D} f_k(X)$ . Нормализованные критерии обладают

двумя важными свойствами: во-первых, они являются безразмерными величинами, и, во-вторых, они удовлетворяют неравенству  $0 \leq \lambda_k(X) \leq 1$  для любого  $X \in D$ . Эти свойства позволяют сравнивать критерии между собой;

– выбор принципа оптимальности, то есть установление, в каком смысле оптимальное решение лучше всех остальных решений.

– учет приоритетов критериев;

– вычисление оптимума задачи МКО. Здесь речь идет о том, как использовать методы линейной, нелинейной, дискретной оптимизации для вычисления оптимума задач с определенной спецификой.

В функциональном плане, структурное исследование задач МКО предопределяет условия и требования, согласно которым появляется необходимость применения разнообразных методов их решения. Существует несколько способов классификации этих методов. В основе классификации, этих методов, заложен принцип использования дополнительной информации о предпочтениях лица принимающего решение [1]:

– методы, не учитывающие предпочтения лица, принимающего решение;

– апостериорные методы;

– априорные методы;

– интерактивные методы.

Методы каждого из этих классов имеют свои концептуальные особенности, определяющие их достоинства. Тем не менее ни один из этих методов, при возникновении неконтролируемых случайных возмущениях не может быть полностью свободен от недостатков.

Методы, не учитывающие предпочтения лица, принимающего решение, не предполагают учета, в той или иной форме, информации о предпочтениях лица принимающего решение. Поэтому, в данном случае, задача состоит в поиске некоторого компромиссного решения. В качестве примеров можно привести метод глобального критерия и метод нейтрального компромиссного решения [2].

Апостериорные методы предполагают внесение лицом, принимающим решение в МКО–систему информации о своих предпочтениях после того, как получено некоторое множество недоминируемых решений. В этой связи все методы данного класса на первом этапе строят аппроксимацию множества Парето.

Основной недостаток апостериорных методов заключается в том, что равномерная аппроксимация множества и/или фронта Парето требует больших вычислительных затрат. Кроме того, с повышением точности аппроксимации, которую достигают увеличением числа недоминируемых решений, задача выбора единственного решения, из представленного множества, становится более трудоемкой для лица принимающего решение.

Априорные методы призваны преодолеть основной недостаток апостериорных методов, связанный с построением всего множества достижимости решений. Здесь предполагают, что лицо принимающее решение вносит дополнительную информацию о своих предпочтениях до начала решения задачи в априори. Чаще всего эту информацию формализуют таким образом, чтобы свести многокритериальную задачу к однокритериальной. В качестве примеров можно привести метод скалярной свертки, метод  $S$  — ограничений, целевого программирования.

Интерактивные методы состоят из совокупности итераций, каждая из которых включает в себя этап анализа, выполняемый лицом, принимающим решение, и этап расчета,

выполняемой МКО–системой. По характеру информации, получаемой МКО–системой от лица принимающего решение на этапе анализа, можно выделить классы интерактивных методов [2], в которых лицо принимающее решение:

- непосредственно назначает весовые коэффициенты частных критериев оптимальности;
- накладывает ограничения на значения частных критериев оптимальности;
- выполняет оценку предлагаемых МКО–системой альтернатив.

Основой для развития современных интерактивных методов решения МКО–задачи послужили методы, изложенные [2]. Среди интерактивных методов решения МКО–задачи наиболее перспективными являются методы, основанные на оценках решений. В зависимости от того, в какой форме лицо принимающее решение производит оценку решений, к данному классу методов следует отнести:

- методы, в которых лицо принимающее решение выполняет оценку решений в терминах «отлично», «очень хорошо», «хорошо» и т. д., или методы, основанные на оценках функции предпочтений;
- методы, в которых лицо принимающее решение выполняет оценку решений в терминах «лучше», «хуже», «одинаково», или методы, основанные на парном сравнении решений.

Для лица принимающего решение эти формы задания предпочтений являются наиболее простыми и удобными, что обусловлено необходимостью активного участия лица принимающего решение в решении сложных современных инженерных задач.

В настоящее время в отраслевой экономике Республики Узбекистан большое внимание уделяется оснащению сельского хозяйства современной надежной и высокопроизводительной сельскохозяйственной техникой отвечающей мировым требованиям и стандартам. Это предопределило насущную необходимость разработки и совершенствования моделей объектно–ориентированных сельскохозяйственных машин на примере хлопкоуборочной машины, обусловленных улучшением ее динамических характеристик, расширением диапазона работоспособности и контроля режимными и эксплуатационными параметрами. При этом большое значение имеет решение проблемы связанной с непрерывным контролем эффективности их работы и их технического состояния.

Существующие методы контроля [2] обеспечивают получение информации о функциональных возможностях энергетических средств в основном визуально–субъективным путем либо по результатам диагностических операций, при которых режимы функционирования машин часто существенно отличаются от эксплуатационных условий.

Совершенствование системы контроля режимными и эксплуатационными параметрами тракторов, необходимо решить задачи связанные с разработкой математической модели расчета текущих значений и математических ожиданий эксплуатационных параметров тракторов и установочных допусков на уровень настройки при их функционировании в составе машинно–тракторного агрегата.

Трудность решения проблемы состоит в том, что сельскохозяйственные машины и их агрегаты являются сложными системами, состоящими из множества взаимодействующих функциональных частей. Поэтому при реализации эффективных методов необходимо учитывать все основные факторы, влияющие на динамическое взаимодействие элементов и управляемости сельскохозяйственных машин [6, 7].

Необходимость и актуальность проведения исследований в этой области позволяет на более качественном уровне изучить вопрос применения многоуровневой структуры моделирования и оптимального управления динамическими режимами в процессе диагностирования параметров технологических машин.

В качестве примера в работе исследована задача оптимального управления движением направляющих колес хлопкоуборочной машины МХ-1.8 на базе некоторой апостериорной информации с использованием детерминированной базовой информации.

При исследовании составлены математические модели колебательных процессов направляющих колес хлопкоуборочной машины, описываемые в форме уравнений Лагранжа второго порядка [1–5]:

– для горизонтального:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x}_m &= F_{nx} - b(\dot{x}_m - \dot{x}_k) + c(x_m - x_k), \\ m\ddot{x}_k &= b(\dot{x}_m - \dot{x}_k) + c(x_m - x_k) - F_x \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

– для вертикального

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{y}_m &= F_{ny} - b(\dot{y}_m - \dot{y}_k) - c(y_m - y_k), \\ m\ddot{y}_k &= b(\dot{y}_m - \dot{y}_k) + c(y_m - y_k) - F_y \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

с учетом

$$F_x = m\ddot{h}_n = -m \frac{4\pi^2 V_M^2}{l_n^2} r_k \sin \frac{2\pi V_M}{l_n} t, \quad (5)$$

$$F_y = m\ddot{h}_n = m \frac{4\pi^2 V_M^2}{l_n^2} r_k \cos \frac{2\pi V_M}{l_n} t \quad (6)$$

где  $b_i, c_i$  — коэффициенты вязкого сопротивления и жесткости шины колеса машины;  $m$  — распределенная масса по опорам машины;  $V_M$  — скорость машины;  $r_k$  — радиус колеса машины;  $l_n$  — расстояние между препятствиями неровностей (апостериорная информация).

Для решения задачи воспользуемся теорией оптимальных систем. Приведем постановку задачи оптимального управления.

*В начальный момент времени объект испытания находится в состоянии*

$$q_i(0) = q_0(0), \quad \dot{q}_i(0) = \dot{q}_0(0), \quad V_i(0) = V_0(0) \quad (7)$$

Требуется выбрать такое управление  $u(t)$ , которое переведет объект испытаний в заранее заданное конечное состояние

$$q_i(t) = q_0(t), \quad \dot{q}_i(t) = \dot{q}_0(t), \quad V_i(t) = V_0(t) \quad (i = \overline{1, n}), \quad 0 \leq t \leq T. \quad (8)$$

При этом требуется, чтобы время переходного процесса было наименьшим [3, 6, 7]. Тогда цель управления сводится к минимизации функционала с учетом  $q=x_i, q=y_i$

$$J(q_0, u(t), q(t)) = \int_{t_0}^T f^0(q(t), u(t), t) dt + g^0(q_0, g(T)) \quad (9)$$

При условиях (2.13), (2.14) и по закону

$$\dot{q}(t) = f(q(t), u(t), t). \quad (10)$$

Пусть заданы функции

$$g^i(q_0, q(T)) \leq 0, \quad i=1, \dots, m; \quad g^i(q_0, q(T)) = 0, \quad i = m+1, \dots, s, \quad (11)$$

$$u \in U, \quad t_0 \leq t \leq T, \quad (12)$$

где  $f(q(t), u(t), t)$  — непрерывно-дифференцируема со своими производными;  $u(t)$  — кусочно-непрерывная функция на отрезке  $[t_0, T]$ .

В условиях испытания машин при заданных условиях функционирования критерием качества может быть оценка по быстродействию.

#### Список литературы:

1. Азимов Б. М., Кубаев С. Т., Якубжанова Д. К. Системное моделирование и алгоритм управления испытательными системами хлопкоуборочных машин при различных состояниях их равновесия // Проблемы информатики и энергетики. 2011. №2. С. 15–25.
2. Азимов Б. М., Усманов И. И., Сулюкова Л. Ф., Саидов С. А. Моделирование движения направляющих колес хлопкоуборочной машины МХ-1.8 и выбор критерий оптимальности управления // Проблемы информатики и энергетики. 2012. №2–3. С. 42–46.
3. Азимов Б. М., Усманов И. И., Сулюкова Л. Ф., Саидов С. А. Оптимальное управление движением направляющих колес хлопкоуборочной машины МХ-1.8 // Проблемы информатики и энергетики. 2012. №4–5.
4. Абдазимов А. Д., Азимов Б. М., Сулюкова Л. Ф. Моделирование колебаний направляющих колес полунавесной хлопкоуборочной машины МХ-1.8 // Международная научно-практическая конференция «Техника будущего: перспективы развития сельскохозяйственной техники». (15–16 мая 2013 г.). Краснодар: КубГАУ, 2013. С. 149–150.
5. Протокол №13–2009 (106) предварительных испытаний хлопкоуборочной машины МХ-1.8. Узбекский государственный центр по сертификации и испытанию сельскохозяйственной техники и технологий (УзГЦИТТ) Гульбахор, 2009. 50 с.
6. Протокол №8–2010 (609) приемочных испытаний хлопкоуборочной машины МХ-1.8. Узбекский государственный центр по сертификации и испытанию сельскохозяйственной техники и технологий (УзГЦИТТ) Гульбахор, 2010. 43 с.
7. Черноруцкий И. Г. Методы принятия решений. СПб.: БХВ, 2005.

#### References:

1. Azimov, B. M., Kubaev, S. T., & Yakubzhanova, D. K. (2011). Sistemnoe modelirovanie i algoritm upravleniya ispytatelnymi sistemami khlopkouborochnykh mashin pri razlichnykh sostoyaniyakh ikh ravnovesiya. *Problemy informatiki i energetiki*, (2), 15–25.
2. Azimov, B. M., Usmanov, I. I., Sulyukova, L. F., & Saidov, S. A. (2012). Modelirovanie dvizheniya napravlyayushchikh koles khlopkouborochnoi mashiny MKh-1.8 i vybor kriterii optimalnosti upravleniya. *Problemy informatiki i energetiki*, (2–3), 42–46.
3. Azimov, B. M., Usmanov, I. I., Sulyukova, L. F., & Saidov, S. A. (2012). Optimalnoe upravlenie dvizheniem napravlyayushchikh koles khlopkouborochnoi mashiny MKh-1.8. *Problemy informatiki i energetiki*, 2012, (4–5).
4. Abdazimov, A. D., Azimov, B. M., & Sulyukova, L. F. (2013). Modelirovanie kolebaniy napravlyayushchikh koles polunavesnoi khlopkouborochnoi mashiny MKh-1.8. *Mezhdunarodnaya*

nauchno–prakticheskaya konferentsiya “Tekhnika budushchego: perspektivy razvitiya selskokhozyaistvennoi tekhniki”. (May 15–16, 2013). Krasnodar, *KubGAU*, 2013, 149–150.

5. Protokol no. 13–2009 (106) predvaritelnykh ispytaniy khlopkouborochnoi mashiny MKh-1.8. Uzbekskii gosudarstvennyi tsentr po sertifikatsii i ispytaniyu selskokhozyaistvennoi tekhniki i tekhnologii (UzGTsITT). (2009). Gulbakhor, 50.

6. Protokol no. 8–2010 (609) priemochnykh ispytaniy khlopkouborochnoi mashiny MKh-1.8. Uzbekskii gosudarstvennyi tsentr po sertifikatsii i ispytaniyu selskokhozyaistvennoi tekhniki i tekhnologii (UzGTsITT). (2010). Gulbakhor, 43.

7. Chernorutskii, I. G. (2005). *Metody prinyatiya reshenii*. St. Petersburg, *BKhV*.

*Работа поступила  
в редакцию 17.02.2017 г.*

*Принята к публикации  
22.02.2017 г.*

---

*Ссылка для цитирования:*

Якубжанова Д. К. Аналитико–информационный анализ и оценка методов решения задачи многокритериальной оптимизации технических систем управления // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2017. №3 (16). С. 28–34. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/yakubjanova> (дата обращения 15.03.2017).

*Cite as (APA):*

Yakubjanova, D. (2017). Analytical and information analysis and evaluation methods for solving problems of multicriteria optimization technical management systems. *Bulletin of Science and Practice*, (3), 28–34. Available at: <http://www.bulletennauki.com/yakubjanova>, accessed 15.03.2017. (In Russian).