DOI: 10.18411/vntr2024-172-1

УДК 621.01

СТРУКТУРНАЯ И ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© Ольга Евгеньевна Митряева[1], Марина Анатольевна Печейкина[1], Дмитрий Леонидович Раков[2]

[1] ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия
marina.pecheykina@mail.ru
[2]Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия
rdl@mail.ru

Аннотация. *В статье рассматривается использование усовершенствованного морфологического подхода для поиска, синтеза и анализа новых инновационных технических решений на стадии предэскизного проектирования. Рассматриваемый метод базируется на кластерном анализе, теории множеств и наборе алгоритмов, максимально раскрывающих потенциал синтезируемого объекта техники. Потенциальное число возможных комбинаций альтернатив при использовании классической морфологии чрезвычайно велико. Подход был оценен на примере новых инженерных решений и методов управления летательными аппаратами, а именно аэростатическими системами. Проведенные исследования показали значительный потенциал предлагаемого метода по сравнению с классическими методами.*
Ключевые слова: *предэскизное проектирование, морфологический ящик, технические решения, морфологическая матрица, новые инженерные решения, аэростатические системы.*

STRUCTURAL AND PARAMETRIC OPTIMIZATION OF INNOVATIVE AIRCRAFT

© Olga Mitryaeva[1], Marina Pecheykina[1], Dmitry Rakov[2]
[1]National research University "MEI", Moscow, Russia
marina.pecheykina@mail.ru
[2]Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of RAS, Moscow, Russia
rdl@mail.ru

Abstract. *The article discusses the use of an improved morphological approach for the search, synthesis and analysis of new innovative engineering solutions at the stage of pre-sketch design. The method under consideration is based on cluster analysis, set theory and a set of algorithms that maximize the potential of the synthesized object of technology. The potential number of possible combinations of alternatives when using classical morphology is extremely large. The approach was evaluated on the example of new engineering solutions and methods of controlling aircraft, namely aerostatic systems. The conducted studies have shown a significant potential of the proposed method in comparison with classical methods.*
Keywords: *pre-design, morphological box, technical solutions, morphological matrix, new engineering solutions, aerostatic systems.*

1. Введение. В инженерной практике принято стремиться к поиску нового оптимального технического решения (ТР) непосредственно в начале проекта. Для поиска инновационных ТР необходимо решение основных задач системного анализа - декомпозиции, анализа и синтеза технических систем (ТС). Анализ проводится для определения основных свойств ТС и ее функционирования, а задача синтеза заключается в разработке модели системы, определении ее структуры (структурный синтез) и соответствующих параметров (параметрический синтез). Решение этих задач необходимо для эффективного функционирования ТС и достижения поставленной цели [1].

Структура ТС представляет собой наиболее общий способ представления системы на концептуальной стадии процесса проектирования [2]. Половинкин рассмотрел три уровня концептуального проектирования ТС [3].

Характеристики синтезированных ТС на третьем уровне оптимизации могут быть улучшены на 10-15%. На первом и втором уровнях характеристики могут быть улучшены в среднем на 30-35%, а иногда и более.

Структура ТС состоит из набора элементов и совокупности их связей. Поиск рациональной структуры ТС — это достижение компромиссных уровней проектирования по ряду критериев. Целевая функция для поиска оптимума не соответствует основным требованиям теоретического метода оптимизации, так как является разрывной или не всегда может быть определена; существует в операторных обозначениях; не основана на аналитических выражениях; не дифференцируема, не унимодальна, не делима и не аддитивна. Невозможно построить гиперповерхность целевой функции и предсказать ее изменение по приращению переменных [4].

На этапе структурного синтеза новой ТС могут использоваться интуитивные (Brainstorming, Mind Mapping, ТРИЗ, Synectics и др.) и дискурсивные (морфологический анализ, причинно-следственная диаграмма и др.) методы. Наиболее распространенным среди дискурсивных методов является морфологический анализ (МА).

Морфологический анализ был разработан швейцарским астрофизиком Ф.Цвикки [5]. Исследователь применил морфологический анализ сначала в астрономических исследованиях и при разработке ракетных двигательных установок. Как метод структурирования и решения проблем, МА был разработан для решения многомерных, не поддающихся количественной оценке задач, в которых причинно-следственное моделирование и симуляция работают плохо или вообще не работают [6].

2. Модифицированный морфологический подход. Для устранения недостатков присущих классическим морфологическим подходам была предложена следующая методика. В предлагаемом подходе концептуальное проектирование проводится в следующие этапы [7,8]:

- синтез морфологической матрицы (Рис.1),
- определение системы критериев,
- взвешивание альтернатив,
- выбор опорных вариантов,
- генерация,
- отбор альтернатив с использованием оценок каждого варианта и сравнение с другими,
- кластеризация решений на основе меры сходства и построение пространства решений,
- анализ кластеров и решений,

- анализ риска проектирования, вариантов и их выбор,
- синтез прогностических моделей, этап параметрического моделирования и оптимизации.

После выполнения общих этапов экспертами формируется и анализируется морфологическая матрица и набор критериев. Морфологическая матрица и набор критериев являются фиксированными и в дальнейшем не изменяются.

На основе этой информации эксперты на последующих этапах оценивают критерии и оценивают варианты. Формирование несовместимых вариантов и опорных вариантов может быть поручено экспертам или сформировано заранее. Морфологические подходы применяются как для исследований технических систем, так и технологических процессов [9].

	Элементы							
Признаки		x^1	x^2	x^3	...	x^i	...	x^k
	x_1	x_1^1	x_1^2	x_1^3	...	x_1^i	...	x_1^{k1}
	x_2	x_2^1	x_2^2	x_2^3	...	x_2^i	...	x_2^{k2}
	x_3	x_3^1	x_3^2	x_3^3	...	x_3^i	...	x_3^{k3}
	...	...	...	...	...	...	...	...
	x_j	x_j^1	x_j^2	x_j^3	...	x_j^i	...	x_j^{km}
	...	...	...	...	...	...	...	...
	x_n	x_n^1	x_n^2	x_n^3	...	x_n^i	...	x_n^{ki}

Рис. 1. Морфологическая матрица.

3. Морфологический подход для инновационных аэростатических систем. Дальнейшее развитие аэростатов и дирижаблей в настоящее время связано не столько с разработкой конструкций, предполагающих совершенствование существующих систем, сколько внедрением новых технических решений, способных обеспечить надежный и безопасный режим полета и выполнение поставленных задач.

Разнообразие конструкторских решений, предоставляемых конструктору при выборе облика новых аэростатических платформ, отвечающих одним и тем же требованиям, может существенно различаться. Одной из основных проблем при проектировании аэростатов является выбор способа регулирования подъемной силы. Аэростаты поднимаются за счет избыточной аэростатической силы. Изменение высоты полета при подъеме достигается увеличением подъемной силы за счет сброса балласта или повышения температуры подъемного газа, а при спуске - уменьшением подъемной силы за счет сброса газа через специальный клапан или охлаждения подъемного газа.

Для анализа и последующего синтеза построена ММ "Принципы управления подъемной силой". В качестве основных характеристик экспертами выбраны следующие признаки P_i:

- Изменение давления.
- Изменение температуры.
- Изменение объема.
- Балластная система.

- Аэродинамическое управление.

Были построены ММ и матрицы опорных вариантов, содержащие уже известные ТР (рис. 2,3). В дальнейшем экспертами задаются критерии выбора и элементам признаков ММ присваиваются бальные значения от 1 до 9 по каждому критерию.

Элементы признаков

Признаки	P^1	P^2	P^3	P^4
P_1	P_1^1	P_1^2	P_1^3	
P_2	P_2^1	P_2^2	P_2^3	P_2^4
P_3	P_3^1	P_3^2	P_3^3	
P_4	P_4^1	P_4^2	P_4^3	
P_5	P_5^1	P_5^2	P_5^3	

Рис. 2. Морфологическая матрица "Принципы управления подъемной силой".

	P^1	P^2	P^3	P^4
P_1	P_1^1	P_1^2	P_1^3	
P_2	P_2^1	P_2^2	P_2^3	P_2^4
P_3	P_3^1	P_3^2	P_3^3	
P_4	P_4^1	P_4^2	P_4^3	
P_5	P_5^1	P_5^2	P_5^3	

а

	P^1	P^2	P^3	P^4
P_1	P_1^1	P_1^2	P_1^3	
P_2	P_2^1	P_2^2	P_2^3	P_2^4
P_3	P_3^1	P_3^2	P_3^3	
P_4	P_4^1	P_4^2	P_4^3	
P_5	P_5^1	P_5^2	P_5^3	

б

	P^1	P^2	P^3	P^4
P_1	P_1^1	P_1^2	P_1^3	
P_2	P_2^1	P_2^2	P_2^3	P_2^4
P_3	P_3^1	P_3^2	P_3^3	
P_4	P_4^1	P_4^2	P_4^3	
P_5	P_5^1	P_5^2	P_5^3	

в

	P^1	P^2	P^3	P^4
P_1	P_1^1	P_1^2	P_1^3	
P_2	P_2^1	P_2^2	P_2^3	P_2^4
P_3	P_3^1	P_3^2	P_3^3	
P_4	P_4^1	P_4^2	P_4^3	
P_5	P_5^1	P_5^2	P_5^3	

г

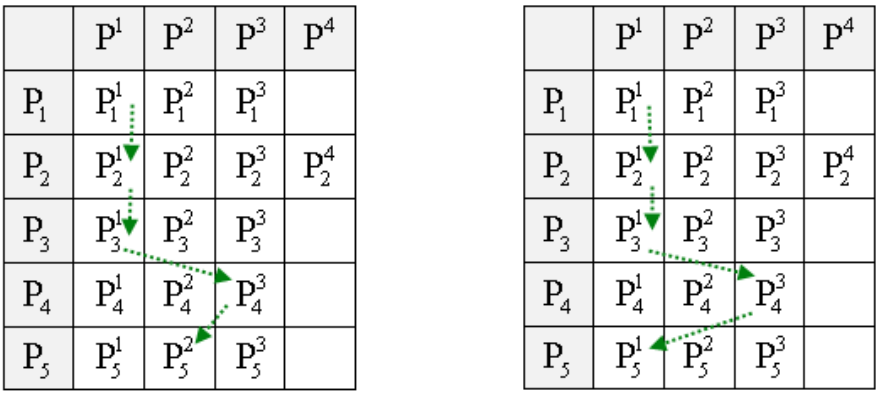


Рис. 3. Опорные варианты в ММ (а) аэростат, б) воздушный шар, в) вертолет, г) тепловой дирижабль "Термоплан", д) аэростат с воздушным балластом, е) дирижабль с воздушным балластом.

Для исследования принципов управления подъемной силой был проведен структурный синтез технических решений, осуществлена генерация и кластеризация вариантов и построено критериальное морфологическое пространство. По результатам синтеза были предложены схемы управления аэростатической подъемной силой путем сжатия части газа-носителя (рис. 4).

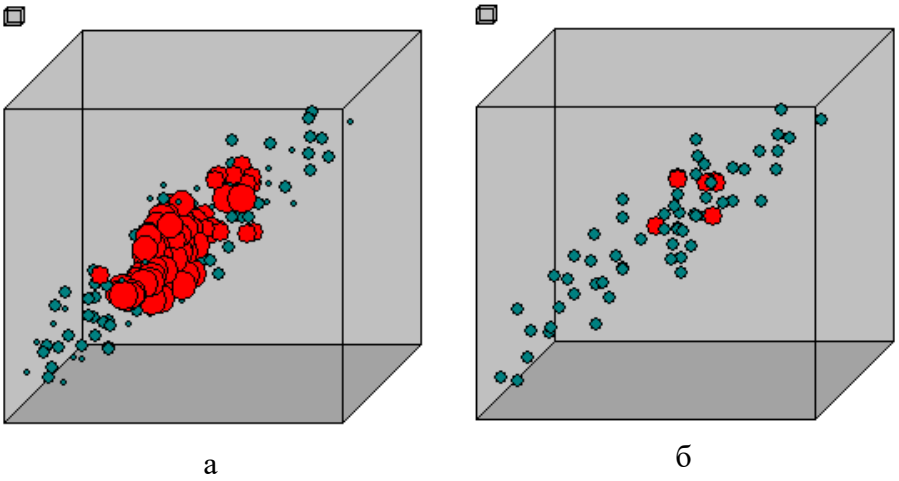


Рис. 4. Варианты в морфологическом пространстве а) максимальное количество ТР, б) выбранный набор ТР (экранные формы).

По результатам анализа из матрицы был выбран ряд альтернатив и проведено моделирование и параметрическая оптимизация. Расчет траекторных характеристик летательных аппаратов проводился путем численного интегрирования уравнений движения методом Эйлера. (рис. 5) при помощи программы Lane [10].

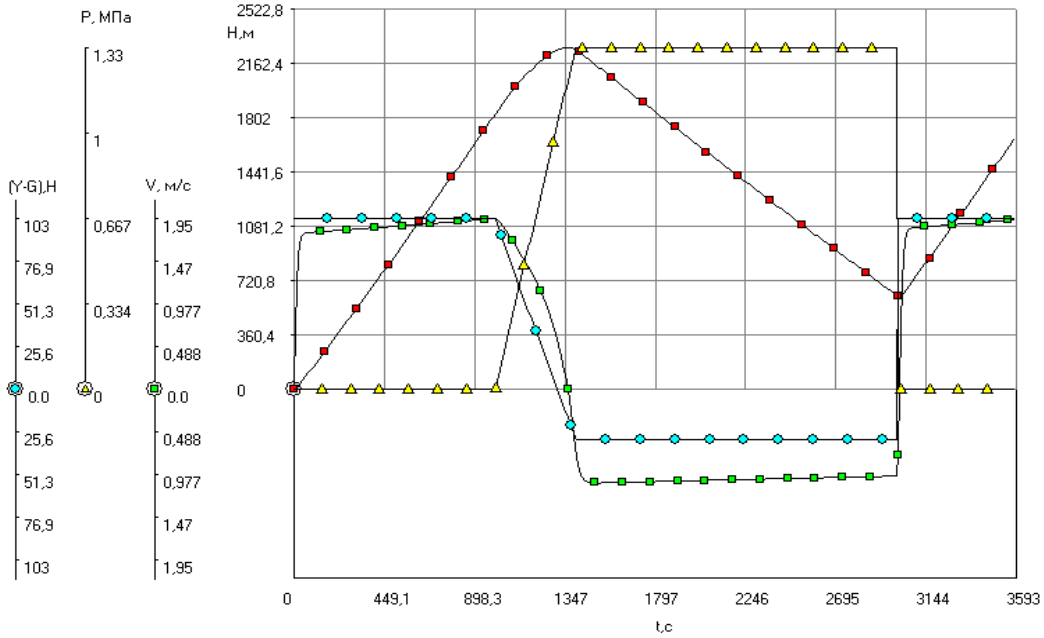


Рис. 5. Траекторные характеристики (экранная форма).

Предложенные концепции характеризуются следующими преимуществами перед существующими:

- Взаимодействие с одновременным изменением объема и давления при управлении подъемной силой.
- Возможность управления подъемной силой в двух направлениях.
- Универсальная применимость для различных концепций баллонов и гибридов.
- Малое время реакции.
- Повышенная надежность.
- Высокая технологичность.
- Малая масса всей системы.

По сравнению с технологией, использующей закачку воздуха в баллоны, предлагаемая позволяет регулировать подъемную силу за счет создания незначительного повышения давления в оболочке, а также, используя водород или гелий, откачивать газ-носитель из основной оболочки аэростата, что приводит к уменьшению массы и скорости реакции системы.

4. Выводы. Рассматриваемый метод базируется на кластерном анализе, теории множеств и наборе алгоритмов, максимально раскрывающих потенциал синтезируемого объекта техники. Подход был оценен на примере новых инженерных решений. Проведенные исследования показали значительный потенциал предлагаемого метода по сравнению с классическими методами.
Дальнейшие исследования предполагают уточнение экспертных оценок, выбор критериев и расширение возможностей кластеризации.

Список литературы

1. G.Pahl G and W.Beitz, Engineering Design - a Systematic Approach (Springer, London,1996).
2. D. Milčić, V. Miltenović. Application of artificial intelligence methods in gear transmitters conceptual design. // FACTA UNIVERSITATIS. Serbia, 2000 - Pp.721-734.
3. Половинкин А. Теория проектирования новой техники: закономерности техники и их применение. - Изд. Информэлектро, 1991-104 с.
4. Мишин, В., Осин, М., Введение в проектирование летательных аппаратов. - Москва: Изд. Машиностроение, 1976. - 128 с.
5. Zwicky, F., 1966, Entdecken, Erfinden, Forschen im morphologischen Weltbild, Droemer/Knaur, München, Zürich, 206 p.
6. Zwicky F. Morphology of aerial propulsion // Helvetica Physica Acta. – 1948. – Vol. XXI. – Heft 5. – S. 299–340.
7. Pecheykina M.A., Rakov D.L., Sukhorukov R.Y., Structural synthesis and the search for new engineering solutions in the conceptual design phase // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. - 2020. - 49(8). P. 712-719. DOI: 10.3103/S1052618820080087
8. Bardenhagen A., Pecheykina M., Rakov D. Advanced morphological approach for Knowledge-Based Engineering (KBE) in aerospace // Advances in Intelligent Systems and Computing. - 2020. - B. 902. - P. 495-505. DOI: 10.1007/978-3-030-12082-5_45
9. Митряева О.Е., Печейкина М.А., Раков Д.Л., Сухоруков Р.Ю. Синтез инновационных технологических процессов для микродугового оксидирования // Вестник научно-технического развития. - 2020. - № 7 (155). - С. 24-29. DOI: 10.18411/vntr2020-155-3
10. Раков Д.Л. Универсальное программное обеспечение для моделирования аэрокосмических систем// Материалы 58-х Научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. - Калуга, 2023. - С. 346-349.

References

1. G.Pahl G and W.Beitz, Engineering Design - a Systematic Approach (Springer, London,1996).
2. D. Milčić, V. Miltenović. Application of artificial intelligence methods in gear transmitters conceptual design. // FACTA UNIVERSITATIS. Serbia, 2000 - Pp.721-734.
3. Polovinkin, A., 1991, Design theory of new engineering solutions: technology patterns and their applications. Edn. Informelectro, -104 p. (in Russian)
4. Mishin, V., Osin, M., Introduction to Aircrafts Design, Moscow: Edn. Mashinostroenie, 128 p. (in Russian)
5. Zwicky, F., 1966, Entdecken, Erfinden, Forschen im morphologischen Weltbild, Droemer/Knaur, München, Zürich, 206 p.
6. Zwicky F. Morphology of aerial propulsion // Helvetica Physica Acta. – 1948. – Vol. XXI. – Heft 5. – S. 299–340.
7. Pecheykina M.A., Rakov D.L., Sukhorukov R.Y., Structural synthesis and the search for new engineering solutions in the conceptual design phase // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. - 2020. - 49(8). - P. 712-719. DOI: 10.3103/S1052618820080087
8. Bardenhagen A., Pecheykina M., Rakov D. Advanced morphological approach for Knowledge-Based Engineering (KBE) in aerospace // Advances in Intelligent Systems and Computing. - 2020. - B. 902. - P. 495-505. DOI: 10.1007/978-3-030-12082-5_45

9. Mitryaeva O.E., Pecheikina M.A., Rakov D.L., Sukhorukov R.Yu. Synthesis of innovative technological processes for micro-arc oxidation // Bulletin of Scientific and Technical Development. - 2020. - № 7 (155). - C. 24-29. DOI: 10.18411/vntr2020-155-3. (in Russian)
10. Rakov D.L. Universal software for modeling of aerospace systems// Proceedings of the 58th Scientific Readings devoted to the development of scientific heritage and development of ideas of K.E. Tsiolkovsky. - Kaluga, 2023.- P. 346-349. (in Russian).

Дата поступления: 8 января 2024 г.