

Xây dựng thuật toán thiết kế nhóm UAV đa năng kết cấu tối ưu trên cơ sở phương pháp nén động lực học tổng quát

Nguyễn Thành Long*

Viện Tên lửa, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

*Email: nguyenquynhchi8122008@gmail.com

Nhận bài: 05/9/2023; Hoàn thiện: 06/11/2023; Chấp nhận đăng: 15/11/2023; Xuất bản: 10/12/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2023.165-171>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày vấn đề giải bài toán lựa chọn đặc tính thiết kế nhóm thiết bị bay không người lái (UAV) đa chức năng. Trên cơ sở phương pháp nén động lực học tổng quát (GDCM) xây dựng thuật toán của giải quyết vấn đề phân bố nhiệm vụ mục tiêu giữa các loại UAV khác nhau. Kết quả mô phỏng mô hình nhóm UAV đa năng tối ưu phục vụ phân tích, đánh giá, theo dõi, giám sát, dự báo tình hình an ninh, giải quyết các vấn đề về cứu hộ, cứu nạn, cũng như đánh giá hiệu quả thực hiện nhiệm vụ từng UAV riêng lẻ trong nhóm UAV. Cung cấp góc nhìn toàn cảnh cho người chỉ huy khi thực thi nhiệm vụ ở biển Đông, vùng biển thềm lục địa Việt Nam có tính đến các yếu tố tác động nhiễu bên trong và bên ngoài, các giả thiết chấp nhận được, các giới hạn chức năng, điều kiện ban đầu. Kết quả công trình có thể sử dụng để giải quyết vấn đề khoa học mới đặt ra khi thay đổi nhiệm vụ, yêu cầu kỹ-chiến thuật nhóm UAV cũng như số lượng, chủng loại UAV có trong biên chế.

Từ khóa: Thiết bị bay không người lái; Nhóm đa năng; Phương pháp nén động lực học; Thuật toán; Theo dõi; Giám sát an ninh biển Đông.

1. MỞ ĐẦU

Hiện nay, trên thế giới các thiết bị bay không người lái (UAV) được phát triển và sử dụng làm thiết bị mang các bộ thu thập dữ liệu (PSD) đặc biệt (hoặc các tải trọng có ích) ở một khu vực nhất định trên đại dương cung cấp thông tin để giải quyết các vấn đề về phân tích, đánh giá, quan trắc, dự báo tình hình an ninh, vận chuyển các tải trọng đặc biệt đến bất cứ đâu trong các vùng biển cụ thể. Các bộ thu thập dữ liệu đặc biệt này đồng thời được phân bố cả trên mặt nước và trên không, đảm bảo thông tin về tình hình an ninh tại các điểm khác nhau của vùng thăm dò và được đồng bộ hóa theo thời gian thực. Sự đồng bộ hóa nhằm đảm bảo xây dựng một mô hình chung và chính xác nhất về hướng di chuyển, mức độ đe dọa an ninh quốc phòng của các tàu thuyền trong khu vực cần theo dõi sát với thời gian thực [1, 2].

Mục đích bài viết là trên cơ sở sử dụng phương pháp nén động lực học tổng quát [3, 4] xây dựng thuật toán thiết kế cấu trúc tối ưu của nhóm UAV đa năng trong nghiên cứu phân tích, đánh giá, quan trắc, dự báo tình hình an ninh, đưa các tải trọng có ích đến vị trí cần thiết trên những vùng đại dương, các vùng biển thềm lục địa rộng lớn nước ta có tính đến các yếu tố tác động nhiễu bên trong và bên ngoài, các giả thiết chấp nhận được, các giới hạn chức năng, điều kiện ban đầu [5-7].

2. NỘI DUNG CẦN GIẢI QUYẾT

Đặt bài toán lựa chọn xây dựng đặc tính nhóm UAV đa năng

Hiện nay, trong biên chế của chúng ta có rất nhiều chủng loại UAV với các đặc điểm kết cấu (UAV cánh bằng, UAV kiểu cánh quay, khinh khí cầu, các dạng tên lửa,...) và tham số đa dạng (kích thước, khối lượng, vận tốc, cự ly, hệ thống điều khiển, dẫn đường, độ chính xác dẫn đường,...). Bài toán lựa chọn đặc điểm kết cấu và tham số của nhóm UAV đa năng được thiết lập trên cơ sở mô hình tính toán giá thành nhóm UAV đa năng sau:

$$C[W, \tilde{D}, \tilde{E}(\bar{\omega})] = \min_{\bar{a} \in DE(x)} \min C[W, D, E(\bar{\omega})] \quad (1)$$

Trong đó: $C[W, \tilde{D}, \tilde{E}(\vec{\omega})]$ - Giá thành của nhóm UAV đa năng; W là tập hợp nhiệm vụ mục tiêu được xác định bởi vector $\vec{\omega} = \{m_{PSD}, \varphi, \lambda, h\} \in W$; m_{PSD} - Khối lượng bộ thu thập dữ liệu (PSD) (hoặc các tải trọng có ích); φ - Vĩ độ; λ - Kinh độ, h - Độ cao của mục tiêu, $E(\vec{\omega})$ - Hàm phân bố nhiệm vụ, được xác định bởi các hàm phân bố cơ bản e_{ij} : $e_{ij} = 1$ nếu nhiệm vụ i được thực hiện bởi loại UAV j và $e_{ij} = 0$ trong trường hợp ngược lại.

$$E(\vec{\omega}) = \{e(1,1), e(1,2), \dots, e(i, j), \dots, e(n, m)\}; i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$$

Với n - Số lượng nhiệm vụ mục tiêu, m - Số lượng chủng loại UAV, D - Tập hợp các phương án xây dựng nhóm UAV (không gian Dirichlet).

Trong bài toán không chỉ lựa chọn phân bố tối ưu các nhiệm vụ mục tiêu theo loại UAV mà còn quyết định thiết kế tương ứng \vec{a} cho từng loại UAV riêng lẻ. Giải bài toán (1) với các tham số giới hạn trên các giải pháp thiết kế:

$$\begin{cases} P_{0\min} \leq P_0 \leq P_{0\max} \\ \mu_{DCP\min} \leq \mu_{DCP} \leq \mu_{DCP\max} \\ m_{C\min} \leq m_C \leq m_{C\max} \\ M_{0\min} \leq M_0 \leq M_{0\max} \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó, véc tơ tham số thiết kế xác định các đặc trưng động lực học chính của UAV bao gồm các thành phần sau: $\vec{a} = (P_0, \mu_{DCP}, m_C, M_0)$, với P_0 - Lực đẩy động cơ phóng (DCP), μ_{DCP} - Trọng lượng tương đối của động cơ phóng, m_C - Trọng lượng cánh, M_0 - Trọng lượng phóng của UAV. Hàm giới hạn tham số thiết kế có dạng:

$$g_1 = D_i \cap D_j = \emptyset; g_2 = \bigcup_{j=1}^m D_j = W \quad (3)$$

Trong đó, $D_j = \{\vec{a} \in W | E(\vec{a}) = j\}$, $j = \overline{1, m}$ - Không gian Dirichlet.

Giải pháp cho vấn đề hoạt động của nhóm UAV đa năng chính là giải pháp thiết kế khả thi để hoàn thiện UAV mang bộ thu thập dữ liệu đặc biệt (các tải trọng có ích), được xác định bởi giới hạn về tham số và chức năng sau [6]:

$$D = \left\{ a \in A, u \in U, a_{\min i} \leq a_i \leq a_{\max i}, i = \overline{1, n}, u_{\min j} \leq u_j \leq u_{\max j}, j = \overline{1, m}, \right. \\ \left. g_r(d) \geq 0, r = \overline{1, g}. \right\} \quad (4)$$

Trong đó, A, U là giới hạn cho phép của tham số và tính điều khiển.

$a_{\min i} \leq a_i \leq a_{\max i}, i = \overline{1, n}, u_{\min j} \leq u_j \leq u_{\max j}, j = \overline{1, m}$, lần lượt là giới hạn các tham số thiết kế và các chức năng điều khiển chuyển động của UAV; $g_r(d) \geq 0, r = \overline{1, g}$. - Các hàm giới hạn; $\vec{d} = [\vec{a}, \vec{u}(t)]$ - Vector giải pháp thiết kế UAV; $\vec{\omega}$ - Vector đặc trưng cho nhiệm vụ mục tiêu của nhóm UAV đa năng.

Giới hạn chức năng đầu tiên g_1 trong bài toán (1) là tập hợp nhiệm vụ mục tiêu thực hiện bởi UAV loại i không thuộc tập hợp các nhiệm vụ mục tiêu thực hiện bởi UAV loại j .

Giới hạn chức năng thứ hai g_2 trong bài toán (1) là cấu trúc của nhóm UAV phải được xây dựng đặc biệt. Cụ thể cho phép thay đổi tập hợp các nhiệm vụ mục tiêu nhất định cho nhau theo thời gian sát thời gian thực. Đồng thời, tối ưu giá thành của nhóm UAV thu thập thông tin viễn thám cần thiết với tần suất yêu cầu và đầy đủ.

Bài toán (1) thuộc loại bài toán đa tiêu chí, đa tham số xác định các chỉ tiêu, đặc trưng kết cấu hệ thống kỹ thuật phức hợp và tối ưu hóa cấu trúc, tham số của chúng. Bài toán được giải bằng phương pháp nén động lực học tổng quát [4-6].

3. MÔ PHỎNG, TÍNH TOÁN, THẢO LUẬN

3.1. Thuật toán phương pháp nén động lực học tổng quát

Phương pháp nén động lực học tổng quát sử dụng kết hợp phương pháp tối ưu trong không gian hàm ngược và phương pháp nén động lực học. Trên cơ sở phương pháp nén động lực học thiết lập một số chức năng nhất định cho phép đưa ra miền giới hạn của các tham số thiết kế của UAV, từ đó xác định phương án cuối phân bố nhiệm vụ mục tiêu giữa các loại UAV khác nhau.

Tương quan giữa tập con $A' \subset A$ và đối tượng y được định nghĩa như sau [4]:

$$D(A', y) = \sum_{a \in A'} \mu(a) d^{-1}(a, y) = \sum_{a \in A'} \mu(a) \rho^2(a, y) \quad (5)$$

Trong đó: A - Tập hợp các mô-đun cùng loại UAV; $\mu(a)$ - Hệ số “trọng số” riêng bài toán (1) là số lượng mô-đun cần thiết để sắp xếp tất cả các loại UAV trong nhóm đa năng.

Hàm biểu diễn (lựa chọn) tham số UAV cho tập nhiệm vụ mục tiêu $g(P) = L$ đại diện l_k cho mỗi nhóm P_k theo điều kiện:

$$l_k = g(P_k) = \left[a_j \in A \left| \max_j d(a_j, y) \right. \right] \quad (6)$$

Với $y \in R^P$ - Trọng tâm của nhóm P_k có dạng:
$$y = \frac{\sum_{a_j \in P_k} \mu(a_j) \rho(0, a_j)}{\sum_{a_j \in P_j} \mu(a_j)}$$

Do đó, với tư cách là đại diện của cụm lựa chọn đối tượng y nằm gần nhất với trọng tâm của cụm P_k . Quy tắc chọn đối tượng y làm đại diện mới $k+1$ cho nhóm P_{k+1} có dạng:

$$l_{k+1} = \left[a_j \in A \left| \min_k \min_{a_j \in P_k} d(a_j, l_k) \right. \right] \quad (7)$$

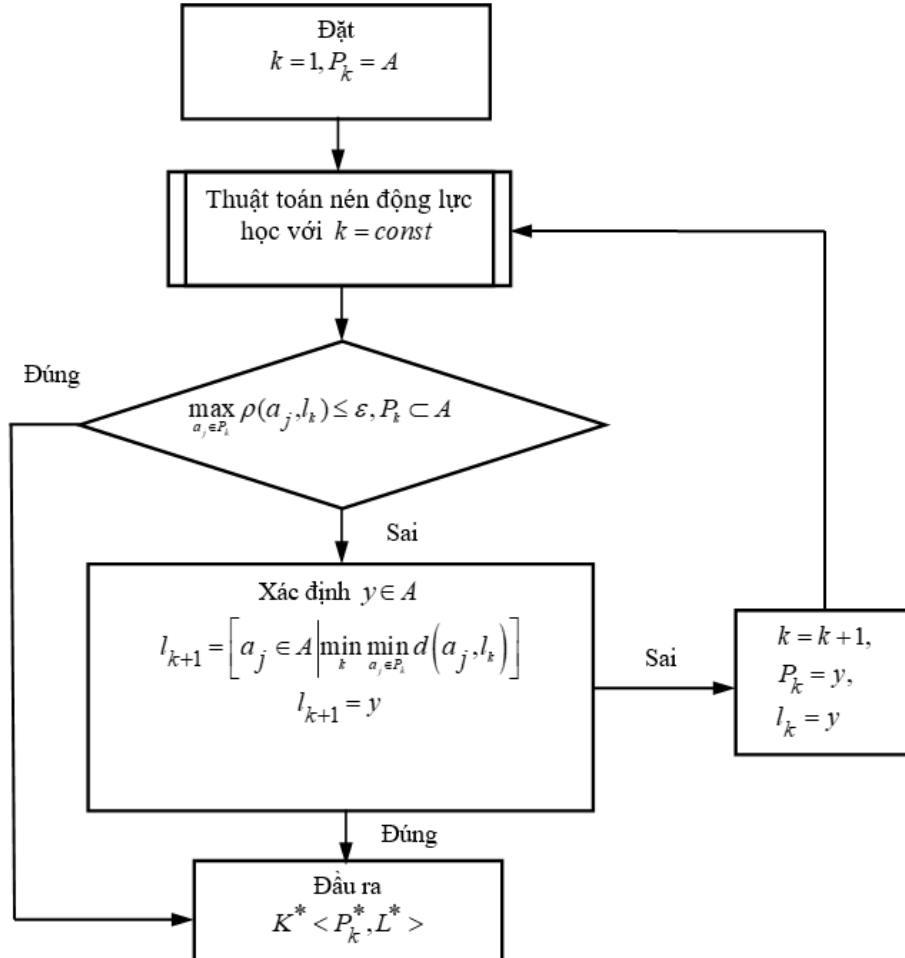
có nghĩa là tiêu chí đại diện P_{k+1} lựa chọn đối tượng y tương ứng với cực tiểu giới hạn của nhóm, hay đối tượng ở xa nhất trong ma trận $\rho(a, y)$.

Thuật toán phương pháp nén động lực học tổng quát thể hiện trong hình 1 [5, 6].

Để xác định thời điểm kết thúc quá trình lặp, sử dụng điều kiện:

$$\max_{a_j \in P_k} \rho(a_j, l_k) \leq \varepsilon, P_k \subset A \quad (8)$$

với ε là độ chính xác hàm mục tiêu đã cho.



Hình 1. Thuật toán phương pháp nén động lực học tổng quát.

3.2. Giải bài toán lựa chọn đặc tính thiết kế nhóm UAV đa năng

Với tải trọng mang có ích sử dụng UAV, lập mẫu thống kê giải pháp dạng sau [7]:

\vec{a}	$C_{\sum i}$	N
-----------	--------------	-----

Trong đó: N - Tổng số mẫu thống kê giải pháp, \vec{a} - Véc tơ tham số thiết kế UAV, $C_{\sum i}$ - Giá thành của phương án khả thi thứ i xây dựng nhóm UAV đa năng.

Từ mẫu thống kê thu được, đối với tải trọng mang có ích của UAV xây dựng mối quan hệ $C_i = C_i(\vec{a}), i = \overline{1,8}$ và giải bài toán tối ưu hóa $C_i = \min_{\vec{a} \in D} C_i(\vec{a}), i = \overline{1,8}$ bằng phương pháp nén

động lực học tổng quát. Từ đó, xác định được véc tơ tối ưu của các thông số thiết kế $\vec{a}_{opt}, i = \overline{1,8}$ giúp giảm giá thành kết cấu của nhóm UAV đa năng.

Mô hình nhóm UAV đa năng tối ưu được xây dựng từ điều kiện đưa 8 khối tải trọng có ích tới các vị trí (mục tiêu) khác nhau trên Biển Đông. Gốc tọa độ là điểm xuất phát của các UAV

gần thành phố Phan Rang - Tháp Chàm, tỉnh Ninh Thuận. Các khối tải trọng có ích để thu thập dữ liệu viễn thám nhằm theo dõi khu vực biển, đưa các tải trọng có ích cần thiết đến các điểm có tọa độ như bảng 1 và hình 2.

Bảng 1. Tọa độ mục tiêu trên biển Đông với góc tọa độ chọn trước.

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1. A (350 000; 50 000) | 5. E (250 000; 40 000) |
| 2. B (300 000; 80 000) | 6. F (310 000; 10 000) |
| 3. C (35 000; 20 000) | 7. G (360 000; 90 000) |
| 4. D (280 000; 70 000) | 8. H (250 000; 10 000) |

3.3. Kết quả mô phỏng phân bố tối ưu chức năng của nhóm UAV

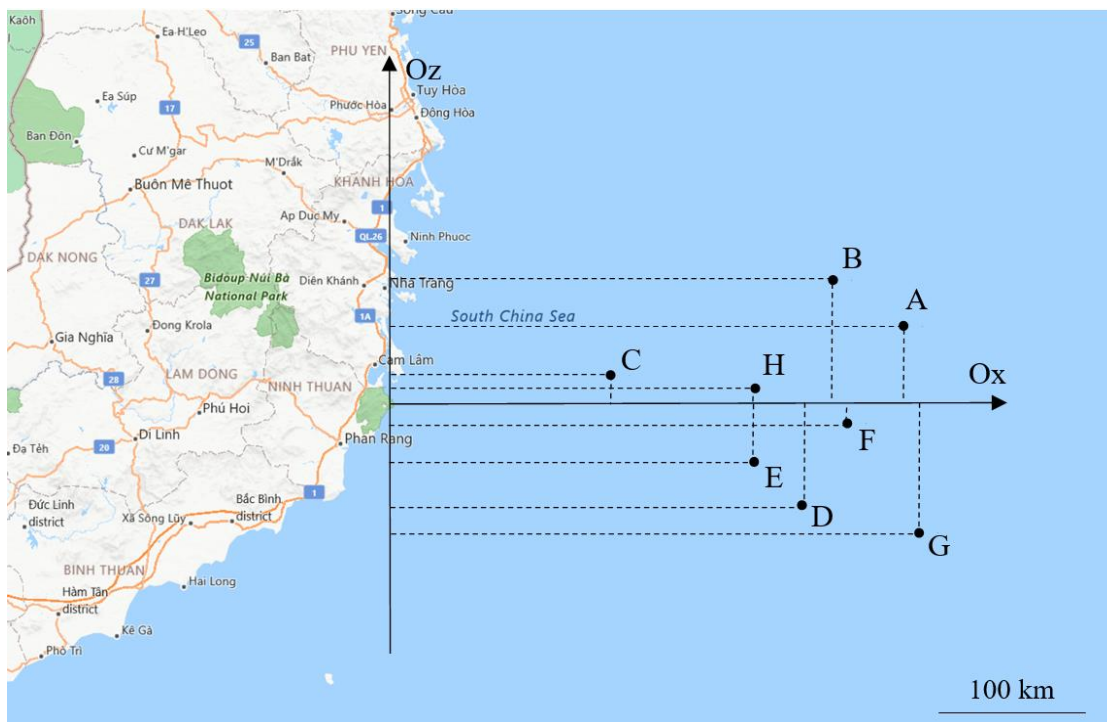
Tính toán số lần phóng n_1, n_2, \dots, n_8 được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Tính toán số lần phóng UAV.

P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8
0,6	0,7	0,65	0,5	0,8	0,75	0,8	0,8
n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8
4	3	3	5	2	3	2	2

Sử dụng nhóm UAV đa năng có cấu trúc tối ưu bao gồm 3 loại:

- Loại UAV 1: vận chuyển bộ thiết bị thu thập dữ liệu có khối lượng $m_{TB} = 150 \div 250 \text{ kg}$;
- Loại UAV 2: vận chuyển bộ thiết bị thu thập dữ liệu có khối lượng $m_{TB} = 200 \div 350 \text{ kg}$;
- Loại UAV 3: vận chuyển bộ thiết bị thu thập dữ liệu có khối lượng $m_{TB} = 350 \div 500 \text{ kg}$.



Hình 2. Điểm đặt các bộ thiết bị thu thập dữ liệu viễn thám.

Kết quả phân bố tối ưu chức năng của nhóm UAV thu được như bảng 3:

Bảng 3. Kết quả phân bố tối ưu chức năng của nhóm UAV.

Tham số	Phân bố nhiệm vụ mục tiêu theo loại UAV
X(1) = 1,367	e(1,1) = 1- nhiệm vụ mục tiêu 1 do UAV loại 1 thực hiện
X(2) = 2,892	e(2,2) = 1- nhiệm vụ mục tiêu 2 do UAV loại 2 thực hiện
X(3) = 1,245	e(3,1) = 1- nhiệm vụ mục tiêu 3 do UAV loại 1 thực hiện
X(4) = 2,080	e(4,2) = 1- nhiệm vụ mục tiêu 4 do UAV loại 2 thực hiện
X(5) = 2,591	e(5,2) = 1- nhiệm vụ mục tiêu 5 do UAV loại 2 thực hiện
X(6) = 3,969	e(6,3) = 1- nhiệm vụ mục tiêu 6 do UAV loại 3 thực hiện
X(7) = 3,003	e(7,3) = 1- nhiệm vụ mục tiêu 7 do UAV loại 1 thực hiện
X(8) = 3,479	e(8,3) = 1- nhiệm vụ mục tiêu 8 do UAV loại 3 thực hiện

Giá thành cấu trúc của nhóm UAV tối ưu đa chức năng là: $C_{\Sigma}^{opt} = 0,86 \times 10^6$ đvt, thấp hơn 4-5% so với sử dụng nhóm các UAV chuyên dụng cùng loại nhằm thu thập dữ liệu viễn thám.

4. KẾT LUẬN

- Bài báo đề xuất biểu diễn các thông số thiết kế của UAV dưới dạng hàm nghịch đảo, chính xác hơn là ở dạng xấp xỉ của chúng, giúp giải bài toán đa cực một cách hiệu quả. Thuật toán lập có sự hội tụ khá nhanh, tính toán và dự đoán kết quả của dữ liệu mới đơn giản, không cần đưa ra mô hình về phân phối của các lớp. Nhược điểm chính là không xem xét đầy đủ các mối tương quan của không gian thuộc tính và sự cần thiết phải chỉ định một số lượng hữu hạn các lớp.

- Đã xây dựng thuật toán lựa chọn đặc trưng cấu trúc của nhóm UAV đa năng. Thuật toán cho phép tìm phân vùng tối ưu tập hợp các tham số của UAV và tập hợp các nhiệm vụ cần giải quyết thành các nhóm phù hợp với độ chính xác tính toán hàm mục tiêu cho trước. Việc vận dụng thuật toán trong phương pháp nén động lực học cho phép giải bài toán tối ưu tổng quát hóa và lựa chọn cấu trúc của nhóm UAV đa năng để phân bố các nhiệm vụ mục tiêu theo dạng UAV khi cho trước các giới hạn đối với các tham số thiết kế của chúng.

- Sử dụng kết quả để giải quyết vấn đề khoa học mới đặt ra khi các yêu cầu chiến, kỹ thuật các nhóm UAV thay đổi không chỉ đáp ứng vấn đề viễn thám, đưa tải trọng có ích đến vị trí đã định mà còn đánh giá hiệu quả thực hiện nhiệm vụ của các UAV riêng lẻ trong nhóm UAV có tính đến các yếu tố tác động bên trong và bên ngoài, các giả thiết cho phép, các giới hạn chức năng, điều kiện ban đầu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Гарбук С.В., "Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли" - М.:Изд-во А и Б, (1997).
- [2]. Хаин А.П., Сутырин Г.Г. "Тропические циклоны и их взаимодействие с океаном" - Л.:Гидрометеиздат, (1983).
- [3]. Хаин А.П. "Математическое моделирование тропических циклонов" -Л.: Гидрометеиздат, (1984).
- [4]. Балык В.М., Маленков А.А. "Метод динамических сгущений в задаче построения системы летательных аппаратов оптимального типажа" - 14-я Международная конференция "Авиация и космонавтика-2015", Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет) Москва, Россия, (2015).
- [5]. T.L. Nguyễn, Đ.T. Nguyễn. "Phân chia tối ưu nhóm UAVs đa chức năng theo các chỉ số an toàn bằng phương pháp tổng hợp cấu trúc tham số", Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, Số Đặc san Cơ học và Điều khiển thiết bị bay, tr. 12-19, (2021).
- [6]. K.T. Нгуен, T.L. Нгуен. "Модификация метода динамических сгущений в задачах построения системы летательных аппаратов оптимального типажа". Успехи современной радиоэлектроники, №6, с. 81-85, (2016).

- [7]. Балык В.М. "Статистический синтез проектных решений при разработке сложных систем". - М.: Изд-во МАИ, (2011).

ABSTRACT

Building the optimal structural multi-purpose UAV group design algorithm on the basis of the dynamic compression method

The article presents the problem of solving the problem of selecting the design characteristics of a multi-purpose unmanned aerial vehicle (UAV) group. On the basis of the general dynamics compression method (GMDS), the algorithm is developed to solve the problem of target assignment distribution among different types of UAVs. Simulation results of the optimal multi-purpose UAV system model for analysis, assessment, monitoring, monitoring, forecasting security situations, solving problems of rescue and rescue, as well as evaluation effectively perform the task of each individual UAV in the UAV system. Provide a panoramic view for the commander when performing tasks in the East Sea, the waters of the continental shelf of Vietnam, taking into account internal and external disturbances, acceptable assumptions, functional limitations, initial conditions. The results of the work can be used to solve new scientific problems posed when changing missions, tactical and technical requirements of the UAV system, as well as the number and types of UAVs on the payroll.

Keywords: Unmanned aerial vehicle; Multi-purpose group; General dynamics compression method; Algorithm; Monitoring; Surveillance security in East Sea.