

SOLUTIONS FOR IMPROVING THE RELIABILITY OF WORKING PROCESS OF OPTICAL DEVICES ON UAV OPTICAL RADAR APPLICATIONS

Vu Duc Hoan^{1*}, Trinh Manh Hung¹, Dang Cong Vu²

¹Air Force Officer University, ²Air Defence - Air Force Academy

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 29/11/2023 Revised: 23/02/2024 Published: 23/02/2024	Currently, unmanned aerial vehicles (UAVs) have many types with different configurations, sizes, technical features and perform tasks not only for commercial purposes but are also widely used in the military. For example, depending on the mission being performed, they may include drones for terrain reconnaissance, surveillance, intelligence and suicide.v.v. Based on theory and practice in the country and around the world, is being applied on two sensors for observation, the authors have researched and developed a number of additional sensors to increase the reliability and accuracy of the device, based on optoelectronic theory when measuring angular coordinates or distance to the target during the mission. This article presents a solution model to evaluate stability and reliability when solving reconnaissance and measurement problems with optical devices. In actual applications in different environments, the optical part always has the advantage of accuracy and stability in the task of detecting targets, measuring angular coordinates and distance to the target. The results of this research provide a device capable of effectively overcoming the process of observing and detecting air and ground targets with high accuracy without the need for constant adjustment of angles. In addition to the range and angular coordinates of the target as well as radius, the device's movement speed is an issue that needs to be taken into account during actual research and surveys.
KEYWORDS	
UAV	
Optical equipment	
Reconnaissance	
Optics	
Target	

GIẢI PHÁP NÂNG CAO ĐỘ TIN CẬY CHO QUÁ TRÌNH LÀM VIỆC CỦA THIẾT BỊ QUANG TRÊN MÁY BAY KHÔNG NGƯỜI LÁI (UAV) ỨNG DỤNG RAĐA QUANG

Vũ Đức Hoàn^{1*}, Trịnh Mạnh Hùng¹, Đặng Công Vũ²

¹Trường Đại học Không quân, ²Học viện Phòng không - Không quân

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 29/11/2023 Ngày hoàn thiện: 23/02/2024 Ngày đăng: 23/02/2024	Hiện nay máy bay không người lái (UAV) có rất nhiều chủng loại với cấu hình, kích thước, tính năng chiến kỹ thuật khác nhau và thực hiện nhiệm vụ không chỉ với mục đích thương mại mà còn được ứng dụng rộng rãi trong quân sự. Ví dụ, theo nhiệm vụ thực hiện có thể gồm máy bay không người lái trinh sát địa hình, giám sát, tình báo và cảm tử.v.v. Dựa trên lý thuyết và thực tế trong nước và thế giới đang ứng dụng trên hai cảm biến cho việc quan sát; nhóm tác giả đã nghiên cứu và phát triển thêm một số cảm biến để tăng độ tin cậy cũng như tính chính xác cho thiết bị, dựa trên lý thuyết quang điện tử khi đo tọa độ góc hoặc phạm vi tới mục tiêu trong quá trình làm nhiệm vụ. Bài báo đưa ra mô hình giải pháp đánh giá tính ổn định và độ tin cậy khi giải quyết bài toán trinh sát và đo đặc bằng thiết bị quang. Thực tế ứng dụng trong từng môi trường khác nhau thì phần quang học luôn có ưu điểm là tính chính xác và ổn định trong nhiệm vụ phát hiện mục tiêu, đo tọa độ góc và khoảng cách đến mục tiêu đã được giải quyết. Kết quả nghiên cứu này cung cấp một thiết bị có khả năng khắc phục hiệu quả quá trình quan sát và phát hiện các mục tiêu trên không và mặt đất với độ chính xác cao mà không cần điều chỉnh liên tục các góc. Ngoài phạm vi và tọa độ góc của mục tiêu cũng như bán kính, thì vận tốc chuyển động của thiết bị là một vấn đề cần tính tới trong quá trình nghiên cứu và khảo sát thực tế.
TỪ KHÓA	
UAV	
Thiết bị quang	
Trinh sát	
Quang học	
Mục tiêu	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.9314>

* Corresponding author. Email: duchoankshk@gmail.com

1. Giới thiệu

Vào thời điểm hiện nay trên thế giới đã có nhiều nước sản xuất và ứng dụng công nghệ quang học trong thương mại và quân sự, tuy nhiên nó đang nằm ở lĩnh vực lớn hơn như trinh sát ban đêm, máy bay chiến đấu, máy bay sử dụng radar quang, UAV trinh sát và cảm tử... Việc nghiên cứu và ứng dụng cho các thiết bị bay tầm trung và nhỏ vẫn đang là vấn đề cấp thiết cần tiếp tục giải quyết, đặc biệt là thiết bị bay không người lái cỡ nhỏ trong quá trình khai thác và sử dụng. Do đó vẫn cần xử lý sơ cấp để đảm bảo tính ổn định và tin cậy mà vẫn duy trì tính năng của thiết bị quang xung kết hợp của loại xung Doppler, một số tiến bộ nhất định đã được thực hiện trong việc phát triển các hệ thống tính toán trên bo mạch, giúp cung cấp khả năng xử lý quang phổ của các tín hiệu nhận được trong dữ liệu thiết bị quang dựa trên các thuật toán nhanh của phép biến đổi Fourier rời rạc [1] - [4]. Với nhiều lý do và mục đích khác nhau nên các công trình công bố mang tính khái quát và chung nhất, để phù hợp với điều kiện sử dụng tại Việt Nam thì cần có những giải pháp cũng như nghiên cứu phù hợp với môi trường cụ thể.

Cùng với sự phát triển của công nghệ điện tử, các thiết bị mới vẫn tiếp tục được phát triển ngày càng mạnh mẽ trên mọi lĩnh vực đặc biệt là UAV, trong đó có chức năng giải quyết các nhiệm vụ quan sát mục tiêu mặt đất, trên không và lập bản đồ bề mặt Trái đất. Trên thị trường thiết bị được cung cấp thương mại và có tính ổn định không cao, dường như các cảm biến khi cơ động bị che mờ, góc mở quan sát nhỏ bởi chỉ sử dụng một hoặc hai cảm biến thường. Khi ứng dụng cho các loại UAV cỡ vừa và lớn hơn, cự ly hoạt động rộng, tốc độ cao tương đương với độ sai lệch khi di chuyển và làm nhiệm vụ phải liên tục điều chỉnh góc quan sát của Camera [5]-[10].

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả trình bày giải pháp nâng cao độ tin cậy của thiết bị quang bằng cách thêm một số cảm biến và lắp đối xứng nhau, thông qua thiết kế mạch điện và mô phỏng trên phần mềm. Tuy nhiên để giải quyết các bài toán cố định khi UAV cơ động là một vấn đề hết sức phức tạp khi di chuyển với vận tốc nhanh và thời gian lâu. Vì vậy nhóm tác giả dựa trên cơ sở lý thuyết nghiên cứu về thiết bị quang và thực tế khai thác UAV hiện tại từ cỡ nhỏ đến lớn đưa ra một giải pháp đánh giá độ tin cậy của thiết bị quang được triển khai trên UAV như nhằm mục đích tạo ra môi trường nghiên cứu cũng như thực nghiệm không chỉ cho giảng viên mà còn cho quá trình khai thác thực tế.

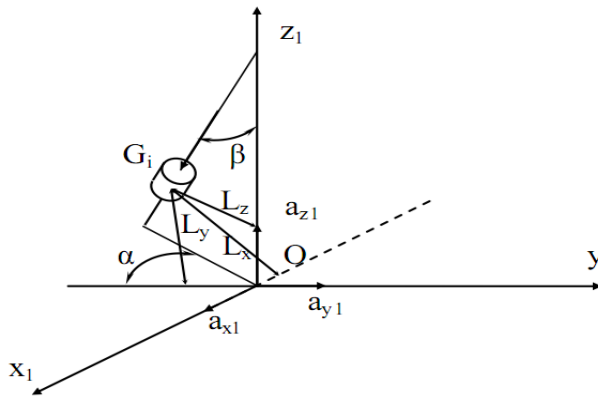
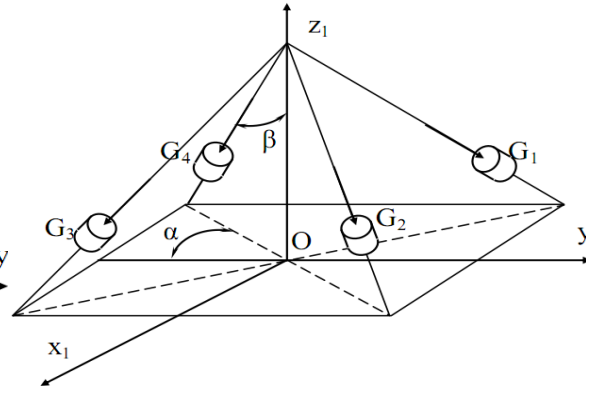
2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

Quá trình nghiên cứu được tiến hành theo phương pháp nghiên cứu lý thuyết gắn với mô phỏng thử nghiệm: Xây dựng mô hình đánh giá các tham số theo lý thuyết thiết bị quang; Ứng dụng lý thuyết thiết bị quang và ứng dụng thực tế đang khai thác để phân tích sự ổn định của bài toán đặt ra.

Nghiên cứu thực nghiệm: Kiểm chứng kết quả bài toán và hiệu quả mô hình hệ thống với thiết bị cơ động thông qua mô phỏng trên máy tính.

Để nâng cao chất lượng, độ ổn định và độ tin cậy, khối cảm biến được thiết kế sử dụng số lượng dư các cảm biến với cấu trúc sắp đặt không trực giao trong hệ tọa độ liên kết [1], [2] được minh họa trong hình 1.

Để đảm bảo tính đối xứng, các cảm biến được sắp đặt trên các cạnh của một hình chóp tứ giác có các cạnh bên bằng nhau. Trên các cạnh của hình chóp 4 cảm biến nằm đối xứng nhau qua các mặt phẳng của hệ tọa độ liên kết và có véc tơ trục nhạy cảm hướng theo chiều âm. Với cách sắp xếp như vậy sẽ đảm bảo cho tính đối xứng của bốn cảm biến do đó vai trò của các cảm biến là như nhau trong mọi điều kiện của bài toán và khi đó mỗi cảm biến có thể biểu diễn giá trị đo được thông qua các hình chiếu lên cả ba trục của hệ tọa độ liên kết $Ox_1y_1z_1$ [1] - [4].

**Hình 1a.** Các tham số về sắp đặt của 1 cảm biến**Hình 1b.** Cấu trúc sắp đặt của 4 cảm biến dạng chóp tứ giác đều

Trong tài liệu [1] đã chỉ ra được góc sắp đặt cảm biến như sau:

$$\alpha = 45^0; \quad \beta = 54,735^0 \approx 55^0 \quad (1)$$

Với sơ đồ bố trí cảm biến như hình 1, góc sắp đặt cảm biến theo biểu thức (1), biểu thức liên hệ giữa giá trị tín hiệu từ 4 cảm biến và tham số gia tốc theo hệ trục tọa độ liên kết cần tính toán như sau:

$$\begin{cases} a_1 = -0.5792a_{x1} + 0.5792a_{y1} - 0.5736a_{z1} \\ a_2 = 0.5792a_{x1} + 0.5792a_{y1} - 0.5736a_{z1} \\ a_3 = 0.5792a_{x1} - 0.5792a_{y1} - 0.5736a_{z1} \\ a_4 = -0.5792a_{x1} - 0.5792a_{y1} - 0.5736a_{z1} \end{cases} \quad (2)$$

Trong quá trình làm việc khi tất cả 4 cảm biến đều tốt thì hệ thống sẽ sử dụng tín hiệu của cả 4 cảm biến này để tính toán theo biểu thức sau:

$$\begin{cases} a_{x1} = -0,4316a_1 + 0,4316a_2 + 0,4316a_3 - 0,4316a_4 \\ a_{y1} = 0,4316a_1 + 0,4316a_2 - 0,4316a_3 - 0,4316a_4 \\ a_{z1} = -0,4359a_1 - 0,4359a_2 - 0,4359a_3 - 0,4359a_4 \end{cases} \quad (3)$$

Trong trường hợp xảy ra hỏng hóc ở 1 cảm biến nào đó (ví dụ G_1) thì hệ thống tự động phát hiện và ngắt tín hiệu từ cảm biến đó đồng thời sử dụng tín hiệu từ 3 cảm biến còn lại để tính toán và đưa ra các tín hiệu gia tốc theo các trục của hệ tọa độ liên kết theo biểu thức:

$$\begin{cases} a_{x1} = 0,8632a_3 - 0,8632a_4 \\ a_{y1} = 0,8632a_2 - 0,8632a_3 \\ a_{z1} = -0,8717a_2 - 0,8717a_4 \end{cases} \quad (4)$$

Trường hợp hỏng các cảm biến G_2, G_3, G_4 cũng tính toán được biểu thức tương tự.

3. Kết quả mô phỏng đánh giá

3.1. Mô hình đánh giá mềm

Một vấn đề quan trọng khi xây dựng khối cảm biến phi trực giao sử dụng số lượng dư các cảm biến của thiết bị quang là phải phát hiện được hỏng hóc xảy ra ở cảm biến nào và loại trừ tín hiệu cấp đến từ cảm biến đó.

Thuật toán phát hiện có hỏng hóc trong khối cảm biến như sau:

$$z_0 = S\{|\Delta U(t)| \leq \delta_0\} = \begin{cases} 1 - \text{True} \\ 0 - \text{Fail} \end{cases} \quad (5)$$

$$\Delta U(t) = \tilde{U}_1(t) - \tilde{U}_2(t) + \tilde{U}_3(t) - \tilde{U}_4(t)$$

δ_0 - ngưỡng sai số cho phép.

Khi $z_1 = 1$ khối cảm biến tốt; $z_0 = 0$ khối cảm biến có hỏng hóc.

Thuật toán phát hiện vị trí hỏng hóc bằng cách so sánh hiệu các tín hiệu điện áp đo được và tín hiệu điện áp ước lượng của cảm biến tại thời điểm thứ (k) và thứ (k+1). Các bước tiến hành kiểm tra phát hiện hỏng hóc cụ thể như sau:

$$z_1 = S\left\{\left|\tilde{U}_1(k) - \hat{U}_1(k+1)\right| - \left|\tilde{U}_1(k) - \tilde{U}_1(k+1)\right| \leq \delta_{01}\right\} = \begin{cases} 1 - \text{Fail} \{G_1\} \\ 0 - \text{Fail}\{G_2, G_3, G_4\} \end{cases} \quad (6)$$

$$z_2 = S\left\{\left|\tilde{U}_2(k) - \hat{U}_2(k+1)\right| - \left|\tilde{U}_2(k) - \tilde{U}_2(k+1)\right| \leq \delta_{02}\right\} = \begin{cases} 1 - \text{Fail} \{G_2\} \\ 0 - \text{Fail}\{G_3, G_4\} \end{cases} \quad (7)$$

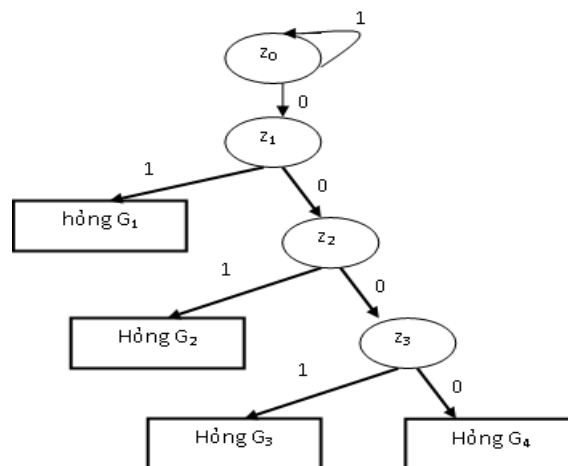
$$z_3 = S\left\{\left|\tilde{U}_3(k) - \hat{U}_3(k+1)\right| - \left|\tilde{U}_3(k) - \tilde{U}_3(k+1)\right| \leq \delta_{03}\right\} = \begin{cases} 1 - \text{Fail} \{G_3\} \\ 0 - \text{Fail}\{G_4\} \end{cases} \quad (8)$$

Điểm đặc biệt ở đây là không cần biết về tốc độ, gia tốc, chỉ cần tín hiệu điện áp ra là có thể kiểm tra phát hiện được hỏng hóc. Từ đó xây dựng được bảng logic phát hiện vị trí hỏng cảm biến được minh họa trên bảng 1.

Bảng 1. Bảng logic phát hiện vị trí hỏng cảm biến

Tín hiệu S Hỏng	Khối cảm biến z_1	Khối cảm biến z_2	Khối cảm biến z_3
G_1	1	0	0
G_2	0	1	0
G_3	0	0	1
G_4	0	0	0

Xây dựng được sơ đồ logic thuật toán phát hiện vị trí hỏng cảm biến như trong hình 2.



Hình 2. Sơ đồ logic thuật toán phát hiện vị trí hỏng cảm biến

Thuật toán chuẩn đoán vị trí cảm biến hỏng theo sơ đồ logic trên cho phép tìm ra quy luật xác định cảm biến hỏng hóc.

Như vậy việc xác định vị trí cảm biến hồng ngoại cho phép loại trừ được tín hiệu sai lệch của cảm biến hồng ngoại đó, việc tính toán các tham số về thiết bị quang học được thực hiện trên ba cảm biến còn lại.

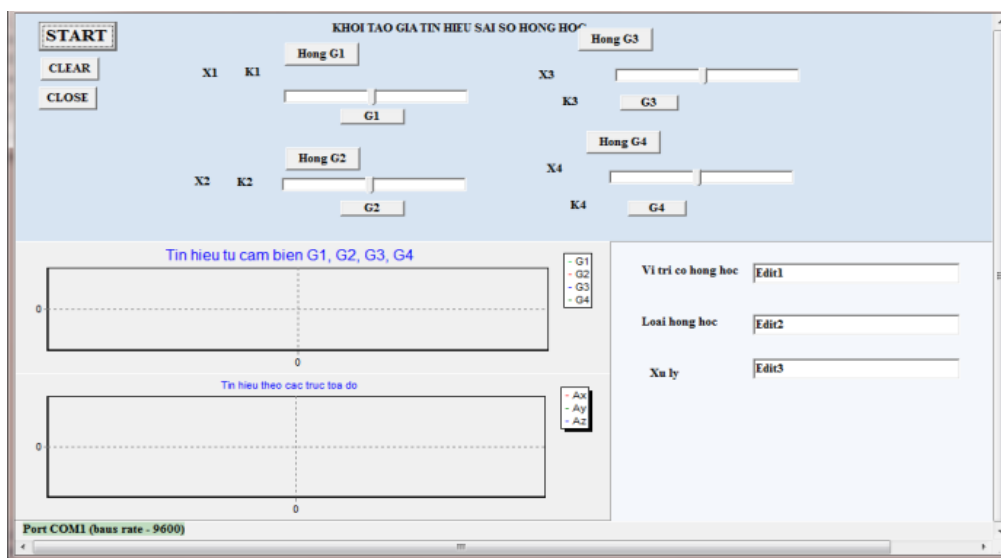
3.2. Mô hình đánh giá cứng và mô phỏng

Mô hình phần cứng của khối cảm biến quang được thiết kế như hình 3a.



Hình 3. Mô hình thí nghiệm

Giao diện phần mềm thí nghiệm minh họa trong hình 4.



Hình 4. Hình ảnh giao diện phần mềm thí nghiệm

Kết quả thí nghiệm: Khi cả 4 cảm biến đều tốt được minh họa trong hình 5.



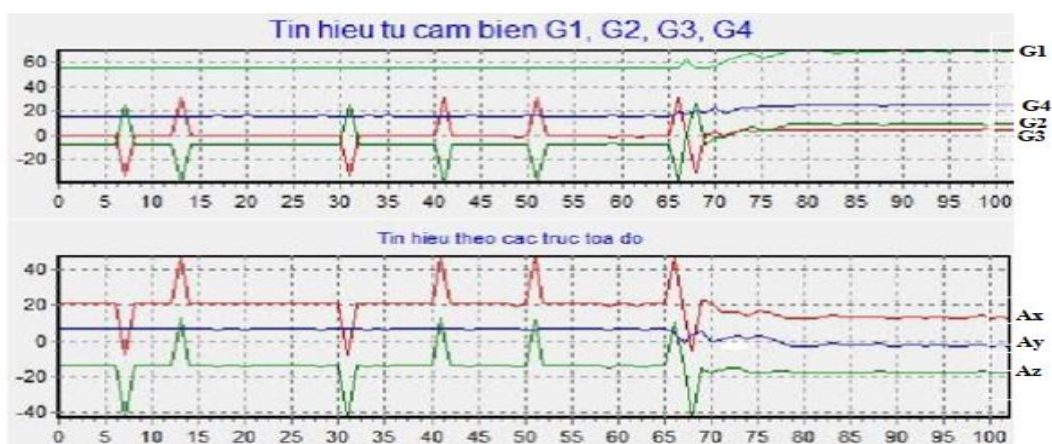
Hình 5. Thí nghiệm 4 cảm biến đều tốt

- Tạo giả hỏng cảm biến G_1 : + G_1 mất tín hiệu được thể hiện trên hình 6.



Hình 6. Thí nghiệm cảm biến G_1 hỏng do mất tín hiệu

+ G_1 trôi dương được thể hiện trong hình 7.



Hình 7. Thí nghiệm cảm biến G_1 hỏng do trôi dương

+ G_1 trôi âm được thể hiện trong hình 8.



Hình 8. Thí nghiệm cảm biến G_1 hỏng do trôi âm

Theo kết quả của phần mềm thí nghiệm kiểm tra trên, trong các trường hợp hỏng cảm biến G_1 , thuật toán đã tiến hành loại trừ tín hiệu từ cảm biến này, đồng thời khối cảm biến vẫn đưa ra tín hiệu thông tin chính xác trên 3 trục của hệ tọa độ liên kết dựa theo biểu thức (4).

- Như vậy đối với các thí nghiệm tạo giả hỏng cảm biến còn lại: G_2 , G_3 , G_4 , cho các kết quả tương tự.

4. Kết luận

Kết quả thí nghiệm kiểm chứng việc tính toán lý thuyết trong trường hợp không tính đến khả năng ảnh hưởng của thời tiết của thiết bị bay. Vậy nếu khối cảm biến của thiết bị quang sử dụng bốn cảm biến giống nhau và sắp xếp chúng theo cấu trúc hình chóp tứ giác đều đảm bảo hệ thống vẫn làm việc tốt khi xảy ra hỏng hóc ở một cảm biến nào đó. Giải pháp này đã làm tăng độ tin cậy, độ ổn định của khối cảm biến vì vậy giúp nâng cao chất lượng của quá trình trinh sát, chụp ảnh và đo đạc tới mục tiêu.

Bài báo mô tả lại quá trình nghiên cứu và kết quả mô phỏng dựa trên phần lý thuyết, lấy ý tưởng của các tác giả nghiên cứu về cơ học ứng dụng quang điện tử và quang học. Nhóm tác giả đã nghiên cứu và chế tạo phần vi mạch đang ứng dụng thử nghiệm trên UAV, dựa trên lý thuyết về quang điện tử và chụp ảnh, tuy nhiên chuyển từ cơ quang sang điện quang là một vấn đề phức tạp. Nhóm tác giả đang cố gắng hoàn thiện để kết quả tốt hơn và ứng dụng rộng rãi hơn.

Về độ tin cậy nhóm tác giả khẳng định sẽ hơn so với sản phẩm trên thị trường dùng hai cảm biến thông thường có điều chỉnh góc khi bay, còn nếu bốn cảm biến thì góc quan sát không cần điều chỉnh vì khi lắp có thể điều chỉnh hạ thấp xuống bụng UAV hoặc ngang bằng ẩn vào thân UAV thì phần quan sát bốn mặt vẫn đạt hiệu quả trên mọi góc nhìn mà không cần mất thời gian điều chỉnh góc quay của cảm biến. Trong đó phần liên kết [1] là giáo trình chính tác giả đã viết đang được sử dụng để đào tạo thạc sĩ kỹ thuật điều khiển và tự động tại Học viện Phòng không – Không quân.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] D. H. Vu, *Curriculum Electronic radio reconnaissance system using aircraft radar*, Air Force air defense academy, (In Vietnamese), chapter 3, pp. 1-28, Hanoi 2022.
- [2] P. I. Dunhic, G. S. Kondratenkov, and B. G. Tatarski, *Aviation radar complexes and systems*, textbook, (In Russian), Moscow, 2006, pp. 3-36.
- [3] A. N. Aronzon, A. D. Belenkiy, V. N. Vasiliev, and M. E. Semenov, "Torque characteristics minimally redundant system electric motors-flywheels," (In Russian), *Journal Issues of Electromechanics. Proceedings of VNIEM*, vol. 13, pp. 116-125, Moscow, 2009.

-
- [4] C. V. Dang, "Summary of adaptive controller ensure flight safety for small uavs in conditions of wind disturbance," doctoral thesis, (In Vietnamese), Military Technical Institute, chapter 1, pp. 11-39, Hanoi, 2018.
 - [5] A. P. Pudovkin, Y. N. Panasyuk, and A. A. Ivankov, *Fundamentals of antenna theory*, textbook. Publishing house of State Educational Institution of Higher Professional Education TGTU, (In Russian), 2011, pp. 3-21.
 - [6] J. Gong, J. Yan, H. Hu, D. Kong, and D. Li, "Improved radar Detection of Small Drones Using Doppler Signal-to-Clutter Ratio (DSCR) Detector," *Drones*, vol. 7, pp. 1-15, 2023, Art. no. 316.
 - [7] L. Miccinesi, A. Beni, and M. Pieraccini, "UAS-Borne radar for Remote Sensing: A Review," *Electronics*, vol. 11, pp. 1-23, Italy 2022, Art. no. 3324.
 - [8] P. I. Dupnik, A. R. Ilchuk, and B. G. Tatar, *Multifunctional radar systems*, (In Russian), textbook. Manual for universities, chapter 2, pp. 11-40, Bustard Russian, 2007.
 - [9] V. B. Uspensky and O. K. Zvyagintsev, "Optimization of the structure of a redundant system uneven precision sensors," (In Russian), *Electronic National Technical University & quot; Kharkiv Polytechnic Institute" Institutional Repository (eNTUKhPIIR)*, udk 629.78, pp. 105-110, Ukraine, 2009.
 - [10] A. I. Ignatov, A. A. Davydov, and V. V. Sazonov, "The Analysis of Dynamic Capabilities of the Control Systems by the Spacecraft Built on the Basis of the Reaction Wheels," (In Russian), *Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science*, Moscow, 2005, pp. 1-12.