

# Thiết lập tuyến đường bay của vật thể bay không người lái trong điều kiện không xác định giá trị của tham số gió trong vùng bay

- Phạm Xuân Quyền
- Vũ Thị Đoan Trang

Học viện Kỹ thuật quân sự

(Bài nhận ngày 05 tháng 12 năm 2013, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 22 tháng 04 năm 2014)

## TÓM TẮT:

*Bài báo trình bày các phương pháp thiết lập tuyến đường bay của vật thể bay không người lái (UAV) khi không có thông tin về các*

*giá trị của tham số gió trong vùng bay nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động của UAV.*

**Từ khóa:** *Vật thể bay không người lái hạng nhẹ, tuyến đường bay khép kín, ảnh hưởng của gió tới tuyến đường bay.*

## 1. MỞ ĐẦU

Hiện nay tổ hợp hàng không không người lái (UAC) mà trong đó phần tử cấu thành chính UAV là một trong những lĩnh vực kỹ thuật hàng không phát triển năng động nhất [1, 2, 3] và được áp dụng rộng rãi trong giải quyết hàng loạt bài toán kinh tế. Một điểm chú ý là việc sử dụng hàng không không người lái khi sử lý các tình huống bất ngờ, thiên tai cũng như để đảm bảo nhiệm vụ liên lạc, đo khí tượng, kiểm tra đường ống, theo dõi sinh thái và giải quyết các bài toán dân sự khác, vì UAV rẻ hơn nhiều so với thiết bị bay có người lái, đơn giản hơn khi bảo quản và vận hành, ngoài ra chúng có thể được áp dụng trong các trường hợp đe dọa đến tính mạng phi công. Song khai thác UAV đòi hỏi phải giải quyết một loạt các bài toán đặc thù, một trong số đó là giải quyết bài toán thiết lập hành trình trước khi bay có tính đến gió trong vùng bay. Tuy nhiên, cho đến nay mặc dù dựa trên những kết quả thu được khi xem xét các vấn đề nêu trên thì vẫn còn tồn tại: phương pháp quy hoạch

bay của UAV trong điều kiện không xác định giá trị của các tham số gió trong vùng bay. Vì vậy, việc nghiên cứu vấn đề chưa có câu trả lời ở trên là một vấn đề cấp bách và có ý nghĩa thực tế cao nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động của UAV.

Trong thực tế không phải lúc nào cũng có được dự báo gió trong vùng bay tại thời điểm quy hoạch hành trình trước khi bay. Trong trường hợp này xuất hiện sự cần thiết phải giải quyết bài toán thiết lập hành trình bay trong điều kiện không có thông tin về các giá trị tham số gió trong vùng bay. Như đã biết, tồn tại hàng loạt phương pháp để nhận được lời giải trong điều kiện không xác định hoặc các phương pháp mở rộng không xác định. Ví dụ như phương pháp bảo đảm, áp dụng tiêu chuẩn Laplac, cũng như các tiêu chuẩn Savage, Hoxha - Léman, Hurwitz, Germeier [8; 9]. Trong khuôn khổ bài báo tác giả đề xuất hai phương án mở rộng tính không xác định. Trong phương án thứ nhất sử dụng tiêu chuẩn cực trị Valda, trong phương án thứ hai áp dụng tiêu chuẩn Laplac. Đồng thời

cũng xem xét vấn đề tính toán xuất hiện khi giải bài toán thiết lập hành trình bay trong điều kiện không xác định và phương pháp khắc phục

chúng trên cơ sở sử dụng tập hợp hành trình bay tối ưu tiềm năng (Bảng 1) [5].

**Bảng 1.** Tập hợp tuyến đường bay tối ưu tiềm năng đối với số lượng khác nhau của các điểm tạo nên tuyến đường

| Số lượng điểm<br>(n) | Số lượng các tuyến đường bay có thể $N_M$ đối với ( $N_H = 1$ )<br>mỗi cặp giá trị tham số gió là<br>$(n-1)!$ | Số lượng các tuyến đường bay có thể $N_M$ đối<br>với $N_H = 6\ 335$ cặp giá trị tham số gió | Số lượng các<br>tuyến đường bay<br>tối ưu tiềm năng<br>( $N_M$ ) trong tập<br>hợp $M$ |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                    | $(2-1)!=1$                                                                                                    | $6335*1=6\ 335$                                                                             | 1                                                                                     |
| 3                    | $(3-1)!=2$                                                                                                    | $6335*2=12\ 670$                                                                            | 1                                                                                     |
| 4                    | $(4-1)!=6$                                                                                                    | $6335*6=38\ 010$                                                                            | 3                                                                                     |
| 5                    | $(5-1)!=24$                                                                                                   | $6335*24=152\ 040$                                                                          | 4                                                                                     |
| 6                    | $(6-1)!=120$                                                                                                  | $6335*120=760\ 200$                                                                         | 6                                                                                     |
| 7                    | $(7-1)!=720$                                                                                                  | $6335*720=4\ 561\ 200$                                                                      | 10                                                                                    |
| 8                    | $(8-1)!=5\ 040$                                                                                               | $6335*5\ 040=31\ 928\ 400$                                                                  | 9                                                                                     |
| 9                    | $(9-1)!=40\ 320$                                                                                              | $6335*40\ 320=255\ 427\ 200$                                                                | 9                                                                                     |
| 10                   | $(10-1)!=362\ 880$                                                                                            | $6335*362\ 880=2.2988*10^9$                                                                 | 8                                                                                     |
| 11                   | $(11-1)!=3\ 628\ 800$                                                                                         | $6335*3\ 628\ 800=2.2988*10^{10}$                                                           | 10                                                                                    |
| 12                   | $(12-1)!=39\ 916\ 800$                                                                                        | $6335*39\ 916\ 800=2.5287*10^{11}$                                                          | 9                                                                                     |
| 13                   | $(13-1)!=479\ 001\ 600$                                                                                       | $6335*479\ 001\ 600=3.0345*10^{12}$                                                         | 12                                                                                    |
| 14                   | $(14-1)!=6.2270*10^9$                                                                                         | $6335*47\ 900\ 1600=3.9448*10^{13}$                                                         | 11                                                                                    |

## 2. CÁC DẠNG KHÔNG XÁC ĐỊNH TRONG BÀI TOÁN THIẾT LẬP HÀNH TRÌNH BAY

Khi giải quyết bài toán trong điều kiện không xác định thu được sự truyền bá rộng rãi các phương pháp [8; 9]. Tác giả đã khảo sát 5 dạng không xác định [10]:

1. Dạng không xác định tự nhiên
2. Dạng không xác định mục đích
3. Dạng không xác định kẻ thù

### 4. Dạng không xác định chủ thể

### 5. Dạng không xác định thông tin

Dạng không xác định cuối cùng liên quan đến việc dữ liệu đầu vào để giải quyết bài toán ở dạng số không xác định. Nó được chia ra làm 3 loại sau:

- Khoảng số được đưa ra dưới dạng cặp số;
- Số ngẫu nhiên (giá trị biến số) được đưa ra dưới dạng quy luật phân bố xác suất;

• Số lẻ được đưa ra dưới dạng hàm số dưới dạng  $\mu(x)$  có giá trị từ 0 đến 1. Ví dụ biến số lẻ “lợi nhuận” có một trong các giá trị từ các giá trị lẻ - “lợi nhuận cao”.

Trên thực tế thường thì thông tin về các giá trị của tham số không xác định được đưa ra dưới dạng khoảng tham số [11] (khoảng số). Trong khuôn khổ bài báo này chúng ta sẽ khảo sát trường hợp khi mà giá trị của các tham số gió ( $V_B, \lambda$ ) chưa biết, nghĩa là thông tin về giá trị tham số gió trong vùng bay đến trước thời điểm quy hoạch bay là chưa biết, mà chỉ biết các giá trị giới hạn có thể của chúng [5]. Ví dụ như hướng gió  $\lambda$  có thể nằm trong khoảng  $\lambda_1 \leq \lambda < \lambda_2$ , vận tốc gió  $V_B$  có thể nằm trong khoảng  $V_{B1} \leq V_B \leq V_{B2}$ , ở đây  $V_{B1}, V_{B2}$  – giới hạn dưới và trên của vận tốc gió,  $\lambda_1, \lambda_2$  giới hạn trái và phải của giá trị góc xác định hướng gió.

### 3. TIÊU CHUẨN THỨ SINH TRONG BÀI TOÁN THIẾT LẬP HÀNH TRÌNH BAY TRONG ĐIỀU KIỆN KHÔNG XÁC ĐỊNH

Khi thảo luận và nghiên cứu các phương pháp khác nhau của bài toán tìm nghiệm có tính đến sự bất định [8] tác giả đã nhận thấy rằng, kết quả sử dụng các phương pháp này mang tính chất giới thiệu và việc lựa chọn lời giải cuối cùng được xem như là nghiệm. Từ tập hợp các phương pháp và giải pháp đã biết để thu được lời giải, thứ vị lớn nhất là đưa ra khả năng tính toán sự bất định cũng như cho phép thực hiện lựa chọn nghiệm từ tập hợp hành trình bay tối ưu tiềm năng (bảng 1). Trong khuôn khổ bài báo này tác giả đề xuất nghiên cứu hai phương pháp để lựa chọn hành trình bay tốt nhất từ tập hợp các hành trình bay tối ưu tiềm năng trong điều kiện không xác định, cụ thể là: tiêu chuẩn bảo đảm Valda và tiêu chuẩn Laplac [11]. Khi đó tất cả các giá trị tham số gió trong vùng bay được lập luận là không xác định, không có bất kỳ

thông tin nào về giá trị của chúng, ngoài giới hạn giá trị của chúng.

#### 3.1. Tiêu chuẩn Valda

Tiêu chuẩn Valda giúp định hướng khi nhận được kết quả trong trường hợp không thuận lợi, đó là phương án tốt nhất được lựa chọn trong điều kiện xấu nhất. Vì vậy hành trình bay được lựa chọn đảm bảo rằng thời gian bay không thể lớn hơn đại lượng đã được xác định đối với mọi giá trị của tham số gió. Tiêu chuẩn này đôi khi được gọi là tiêu chuẩn MiniMax. Nó là tiêu chuẩn đảm bảo tránh khỏi sự lựa chọn tiêu cực trong các trường hợp không có thông tin rõ ràng về trạng thái tồn tại khách quan của môi trường. Tính chất này cho phép gọi tiêu chuẩn Valda là một trong những tiêu chuẩn mong đợi nhất trong thực tế tiếp nhận lời giải trong các điều kiện không xác định.

Tính không xác định của hàm mục tiêu sơ cấp, nghĩa là thời gian bay  $t(m, \vec{V}_B)$  qua các điểm theo hành trình xác định được triệt tiêu bằng cách chuyển sang sử dụng hàm mục tiêu thứ cấp [9]. Giá trị tiêu chuẩn sơ cấp đối với hành trình bay cụ thể qua các điểm cho trước được tính toán nhờ sử dụng công thức [4]:

$$t_{AB} = \frac{AB^2}{\sqrt{V_{UAV}^2 AB^2 - (V_{Bx}y_{AB} - V_{By}x_{AB})^2} + V_{Bx}x_{AB} + V_{By}y_{AB}} \quad (*)$$

Bởi vì vector  $\vec{V}_B$  trong giai đoạn quy hoạch trước khi bay vẫn chưa biết được gì ngoài tập hợp các giá trị tham số gió cho phép  $\Phi$  [5], vì vậy khi phương pháp bảo đảm trong vai trò hàm mục đích thứ cấp  $t^{\max}(m)$  nhận được giá trị xấu nhất của hàm sơ cấp theo tất cả các giá trị cho phép của các tham số không xác định, nghĩa là giá trị lớn nhất của thời gian bay theo các giá trị của tham số gió từ vùng cho phép theo nguyên tắc:

$$t^{\max}(m) = \max_{\vec{V}_B \in \Phi} t(m, \vec{V}_B) \quad (1)$$

Khi đó bài toán tìm kiếm hành trình bay nhanh nhất  $m^*$  trong trường hợp khảo sát có dạng bài toán cực trị sau:

$$m^* = \arg \min_{m \in M} t^{\max}(m). \quad (2)$$

Ở đây  $\overline{M}$  - tập hợp theo nguyên tắc hành trình bay khép kín cho phép qua các điểm cho trước [5]. Chúng ta dễ dàng thấy rằng tính toán giá trị (1) đối với mỗi hành trình bay khi các giá trị không liên tục của tham số gió  $\overline{V}_b \in \emptyset$  thực tế có thể thực hiện bằng cách tính toán cực trị theo giá trị rời rạc của tham số gió từ vùng  $f$

### 3.2. Tiêu chuẩn Laplac

Trong một loạt trường hợp giải quyết tính bất định bằng cách dùng tiêu chuẩn Laplac. Tiêu chuẩn này có nghĩa là giảm thời gian bay trung bình qua các điểm cho trước. Nó tương đương với nguyên lý “cơ sở không đầy đủ”, nghĩa là dựa trên nguyên tắc là không có cơ sở thích hợp hoặc sự kết hợp dữ liệu đầu vào, vì vậy chúng được xem có cùng xác suất. Mặc dù giả thiết về tính cùng xác suất của tất cả các giá trị tham số gió thì điều này chỉ là một trong số các giả thiết có thể, mà được tiếp nhận trong các điều kiện không xác định.

Như chúng ta đã biết, giá trị của các tham số gió là các đại lượng liên tục và khi đó kỳ vọng toán học của thời gian bay sẽ được xác định theo công thức:

$$MO[t(m)] = \iint_{V_B, \lambda \in \emptyset} t(m, V_B, \lambda) f(V_B, \lambda) dV_B d\lambda \quad (3)$$

Ở đây  $t(m, V_B, \lambda)$  là hàm số mục tiêu sơ cấp [4], nghĩa là thời gian bay qua các điểm đã được lựa chọn cho trước theo hành trình  $m$  khi các giá trị tham số gió đã biết.  $f(V_B, \lambda)$  là hàm mật độ xác suất giá trị tham số gió. Vì vậy hành trình bay khép kín tối ưu cần phải được lựa chọn khi kỳ vọng toán học (3) nhỏ nhất, nghĩa là

$$m^* = \arg \min_{m \in M} MO[t(m)]. \quad (4)$$

Các công thức (2) và (4) thu được sẽ cho phép xác định hành trình tối ưu trong các điều kiện không có thông tin về giá trị của tham số gió trong vùng bay. Chính sự thiết lập bài toán tìm hành trình bay tối ưu trong các điều kiện của tính không xác định khoảng giá trị tham số gió theo bản chất khác nhau so với trường hợp xác định ở chỗ sử dụng tiêu chuẩn thứ cấp và các dữ liệu về giới hạn giá trị khả dĩ của tham số gió trong vùng bay.

### 4. THỬ TỤC TÌM HÀNH TRÌNH BAY THEO TIÊU CHUẨN VALDA

Như đã chỉ ra trong bảng 1 số lượng hành trình bay khả dĩ trong nguyên lý tương đối lớn và nhanh chóng tăng lên khi tăng số lượng điểm thuộc hành trình. Từ các dữ liệu trong Bảng 1 chúng ta thấy rằng, với kích thước lớn của tập hợp  $\overline{M}$  làm cho việc giải (2) và (4) trở nên khó khăn hơn rất nhiều đối với số lượng lớn điểm (lớn hơn 10 điểm) tạo nên tuyến đường. Vấn đề là ở chỗ các phép toán (2) và (4) chỉ được thực hiện sau khi tìm được (1) và (3) theo tất cả tập hợp hành trình bay cho phép qua các điểm đã chọn.

Để giải quyết vấn đề khó khăn nêu trên tác giả đề xuất sử dụng tập hợp hành trình bay khép kín tối ưu tiềm năng  $M$  (Bảng 1). Điểm đặc biệt của tập hợp này là hành trình bay khép kín tối ưu luôn luôn thuộc tập  $M$  và số lượng hành trình có trong tập này là không lớn như đã thấy trong bảng 1. Điều này có nghĩa là độ phức tạp trong tính toán kết quả của nghiệm lựa chọn hành trình trong các điều kiện không xác định giá trị tham số gió sẽ giảm đáng kể. Điều này sẽ mở ra cách để giải bài toán thiết lập hành trình bay trong các điều kiện không xác định. Khi đó, công thức (2) sẽ được viết lại dưới dạng:

$$m^* = \arg \min_{m \in M} t^{\max}(m). \quad (5)$$

Vì vậy, công thức (5) cho phép xác định hành trình khép kín tối ưu trong các điều kiện không xác định tham số gió trong vùng  $f$  theo tiêu chuẩn Valda.

## 5. THỦ TỤC TÌM HÀNH TRÌNH BAY THEO TIÊU CHUẨN LAPLAC

Trong phần này hàm phân bố mật độ xác suất giá trị tham số gió  $f(V_B, \lambda)$ , được thể hiện trong công thức (3) chưa biết vì thiếu thông tin về giá trị các tham số gió trong vùng  $f$ . Ngoài ra giá trị hàm  $t(m, V_B, \lambda)$  được xác định theo (\*) và không thể tính toán được trong điều kiện không xác định giá trị tham số gió. Ngoài ra, xác định các hàm  $t(m, V_B, \lambda)$  và  $f(V_B, \lambda)$  với các giá trị liên tục của tham số gió trong vùng  $f$  là rất khó. Điều này có nghĩa là, lời giải của bài toán thiết lập hành trình bay trong điều kiện không xác định đối với các giá trị liên tục của tham số gió theo công thức (4) và (5) trên thực tế là không thể vì độ phức tạp rất lớn. Phương pháp khả dĩ để giải bài toán này là biểu diễn vùng các giá trị liên tục có thể của tham số gió  $f$  như một tập  $H$  các giá trị rời rạc của vector  $\overline{V_B}$  [5]. Khi đó, với sự phân tích tham số nghiệm của bài toán thiết lập hành trình bay đã được nói đến trong [5] có thể xác định không chỉ tập hợp hành trình bay kín tối ưu tiềm năng  $M$  mà còn tập các giá trị thời gian bay tương ứng  $\{t(m, V_B, \lambda)\}$  cũng như xác suất xuất hiện các giá trị rời rạc của vector  $\overline{V_B}$  trong vùng  $f$ .

Giá trị  $t(m, V_B, \lambda)$  được tính theo công thức (\*), còn xác suất xuất hiện giá trị rời rạc bất kỳ của vector  $\overline{V_B}$  từ vùng giá trị cho phép được xem như là phân bố đều và được xác định theo công thức:

$$P(V_B, \lambda) = P\{(V_B, \lambda)_1\} = P\{(V_B, \lambda)_2\} = \dots = P\{(V_B, \lambda)_{N_H}\} = \frac{1}{N_H} \quad (6)$$

Ở đây  $P(V_B, \lambda)$  là xác suất xuất hiện của gió trong vùng bay với cặp giá trị thông số  $(V_B, \lambda)$ , còn  $N_H$  - số lượng các phần tử của tập hợp  $H$ .

Khi đó công thức (3) có thể viết dưới dạng:

$$MO[t(m)] = \sum_{V_B, \lambda \in H} t(m, V_B, \lambda) P(V_B, \lambda) = \frac{1}{N_H} \sum_{V_B, \lambda \in H} t(m, V_B, \lambda) \quad (7)$$

Như vậy hành trình bay khép kín tối ưu được xác định tính theo công thức

$$m^* = \arg \min_{m \in M} MO[t(m)] \quad (8)$$

## 6. KẾT LUẬN

1. Trong điều kiện khi mà ở giai đoạn thiết lập hành trình trước khi bay không nhận được dự báo về gió trong vùng bay, thì bài toán thiết lập hành trình bay sẽ được xem xét như bài toán tìm nghiệm trong điều kiện không xác định. Mặc dù giá trị tham số gió trong vùng bay chưa biết nhưng khoảng giá trị khả dĩ của chúng có thể xác định được. Vì vậy chúng ta sẽ có được khoảng giá trị tham số gió trong vùng bay.

2. Tác giả đã đưa ra hai phương án giải quyết tính không xác định. Trong phương án đầu tiên được sử dụng trong vai trò tiêu chuẩn thứ cấp của tiêu chuẩn cực trị Valda. Phương pháp cực trị nghiệm của bài toán quy hoạch hành trình bay đảm bảo đạt được kết quả tốt nhất khi các giá trị bất lợi lớn nhất của tham số gió từ các giá trị khả dĩ. Ý nghĩa thực tế của việc tìm nghiệm bài toán này là ở chỗ ngoài hành trình bay tối ưu còn tìm được đánh giá bảo đảm về thời gian bay qua các điểm đã chọn. Phương án thứ hai sử dụng tiêu chuẩn Laplac, mà đưa ra đánh giá tối ưu hơn về thời gian bay và phù hợp với nghiệm của bài toán lập hành trình bay. Trong vai trò tiêu chuẩn thứ cấp đã sử dụng kỳ vọng toán học của thời gian bay qua các điểm cho trước.

3. Vấn đề tính toán khó khăn xuất hiện khi giải bài toán thiết lập hành trình bay trong điều kiện

khoảng giá trị tham số gió là lựa chọn tuyến đường bay tối ưu từ một tập hợp rất lớn số lượng hành trình bay có thể. Vấn đề này được khắc phục nhờ sử dụng tập hợp hành trình bay tối ưu tiềm năng.

4. Đã khảo sát một số ví dụ tìm nghiệm của bài toán quy hoạch bay trong điều kiện khoảng

không xác định giá trị tham số gió trong vùng bay. Khi sử dụng tiêu chuẩn Valda thời gian bay của hành trình bay tối ưu thu được so với thời gian của các hành trình bay tối ưu tiềm năng khác bảo đảm nhỏ hơn 15.7%. Khi sử dụng tiêu chuẩn Laplac thời gian của hành trình bay tối ưu so với thời gian bay của các hành trình bay tối ưu tiềm năng khác bảo đảm nhỏ hơn 5.6%.

## Itinerary setting of unmanned aerial vehicle in the condition of undefined values of the wind parameters in the flight zone

- **Pham Xuan Quyen**
- **Vu Thi Doan Trang**

Military Technical Academy

### ABSTRACT:

*This paper presents the itinerary setting methodology of unmanned aerial vehicle (UAV) when there is no information about*

*the values of the wind parameters in the flight zone in order to improve the flight performance of the UAV.*

**Keywords:** *Unmanned aerial vehicle, closed routes, influence of wind to fly routes.*

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030 USA Office of the Secretary of Defense // [www.acq/osd/mil/usd/Roadmaplast.pdf](http://www.acq/osd/mil/usd/Roadmaplast.pdf), 2006г.- 213p.
- [2]. Дремлюга Г.П., Есин С.А., Иванов Ю.Л., Ляшенко В.А. *Беспилотные летательные аппараты: Состояние и тенденции развития* // под ред. д.т.н., профессора Ю.Л. Иванова. –М.: Воряг, 2004,-176с.
- [3]. Моисеев В.С., Гущина Д.С., Моисеев Г.В., Салеев А.Б. *Беспилотные авиационные комплексы. I. Структура и организация функционирования*// Изв. Вузов. Авиационная техника.-2006.- №2.-С3-7.
- [4]. Фам С.К., Моисеев Д.В., Таргамадзе Р.Ч. *О рациональном выборе замкнутого*

- маршрута полета легкого летательного аппарата с учетом прогноза ветра // *Вестник ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина*, 2012. № 3. С. 76-83.
- [5]. Phạm Xuân Quyền, Trịnh Văn Minh Vùng nghiệm không đổi của bài toán lập hành trình bay có tính đến ảnh hưởng của gió trong vùng bay//*Tạp trí Khoa học & Kỹ thuật - Học viện Kỹ thuật Quân sự*.
- [6]. Кузнецова Г.В., Моисеев Д.В. *Комбинированная процедура решения одного типа задач маршрутизации* // Тезисы докладов 10-й международной конференции "Системный анализ, управление и навигация". - М.: Изд-во МАИ, 2005.
- [7]. Сдвиг ветра // *Циркуляр ИКАО 186-AN/122*. – Международная организация гражданской авиации. – Монреаль (Канада), 1987. – 200 с.
- [8]. *Оптимальное управление летательными аппаратами*: Сб. науч. Тр.-М.:МАИ, 1984.-111С., ил.
- [9]. Малышев В.В. *Методы оптимизации в задачах системного анализа и управления: Учебное пособие* // М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. - 440с.:ил.
- [10]. Настин Ю.Я. *Математическое моделирование в экономике и финансах*. учеб. пособие Балт. ин-т экономики и финансов. - Калининград : Изд-во БИЭФ, 2003.
- [11]. Лебедев А.А. , Баранов В.Н., Бронников В.Т., Красильщиков М.Н. *Учет неопределенностей при исследовании сложных технических систем: Учеб. Пособие* // М.: Изд-во МАИ, 1988. - 52с.