

## АЛГОРИТЪМ ЗА ОТКРИВАНЕ НА КОНФЛИКТИ ВЪВ ВЪЗДУШНОТО ДВИЖЕНИЕ

### AN AIR TRAFFIC CONFLICT DETECTION ALGORITHM

ПЛАМЕН ПЕТРОВ

Катедра "Въздушен транспорт", Технически университет-  
София, България  
plamenp@tu-sofia.bg

#### Резюме:

Представен е алгоритъм за неавтоматизирано откриване на конфликти във въздушното движение.

#### Abstract:

A manually handled air traffic conflict detection algorithm is presented.

**Ключови думи:** въздушно движение, конфликт, автоматизация

**Keywords:** air traffic, conflict, automation.

### 1. Увод

Откриването на конфликти е най-важната задача на управлението на въздушното движение (УВД). Тя осигурява безопасността на полетите. Едни от най-ценните инструменти на съвременните автоматизирани системи за УВД са средствата за автоматично откриване на конфликти във въздушното движение (ВД). Освен чрез тях ръководителите на полетите (РП) трябва да умеят да откриват конфликти и без автоматизация. Един алгоритъм за това е представен в настоящата работа. Цялата задача за откриване на конфликти във ВД със съответните термини и означения е представена и решена в [1].

### 2. Опростяване на формулите

Задачата за откриване на конфликти между две въздухоплавателни средства (ВС) предполага, че са известни пътните скорости  $V_1$  и  $V_2$  на ВС и началните разстояния  $x_{10}$  и  $x_{20}$  до пресечната точка на траекториите им. Лесно се изчисляват:

$$\tau_1 = \frac{x_{10}}{V_1}, \tau_2 = \frac{x_{20}}{V_2}, \Delta\tau = \tau_2 - \tau_1, x_{02} = V_2 \cdot \Delta\tau \quad (1)$$

В [1] са изведени формулите за изчисляване на минималното разстояние на сближение (МРС)  $d$  на ВС и прогнозното време до МРС  $\tau^*$ :

$$d = \lambda \cdot x_{02}, \quad (2)$$
$$\lambda = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{m^2 - 2m \cos \alpha + 1}} = \text{const} \quad (3), \quad m = \frac{V_2}{V_1} = \text{const} \quad (4),$$
$$\tau^* = k \cdot \Delta\tau, \quad k = m \cdot c, \quad c = \frac{m - \cos \alpha}{m^2 - 2m \cos \alpha + 1}. \quad (5)$$

За прилагане без изчислителна техника тези формули могат да се опростят.

Крейсерските скорости на транспортните ВС на едно и също полетно ниво са в ограничен диапазон. Да приемем, че  $V_2$  е по-голяма или по-малка с до 30%\*\*, от  $V_1$ , т.е.

$$0,7V_1 \leq V_2 \leq 1,3V_1 \quad \text{и} \quad 0,7 \leq m \leq 1,3. \quad (6)$$

От (6) може да се приеме в първо приближение, че  $m \approx 1$  и след заместване (5) се получава:

$$c \approx 0,5 \quad k \approx 0,5m \quad \text{и} \quad \tau^* = k \cdot \Delta\tau. \quad (7)$$

По-подробното изследването на зависимостта (5) на  $c$  от  $\alpha$  показва, че за ъгли на пресичане на траекториите по-големи от около  $60^\circ$  ( $\alpha > 60^\circ$ ), при каквото и да е  $m$  в границите (6), величината  $c$  е почти постоянна:

$$0,4 \leq c \leq 0,6 \rightarrow c \approx 0,5. \quad (8)$$

Това означава, че за  $\alpha > 60^\circ$  формулата  $k \approx 0,5m$  е достатъчно точна. За  $\alpha \leq 60^\circ$  величината  $c$  добива стойности в по-широки граници от (8).

Може да се направи следното обобщение:

2.1. Прогнозното време до МРС се изчислява по формулата  $\tau^* = k \cdot \Delta\tau$ :

\*\*Всички означени с две звездички стойности подлежат на уточнение от експерти.

2.1. а) Когато  $\alpha > 60^\circ$ , константата  $k$  се смята на ум като половината от  $m$ , т.е.  $k = 0,5m$ ;

2.1. б) При съпосочни полети с  $\alpha \leq 60^\circ$ , константата  $k$  се изчислява по формулата  $k = mc$ .

В случаите 2.1.б) е удобно  $k$  да се взема от таблица (Таблица 1), където  $c$  е изчислена предварително за различни  $\alpha$  и  $m$  и  $k = mc$ .

### 3. Близкосрочни конфликти

За да няма конфликт МРС  $d$  от (2) трябва да е по-голямо от безопасния минимум за хоризонтална сепарация  $s$ , т.е.

$$d = \lambda x_{02} > s, \text{ откъдето } x_{02} = V_2 \Delta t > \frac{s}{\lambda} \quad (9)$$

Ако  $s = 5 \text{ NM} \approx 9 \text{ km}$  и приемем като *най-лош, но правдоподобен случай* [2]  $\lambda \approx 0,9^{**}$ ,  $V_2 \approx 700^{**} \text{ km/h}$ , след заместване в (4) може да се определи, че за да няма конфликт е необходимо:

$$\Delta t > 0,86 \text{ min} \approx 1 \text{ min}. \quad (10)$$

3.1. Ако  $\Delta t < 1 \text{ min}$  се прогнозира конфликт.

Потенциалните конфликти могат да се разделят на:

- близкосрочни, с времев хоризонт до 2 min;
- средносрочни, с времев хоризонт над 2 min.

Близкосрочните конфликти изискват спешно решение.

От Таблица 1 може да се види, че рядко  $k > 1$ . Когато  $k < 1$  и  $\Delta t < 1 \text{ min}$ , то  $\tau^* = k \Delta t$  е също под 1 min. Ако в тези случаи и  $\tau_1 < 1 \text{ min}$ , то пълното прогнозно време до МРС  $\tau_d = \tau_1 + \tau^*$  е под 2 min и е необходимо спешно решение. Накратко:

3.2. Ако  $\Delta t \leq 1 \text{ min}$  и  $\tau_1 < 1 \text{ min}$  конфликтът е близкосрочен и е необходимо спешно решение.

### 4. Алгоритъм за откриване на конфликти от РП

Целта е да се прогнозира без специални средства за автоматизация ще има или няма да има конфликт между две ВС, като се използва само радарната картина и една предварително изготвена таблица (Таблица 1). Алгоритъмът е описан по стъпки и е представен графично на Фигура 1.

1 Определят се от обзорната информация:

- пътните скорости  $V_1$  и  $V_2$  на ВС;
- ъгълът  $\alpha$  на пресичане на траекториите (по-малкият ъгъл между векторите на пътните им скорости);
- началните разстояния  $x_{10}$  и  $x_{20}$  от ВС до точката О на пресичане на траекториите.

2. Изчисляват се времената, за които ВС ще достигнат от началната позиция до т. О:

$$\tau_1 = \frac{x_{10}}{V_1} \quad \tau_2 = \frac{x_{20}}{V_2}.$$

3. ВС, чието време е по-малко и ще пристигне първо в т. О се нарича ВС1.

4. Пресмята се разликата  $\Delta t = \tau_2 - \tau_1$ .

5.1. Ако  $\Delta t \geq 1 \text{ min}$  се минава на 7.

5.2. Ако  $\Delta t < 1 \text{ min}$  се прогнозира конфликт (поради 3.1.).

6. Ако  $\Delta t < 1$  и  $\tau_1 < 1 \text{ min}$  конфликтът е близкосрочен (поради 3.2.).

7. Изчислява се  $x_{02} = V_2 \Delta t$ .

8. Изчислява се  $m = \frac{V_2}{V_1}$ .

9. От Таблица 1 по  $\alpha$  и  $m$  се взема (взимат):

- $\lambda$  и се пресмята  $k = 0,5m$  (случай 2.1.а) или
- $\lambda$  и  $k$  (случай 2.1.б)

10. Изчислява се прогнозното време до МРС  $\tau^* = k \Delta t$ .

11.1. Ако  $k \geq 0$  се минава на 13 (поради 3.1. и 3.2. от [1]).

11.2. Ако  $k < 0$  се проверява:

12.1. Ако  $k < 0$  и  $\tau_1 \leq |\tau^*|$ , конфликт няма, край на алгоритъма (случай 3.3.а от [1]).

12.2. Ако  $k < 0$  и  $\tau_1 > |\tau^*|$  **ВНИМАНИЕ:** минималното отстояние е след началната позиция, но преди позицията за изчисление (случай 3.3.б от [1]).

13. Изчислява се минималното разстояние на сближение  $d = \lambda x_{02}$ .

14.1. Ако  $d > s$  конфликт няма, край на алгоритъма.

14.2. Ако  $d \leq s$  се прогнозира конфликт.

15. Изчислява се пълното прогнозно време  $\tau_d = \tau_1 + \tau^*$ .

16.1. Ако  $\tau_d < 2 \text{ min}$ , конфликтът е близкосрочен.

16.2. Ако  $\tau_d \geq 2 \text{ min}$ , конфликтът е средносрочен.

$\alpha$ $m$	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	175°
	$\lambda / k$				$\lambda$						
0,7	0,7	0,95	1	0,97	0,91	0,82	0,71	0,58	0,45	0,3	0,15
	-1,35	-0,42	-0,01	0,18							
0,8	0,84	0,99	0,99	0,94	0,87	0,78	0,67	0,55	0,42	0,29	0,14
	-1,41	-0,21	0,14	0,29							
0,9	0,97	1	0,96	0,91	0,83	0,74	0,64	0,53	0,4	0,27	0,14
	-0,83	0,13	0,32	0,4							
1	0,99	0,97	0,92	0,87	0,79	0,71	0,61	0,5	0,38	0,26	0,13
1,1	0,89	0,9	0,87	0,82	0,75	0,67	0,58	0,48	0,36	0,25	0,12
	1,74	0,85	0,66	0,59							
1,2	0,74	0,83	0,82	0,78	0,72	0,64	0,55	0,45	0,35	0,24	0,12
	2,3	1,1	0,79	0,67							
1,3	0,61	0,76	0,77	0,73	0,68	0,61	0,53	0,43	0,33	0,22	0,11
	2,43	1,29	0,91	0,74							

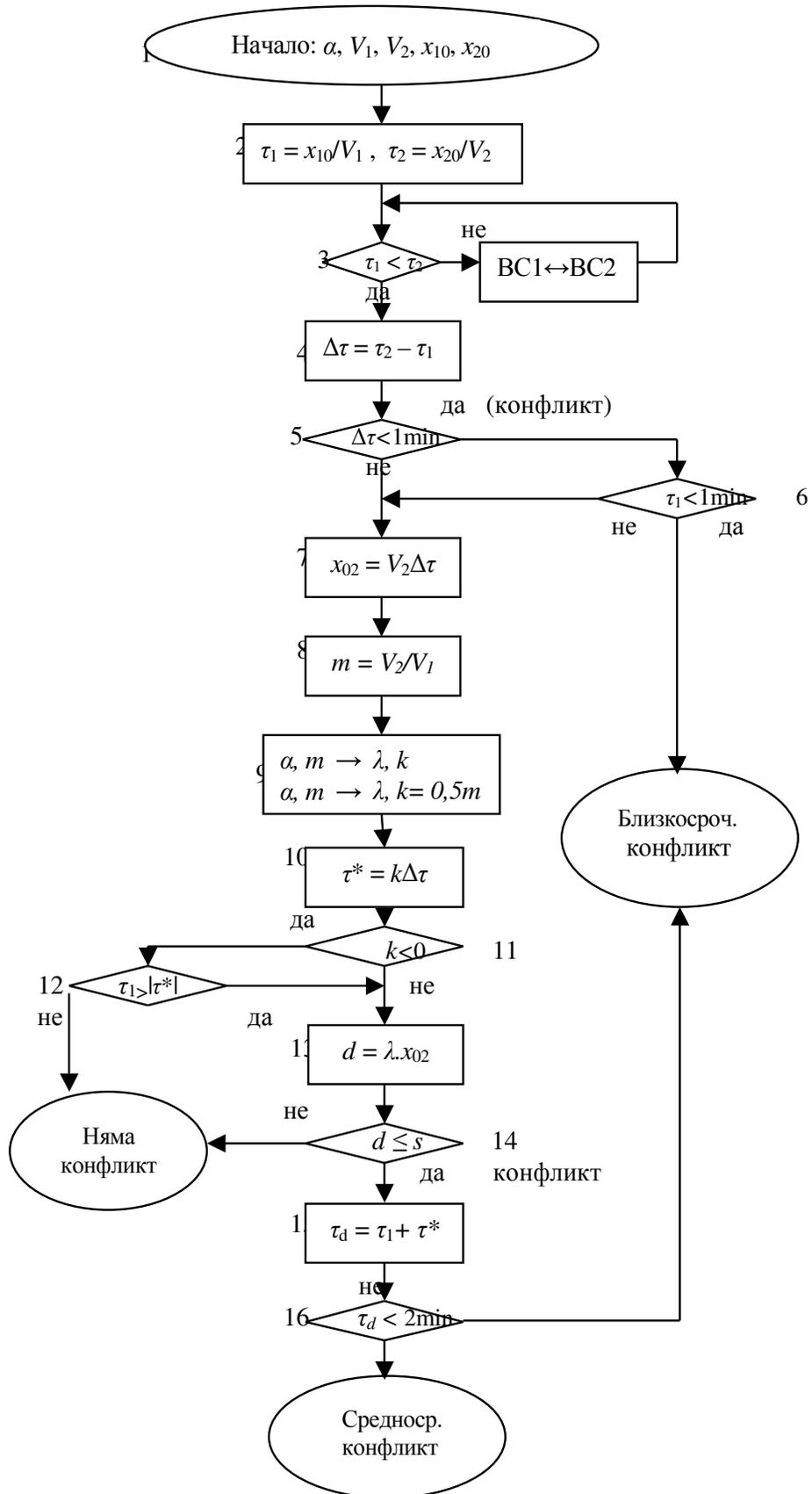
Таблица 1. Таблица за определяне на числото  $\lambda$  ( $\lambda$  и  $k$ ) по  $\alpha$  и  $m$

## 5. Заключение

Алгоритъмът за откриване на конфликти между ВС без автоматизация се свежда до едно поглеждане в таблица и проста аритметика. Действията могат да се извършат на ум, без помощни средства. Едно практическото апробиране на алгоритъма на тренажор за РП може да потвърди и подобри алгоритъма, както и да определи точността на приблизителното пресмятане.

## 6. Литература

- [1] Петров П. Г., Геометричен метод за откриване на конфликти във въздушното движение, BulTrans-2014, Созопол, 2014.
- [2] EUROCONTROL, Air Navigation System Safety Assessment Methodology, 2004.



Фигура 1. Алгоритъм за откриване на конфликт