

УДК 629.7.351

## СПОСОБ УПОРЯДОЧЕНИЯ ПОТОКА ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ПО ТИПУ «ТРОМБОН» С ОБРАТНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ПОЛЕЗНОЙ ЗОНЫ МАНЕВРИРОВАНИЯ<sup>1</sup>

Г.Н. ЛЕБЕДЕВ, В.Б. МАЛЫГИН

Рассматривается решение важной практической задачи по упорядочиванию потока движения воздушных судов (ВС), прибывающих с разных направлений на общую навигационную точку, что позволяет формировать очередь для посадки ВС и определять первоочередность посадки.

**Ключевые слова:** оптимальное управление, обратный «тромбон», воздушные суда, зеркальный «тромбон», заход на посадку.

Наиболее распространенным и удобным для экипажа ВС конечным этапом стандартного маршрута прибытия считается участок с параллельными, противоположно направленными прямолинейными треками, позволяющий организовать очередность захода на посадку для ВС с одинаковым временем прибытия на конечную точку пути стандартного маршрута. Участок маршрута подобного типа получил название – «тромбон».

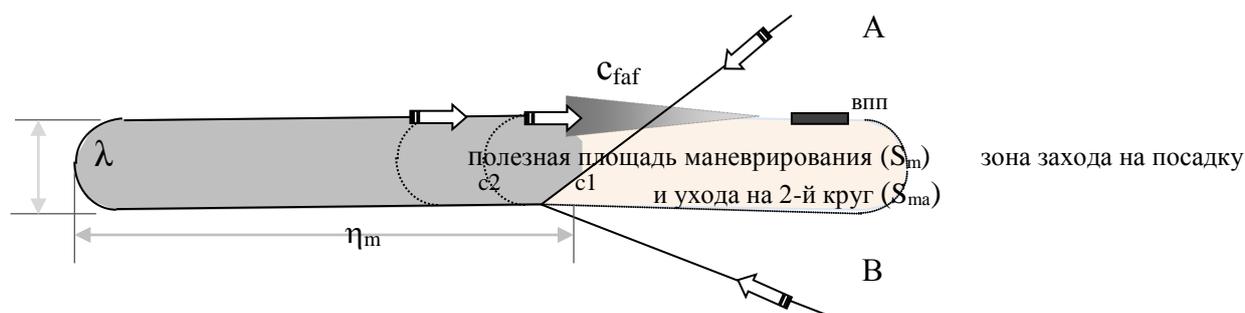


Рис. 1. Обратный «тромбон»

Схема «тромбона» позволяет упорядочить поток движения ВС, прибывающих с разных направлений на общую навигационную точку. На рис. 1 представлена схема «тромбона», позволяющая упорядочить поток движения воздушных судов с направлений А и В, сходящихся над точкой  $c_1$ . Общая площадь ( $S$ ) классической схемы «тромбона» складывается из полезной площади маневрирования ( $S_m$ ) и площади зоны захода на посадку и ухода на «второй круг» ( $S_{ma}$ ), которая не используется для упорядочения потока ВС. Как правило,  $S_m > S_{ma}$ . Интервал в очереди на посадку формируется диспетчером при помощи использования полезной площади маневрирования «тромбона», которая рассчитывается по параметрам интервала  $\omega_{(i-j)}$  между ВС и ёмкостью ( $N$ ) «тромбона». При этом функция интервала ( $\ell$ ) между ВС в очереди на посадку зависит от ширины ( $\lambda$ ), а ёмкость  $N$  от длины ( $\eta_m$ ) «тромбона»:

$$\ell = f(\omega_{(i-j)}, \lambda); \quad (1)$$

$$N = \lfloor \eta_m / \ell \rfloor. \quad (2)$$

На рис. 2 представлен зеркальный «тромбон», который применяется, как правило, для двух параллельных взлётно-посадочных полос (ВПП). Подобное устройство «тромбона»

<sup>1</sup> Работа выполнена при материальной поддержке гранта РФФИ 13-08-00182.

облегчает работу диспетчера, однако вдвое увеличивает площадь  $S$ , что в ряде случаев неприемлемо из-за зон ограничений полетов в районе аэродрома (URL). Особенно данное обстоятельство актуально для Московского узлового диспетчерского района, где расположено большое количество запретных зон и зон ограничения полётов.

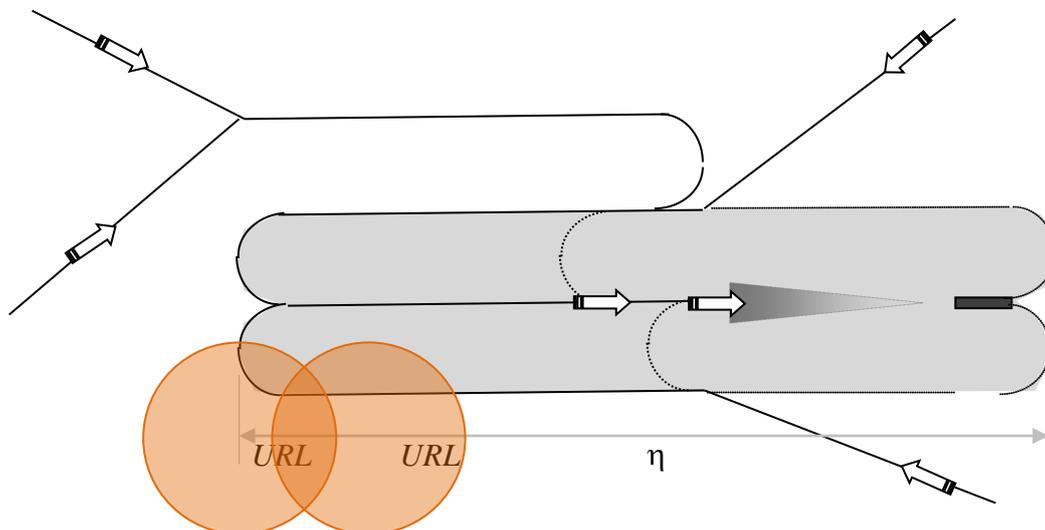


Рис. 2. Зеркальный «тромбон»

Эффективность использования «тромбона» определяется отношением полезной площади «тромбона» к его общей площади:

$$\varepsilon_{\text{ивп}} = 1 - (S_m / S). \quad (3)$$

Эффективность функционирования «тромбона» определяется отношением  $N$  к округлённому значению  $\eta$ , делённому на  $\ell$ :

$$\varepsilon_{\text{ф}} = N / (\lceil \eta / \ell \rceil). \quad (4)$$

Общая эффективность «тромбона» выражается суммой (3) и (4):

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{ивп}} + \varepsilon_{\text{ф}} \quad (5)$$

В данной статье предлагается способ организации упорядочения потока движения ВС по типу «тромбон» с обратным расположением полезной зоны маневрирования ( $S_m$ ), развернутой относительно её центра на угол  $\alpha$  от  $160^\circ$  до  $170^\circ$  (рис. 3). Угол более  $170^\circ$  применять не рекомендуется, т.к. это существенно ограничивает вылет ВС.

Преимущество данного способа организации схемы типа «тромбон» состоит в значительном выигрыше использования воздушного пространства.

Для доказательства преимущества предлагаемого способа рассчитаем его эффективность по сравнению с классическим способом упорядочивания движения ВС при одинаковых условиях:  $S_m = 150 \text{ км}^2$ ;  $S = 240 \text{ км}^2$ ;  $\ell = 7 \text{ км}$ ;  $\eta = 40 \text{ км}$ ;  $\eta_m = 25 \text{ км}$ .

Для классического «тромбона» получаем:  $\varepsilon_{\text{ивп}} = 1 - (150 / 240) = 0,625$ ;  $\varepsilon_{\text{ф}} = 3 / 5 = 0,6$ ;  $\varepsilon_1 = 1,225$ .

Для обратного (развернутого) «тромбона» имеем:  $\varepsilon_{\text{ивп}} = 1 - (-150 / 240) = 1,625$ ;  
 $\varepsilon_{\text{ф}} = 3/5 = 0,6$ ;  $\varepsilon_2 = 2,225$ .

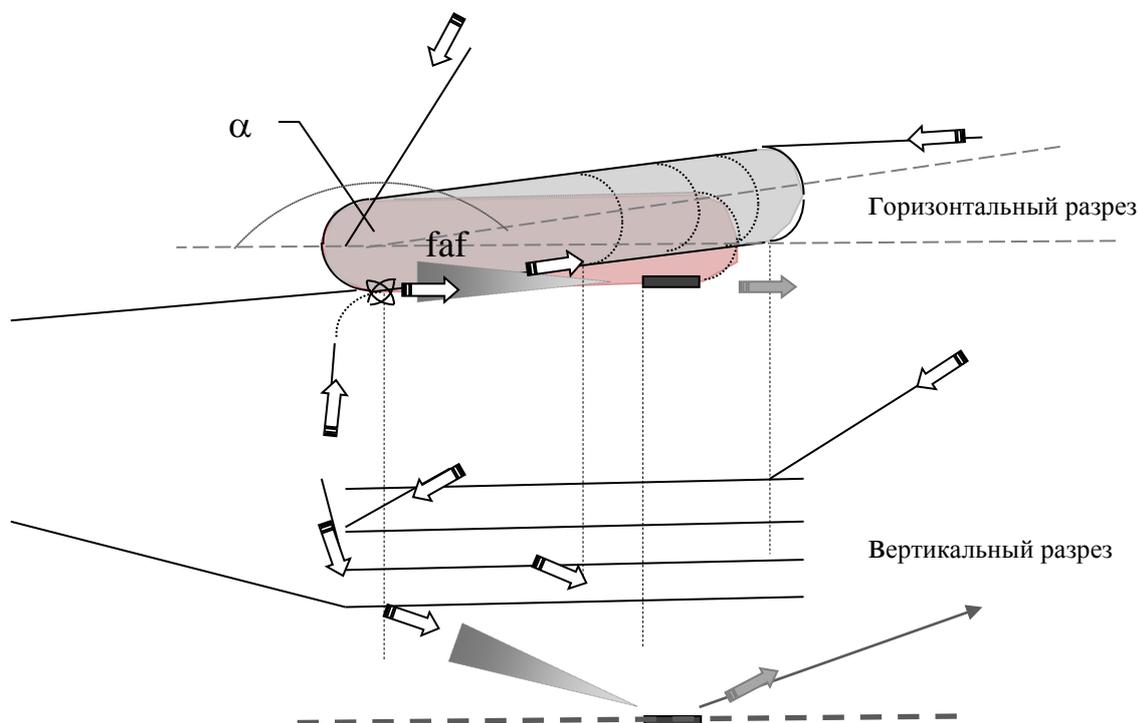


Рис. 3. Горизонтальный и вертикальный разрезы схемы «тромбон»

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Предложен способ более эффективного использования воздушного пространства на этапе формирования конечной очереди захода на посадку ВС.
2. Общая эффективность обратного «тромбона» в 1,816 раза превышает общую эффективность классического.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев Г.Н., Малыгин В.Б., Нечаев Е. Е., Тин Пхон Чжо. Использование системы приоритетного обслуживания при внедрении автоматизированного управления прилетом-вылетом в воздушном пространстве Московского аэроузла // Научный вестник МГТУ ГА. 2012. № 180. С. 254-259.
2. Тин Пхон Чжо. Автоматизация оперативного распределения воздушных судов между трассами захода на посадку в Московском аэроузле при внезапном изменении метеословий // Научный вестник МАИ. 2014. № 3. С. 128-140.

## THE WAY OF ORGANIZING THE FLOW OF AIRCRAFT BY INVERSE "TROMBONE" TYPE LOCATION OF THE USEFUL MANOEUVRING AREA

Lebedev G.N., Malygin V.B.

The problem of solving important practical tasks of organizing the flow of arriving aircraft from different directions to the same navigation point is described. This allows us to form list for landing and determine their priority.

**Key words:** optimal control, inverse trombone, aircraft, mirror trombone, the landing approach.

## REFERENCES

1. **Lebedev G.N., Malygin V.B., Nechayev E.E., Ting Phong Zhuo.** Use of system of priority service at introduction of automated management of an arrival departure in air space of the Moscow airline hub // Nauchniy vestnik MGTU GA. 2012. No. 180. P. 254-259. (In Russian)

2. **Ting Phong Zhuo.** Automatization of expeditious distribution of aircrafts between routes of landing approach in the Moscow airzone at sudden change of meteoconditions // Nauchniy vestnik MAI. 2014. № 3. P. 128 -140. (In Russian)

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Лебедев Георгий Николаевич**, 1936 г.р., окончил МИФИ (1959), доктор технических наук, профессор кафедры системы автоматического и интеллектуального управления Московского авиационного института (национального исследовательского университета), автор 150 научных работ, область научных интересов – системы автоматического и интеллектуального управления, методы оптимизации и динамическое программирование.

**Малыгин Вячеслав Борисович**, 1960 г.р., окончил ОЛАГА (1983), начальник учебно-тренажерного центра кафедры управления воздушным движением МГТУ ГА, автор 18 научных работ, область научных интересов – автоматизация управления прилетом – вылетом AMAN-DMAN.