

УДК 629.7.067

DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-5-33-42

## МЕТОДИКА ПОДДЕРЖАНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ПОТОКА ПРИБЫТИЯ НА ОСНОВЕ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЖИМА ПОСТОЯННОГО СНИЖЕНИЯ

В.Б. МАЛЫГИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный технический университет гражданской авиации,  
г. Москва, Россия

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 16-08-00070

В статье рассматривается методика построения стандартных маршрутов прибытия с использованием профиля постоянного снижения (CDO) в воздушном пространстве зоны «подхода» с повышенной интенсивностью воздушного движения. Методика расчета эффективных значений элементов структуры воздушного пространства основана на вероятностных характеристиках потока прибытия, на основе которых итерационным способом определяются необходимые рабочие площади «тромбона» и «веера» в целях поддержания режима полета при постоянном снижении. В качестве результата применения указанной методики представлена примерная структура из трех стандартных маршрутов прилета в аэропорт Шереметьево, в которой на конечных участках маршрута прибытия применены «тромбоны». Расчет вероятностных характеристик беспriorитетного функционирования «тромбона» («веера») произведен исходя из пуассоновского закона потока поступления воздушных судов (ВС) на каждый маршрут и равномерного распределения случайной величины попадания ВС всех маршрутов на элементарный их общий участок (1). Проведена сравнительная оценка эффективности схем «тромбона» и «веера» по рабочей площади на основе характеристик потока движения воздушных судов. Получен существенный результат по преимуществу схемы типа «тромбон» не только относительно эффективности использования воздушного пространства, но и по характеристикам целостности прилетного потока воздушных судов, необходимого для применения CDO. Полученные результаты подтверждены проведенным моделированием в рамках условий задачи. В заключение статьи обозначены условия практического обеспечения режима постоянного снижения на участках CDO стандартных маршрутов прилета, в том числе при превышении расчетной интенсивности воздушного движения, предложены меры по минимизации отрицательных последствий от подобных возмущений прилетного потока.

**Ключевые слова:** полет в режиме постоянного снижения (CDO), безопасность полета, стандартный маршрут прибытия (STAR).

### ВВЕДЕНИЕ

Выполнение полета в режиме постоянного снижения (CDO) требует ряда существенных ограничений для управления воздушным движением. В этой связи требуется проектирование стандартных маршрутов с CDO с учетом комплекса таких ограничений [3, 4]. Прежде всего это касается характеристик интенсивности воздушного движения (ИВД). В работах [1, 5] предлагается эффективный способ вероятностного учета часовой ИВД как на отдельном маршруте, так и по структуре воздушного пространства в целом.

По сути, происходит адаптация проекта структуры воздушного пространства (ВП) к существующей на практике интенсивности воздушного движения (ВД) [6, 8]. Так, каждый STAR проекта имеет собственную характеристику допустимой ИВД ( $\Psi_i^{CDO}$ ), которая не должна превышать. При этом сумма ИВД всех STAR не должна превышать характеристику максимальной часовой интенсивности воздушного пространства в целом  $N_{(ВП)}$ .

$$\Psi_{(ВП)} = \begin{cases} \Psi_i^{CDO} \leq \Psi_{(ВП)} \\ \sum_1^i \Psi_i^{CDO} \leq \Psi_{(ВП)} \end{cases} \quad (1)$$

Условие (1) является обязательным для организации CDO, но не достаточным. На практике ИВД довольно часто превышает допустимую ИВД, которая, как правило, рассчитана без учета необходимости применения CDO. Для группы STAR, представляющих структуру прилета на конкретный аэродром, допустимая ИВД рассчитывается на общих участках. Такими участками могут быть либо «тромбон», либо «веер».

Рассмотрим условия нормального функционирования этих общих участков структуры при бесприоритетном обслуживании воздушного движения. На практике особое требование предъявляется к площади рабочих зон «тромбона»  $S^{тр}$  и «веера»  $S^B$  (рис. 1) [1].

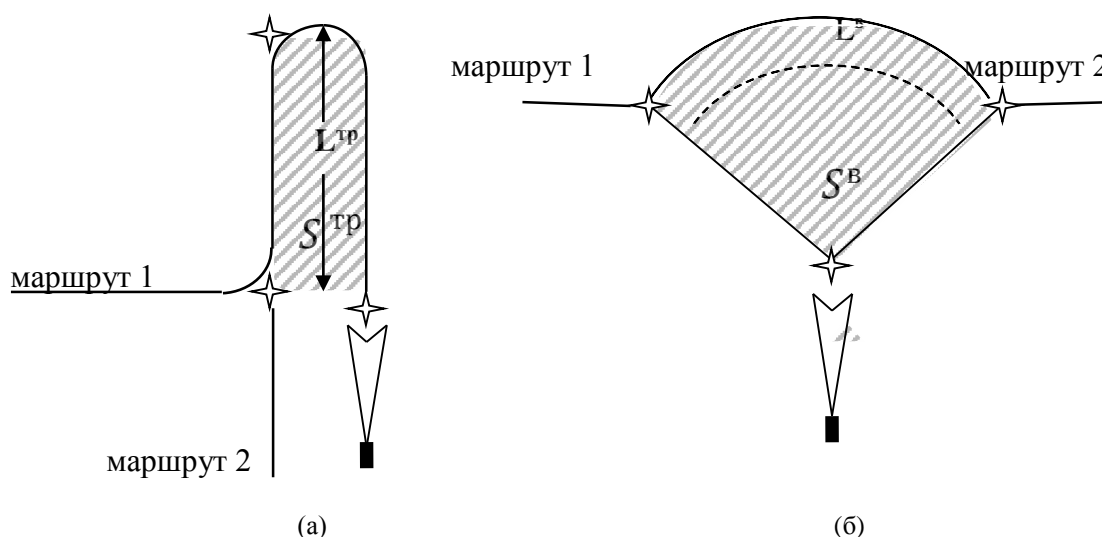


Рис. 1. Рабочие площади «тромбона» (а) и «веера» (б)  
Fig. 1. Working areas of “trombone” and “point merge”

Задача определения характеристик нормального функционирования  $S^{тр}$  и  $S^B$ , каждая из которых состоит минимум из двух участков, сводится к минимизации площади этих зон [2] при условии выполнения заданного объема или интенсивности потока движения воздушных судов. Условие обеспечения безопасности полетов учитывается при помощи соблюдения интервала в 10 км между любой парой ВС, что задано в виде константы. Целостность потока ВС рассматривается как узкопрофессиональное понятие, предполагающее упорядочение движения, при котором каждому ВС соответствует единственный элементарный участок  $\ell$ , равный величине интервала. Общеупотребительным значением данного термина является способность системы выполнять свои функции при изменении параметров внешней среды. В данном случае изменяющейся внешней средой рассматривается часовая интенсивность воздушного движения, предельные значения которой не должны нарушать способность системы выполнять свои функции.

Методика расчета максимальной длины очереди на «тромбоне» представлена в [1–3].

Характеризуя минимальные размеры рабочей площади «тромбона», исходим из условия накопления очереди. Так, очередь на «тромбоне» будет определяться:

$$\Omega_{тр} = 2 \frac{N}{\ell}, \quad (2)$$

где  $N$  – количество ВС, поступающих на «тромбон» в пределах элементарного участка  $\ell$ .

По условию задачи на участке  $\ell$  каждого маршрута не может быть более одного ВС. Следовательно, увеличение очереди на «тромбоне» зависит от количества маршрутов при-

бытия  $K$ , встроенных в «тромбон», и плотности потока ВС на каждом из них  $\xi_{(i)}$ . Вероятность  $P_K$  наступления отказа в обслуживании ВС на «тромбоне» определяется как наступление события, где в течение  $K$  интервалов  $\ell$  на «тромбон» будет поступать более двух ВС в каждом интервале.

Рассмотрим характеристики минимизации рабочей площади на примере использования «тромбона» в структуре воздушного пространства, похожего на Московский узловой диспетчерский район (МУДР) для а/д Шереметьево. На рис. 2 в реальном масштабе представлена структура маршрутов прибытия с трех направлений. Каждый маршрут имеет участок, который может быть использован для CDO, и участок типа «тромбон», сопряженный с подобным участком другого маршрута в целях поддержания целостности прилетного потока.

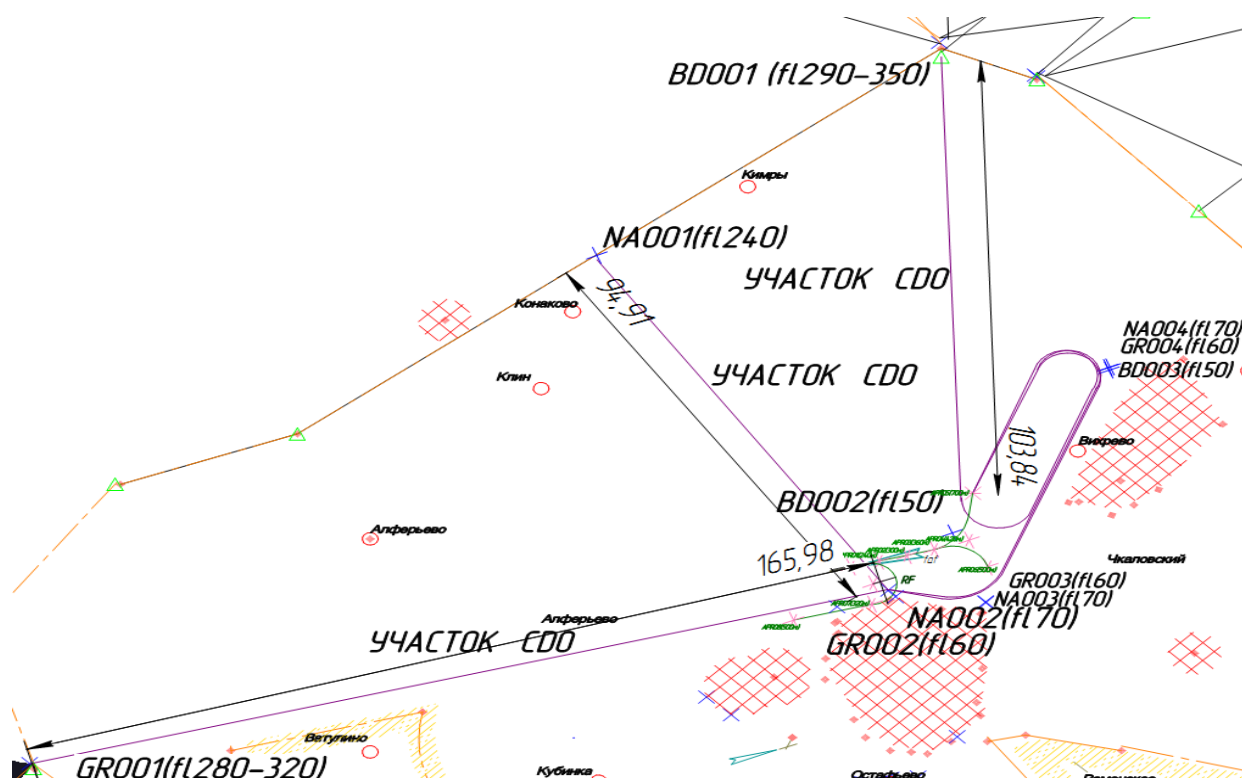


Рис. 2. Пример схемы маршрутов  
 Fig. 2. Example of the area

Для того чтобы объявить участки (BD001-BD002; GR001-GR002; NA001-NA002 (рис. 2)) стандартных маршрутов прибытия пригодными для применения CDO [8], необходимо провести коррекцию расчетов каждого такого маршрута. Главным отличием участка маршрута прибытия, пригодного для использования CDO, от традиционного, аналогичного участка является отсутствие ограничений по поступательной скорости. Действительно, пилот самостоятельно должен иметь возможность установить скоростной режим, наиболее благоприятный для конкретных условий полета с учетом особенностей типа и веса ВС [10]. Данное обстоятельство является существенным ограничением для обслуживания воздушного движения, т. к. на втором месте после поддержания безопасных интервалов между ВС за счет разницы высот полета стоит метод регулирования скорости. При отсутствии такой возможности, авиадиспетчеру потребуется повышенный интервал на участке CDO. Это обязательно повлияет на пропускную способность воздушного пространства, которое в данном случае определяется пределом ИВД «тромбона».

Согласно методике [1]  $\Psi_i^{CDO}$  определяется как максимальная часовая ИВД, при которой наступление события переполнения участка маршрута рассматривается как маловероятное событие. Каждый такой CDO-участок имеет собственную длину (Уч. 1 – 94,91 км; Уч. 2 – 165,98 км; Уч. 3 – 103,84 км (рис. 2)). При условии пуассоновского поступления потока ВС и равномерного его распределения по маршрутам при средней путевой скорости ВС 500 км/ч имеем:

- среднее время нахождения ВС на участках:  $T_{cp}^1 = 11$  мин;  $T_{cp}^2 = 20$  мин;  $T_{cp}^3 = 12,5$  мин;
- предельное (условное) количество ВС на участках:  $\eta_{max}^1 = 9$ ;  $\eta_{max}^2 = 16$ ;  $\eta_{max}^3 = 10$ ;
- параметры  $\lambda_{(1)} = 5,42$ ;  $\lambda_{(2)} = 10,83$ ;  $\lambda_{(3)} = 6,16$  закона Пуассона для каждого участка при условии 5 % вероятности переполнения участка;
- допустимая часовая интенсивность каждого участка:  $\Psi_1^{CDO} = 29$  ВС/ч;  $\Psi_2^{CDO} = 31$  ВС/ч;  $\Psi_3^{CDO} = 30$  ВС/ч.

**Таблица 1**  
**Table 1**

Характер вероятностного распределения случайной величины количества ВС на n-м маршруте

The nature of the probability distribution of the random quantity of aircraft on the n-th route

$\lambda_{(k)}/n$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$P_{\lambda_{(1)}}$	0,004427147	0,02399513	0,0650268	0,11748178	0,159188	0,17256	0,155879	0,120695	0,081771	0,049244	0,02669	0,013151	0,00594	0,002476	0,000959	0,000346	0,000117	3,74E-05	1,13E-05	3,21E-06	8,71E-07
$P_{\lambda_{(2)}}$	1,9796E-05	0,0002144	0,001161	0,00419107	0,011347	0,024578	0,044364	0,068637	0,092918	0,111811	0,121091	0,11922	0,107596	0,089636	0,06934	0,050063	0,033886	0,021588	0,012989	0,007403	0,004009
$P_{\lambda_{(3)}}$	0,00211225	0,01301148	0,0400754	0,08228807	0,126724	0,156124	0,160287	0,141052	0,10861	0,074338	0,045792	0,025644	0,013164	0,006238	0,002745	0,001127	0,000434	0,000157	5,38E-05	1,74E-05	5,37E-06

Характер вероятностного распределения случайной величины количества ВС на маршруте (n) представлен в табл. 1, где по горизонтали приведены вероятности нахождения на маршруте соответственно от 0 до 20 ВС. По данным табл. 1 определим вероятность попадания ВС на элементарный участок  $\ell$  на каждом маршруте с учетом равномерного распределения случайной величины. Данные представлены в табл. 2.

Перемножив значения вероятностей попадания n ВС на элементарный участок  $\ell$ , получим характеристику потока для трех маршрутов (рис. 3). Как видно из рис. 3, максимальное значение эта вероятность принимает при n = 7 ВС.

Это однозначно указывает на условие образования очереди на «тромбоне» на первой итерации (3).

$$\Omega_{тр}^1 > 1. \tag{3}$$

Таблица 2  
Table 2

Вероятность попадания ВС на элементарный участок  $\ell$  для каждого маршрута  
The probability of an aircraft falling on an elementary segment  $\ell$  for each route

$\ell_{(k)}/n$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$P\ell^{(1)}$	0,004427147	0,00119976	0,0065027	0,017622267	0,031838	0,04314	0,046764	0,042243	0,032708	0,02216	0,013345	0,007233	0,003564	0,00161	0,000671	0,00026	9,39E-05	3,18E-05	1,01E-05	3,05E-06	8,71E-07
$P\ell^{(2)}$	1,9796E-05	1,072E-05	0,0001161	0,00062866	0,002269	0,006145	0,013309	0,024023	0,037167	0,050315	0,060546	0,065571	0,064557	0,058263	0,048538	0,037547	0,027109	0,01835	0,01169	0,007033	0,004009
$P\ell^{(3)}$	0,00211225	0,00065057	0,0040075	0,012343211	0,025345	0,039031	0,048086	0,049368	0,043444	0,033452	0,022896	0,014104	0,007898	0,004054	0,001921	0,000845	0,000347	0,000134	4,84E-05	1,66E-05	5,37E-06



Рис. 3. Вероятностное распределение случайной величины нахождения n ВС на элементарном участке  $\ell$  на первой итерации

Fig. 3. Probabilistic distribution of the random value of n aircraft location on the elementary segment  $l$  at the first iteration

На второй итерации необходимо учесть значения  $\lambda^{1(i)}$  в  $\Psi_i^{CDO-1}$  и повторить вычисления  
 –  $\Psi_1^{CDO-2} = 23,58$ ;  $\Psi_2^{CDO-2} = 20,17$ ;  $\Psi_3^{CDO-2} = 23,84$ ;  
 –  $\lambda^2_{(1)} = 4,32$ ;  $\lambda^2_{(2)} = 6,72$ ;  $\lambda^2_{(3)} = 4,96$ .

На рис. 4 представлена вероятностная характеристика на второй итерации задачи. Из рис. 4 видно, что наиболее вероятное значение количества ВС на участке снизилось до пяти. Итерационным путем определяем длину участка стабилизации на «тромбоне». В результате расчетов на 6-й итерации рост очереди прекратился, а с 9-й итерации очередь начала уменьшаться. В целом для погашения очереди с учетом (3) понадобилось 15 итераций.

Результаты расчетов показывают, что при суммарной ИВД = 90 ВС/час рабочая площадь «тромбона»  $S^{TP}$  для трех маршрутов прибытия (рис. 2) с учетом (2), (3) и ширины «тромбона» 10 км составляет не более 750 км<sup>2</sup>.



Рис. 4. Вероятностное распределение случайной величины нахождения n ВС на элементарном участке  $\ell$  на второй итерации

Fig. 4. Probabilistic distribution of the random value of n aircraft location on the elementary segment  $\ell$  at the second iteration

Методика расчета вероятностных характеристик обслуживания самолетов на схеме типа «веер» сводится к определению потребной длины дуги ( $L^B$ ) и радиуса ( $R^B$ ). Длина дуги «веера» должна позволять погасить образовавшуюся очередь, т. е. по результатам решения задачи:

- $L^B = 150$  км;
- $R^B = \frac{L^B 180}{\pi \theta}$ , где  $\theta = 120^\circ$  (наиболее удобный угол разворота «веера»);
- $S^B = 0,5 L^B R^B = 0,5 \cdot 150 \cdot 71,65 = 5374$  км<sup>2</sup>.

Данный результат соответствует условию построения участков стандартных маршрутов на дуге «веера» с одной стороны, для попутных потоков. На классической схеме эти участки строятся с двух сторон, и потоки движения воздушных судов следуют навстречу друг другу. Следовательно, по аналогии с «тромбоном» в этом случае длина дуги «веера» для двух встречных маршрутов равна половине расчетной.

- $L^B = 75$  км;
- $R^B = \frac{L^B 180}{\pi \theta}$ , где  $\theta = 120^\circ$  (наиболее удобный угол разворота «веера»);
- $S^B = \pi (R^B)^2 \theta / 360 = 0,5 \cdot 75 \cdot 35,85 = 1344$  км<sup>2</sup>.

Для иллюстрации данной ситуации проведем имитацию моделирования [7, 9] поступления потока воздушных судов на односторонний и классический «веера». По условиям вероятностного распределения в момент  $t_1$  на «веер» поступает 7 ВС, в момент  $t_2$  – 5 ВС, в момент  $t_3$  – 3 ВС, в момент  $t_4$  – 1 ВС, в качестве математического ожидания. Всего за 4 отрезка времени поступило 16 ВС. В табл. 3 представлено моделирование освобождения дуги «веера» из  $L^i$  участков при одностороннем движении ВС (левая часть) и классическом – встречном движении ВС (правая часть) при условии, что первоначально «веер» свободен от ВС.

Таблица 3  
Table 3

Имитация модели освобождения очереди на «веере» при попутном и встречном направлениях движения воздушных судов  
Simulation of the queue release model on the "point merge" for the same and opposite direction traffic

T\L	Одностороннее направление движения ВС на дуге «веера»														Встречное движение ВС на дуге «веера»							
	$\rho^1$	$\rho^2$	$\rho^3$	$\rho^4$	$\rho^5$	$\rho^6$	$\rho^7$	$\rho^8$	$\rho^9$	$\rho^{10}$	$\rho^{11}$	$\rho^{12}$	$\rho^{13}$	$\rho^{14}$	$\rho^1$	$\rho^2$	$\rho^3$	$\rho^4$	$\rho^5$	$\rho^6$	$\rho^7$	
$t_1$	7														4							
$t_2$	5	6																				3
$t_3$	3	5	5												2	3						
$t_4$	1	3	5	4																2	3	
$t_5$		1	3	5	3										2	2	2					
$t_6$			1	3	5	2											1	1	3	1		
$t_7$				1	3	5	1								1	2	2	1				
$t_8$					1	3	5	0										0	3	1		
$t_9$						1	3	4								1	2	2	0			
$t_{10}$							1	3	3									2	1			
$t_{11}$								1	3	2								1	2	1		
$t_{12}$									1	3	1							1	1			
$t_{13}$										1	3	0							1	2	0	
$t_{14}$											1	2					0	1				
$t_{15}$												1	1							1	1	
$t_{16}$													1	0		0	1					
$t_{17}$														0							1	

Из правой части таблицы видно, что 16 ВС поступают в момент  $t_1$  – с левой стороны «веера» 4 ВС, с правой 3 ВС, в момент  $t_2$  – с левой стороны 2 ВС, с правой стороны 3 ВС, в момент  $t_3$  – с левой стороны 2 ВС, с правой 1 ВС, в момент  $t_4$  – 1 ВС с правой стороны. Из таблицы видно, что и в обоих случаях возмущение потока ВС гасится за 17 итераций, но во втором случае требуется в два раза меньше элементарных участков на дуге «веера».

Расчеты показывают, что схема типа «громбон» значительно эффективнее (в 7 раз) схемы типа «веер» с углом разворота  $\theta = 120^\circ$  при попутном направлении потока движения ВС на дуге, и в 1,8 раза при классической схеме организации движения потока прилетных ВС на «веере». В то же время за счет применения радиуса в качестве линии пути для движения ВС и разворота на угол  $90^\circ$  (в отличие от «громбона», где угол разворота равен  $180^\circ$ ) средняя длина маршрута задержки на «веере» будет меньше, чем на «громбоне».

В выводах необходимо отметить, что практическое обеспечение режима постоянного снижения потребует увеличения участка  $l$  на участках CDO стандартных маршрутов прилета, что обязательно скажется на предельной часовой интенсивности воздушного движения. При превышении расчетной ИВД потребуются организация маршрутов alpha и bravo, совмещенных друг с другом по горизонтали для обеспечения целостности прилетного потока. Для «тромбона» эта задача будет сведена к построению участков CDO друг над другом с соблюдением вертикального эшелонирования. При этом длина «тромбона» на маршрутах bravo увеличится на расчетную величину. На схеме типа «веер» организовать маршруты bravo без нарушения целостности потока не представляется возможным.

Данная методика носит универсальный характер и справедлива для любых типов стандартных маршрутов прибытия.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Борсоев В.А.** Принятие решения в задачах управления воздушным движением. Методы и алгоритмы / Г.Н. Лебедев, В.Б. Малыгин, Е.Е. Нечаев, А.О. Никулин, Пхон Чжо Тин. М.: Радиотехника, 2018. 432 с. С. 37–92.
2. **Лебедев Г.Н., Малыгин В.Б.** Способ упорядочения потока движения ВС по типу «тромбон» с обратным расположением полезной зоны маневрирования // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 221. С. 138–143.
3. **Чехов И.А., Чехов О.И.** Алгоритм формирования динамической очереди БПЛА при заходе на посадку // Научный Вестник МГТУ ГА. 2017. Т. 20, № 4. С. 25–30.
4. **Малыгин В.Б., Нечаев Е.Е.** Метод снижения конфликтности на стандартных маршрутах вылета и прибытия // Научный Вестник МГТУ ГА. 2014. № 209. С. 117–123.
5. **Турков А.Н., Чехов И.А., Нечаев Е.Е.** Вероятностный метод определения пропускной способности в системе УВД // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 221. С. 148–152.
6. **Пятко С.Г.** Повышение эффективности управления воздушным движением в Московской зоне ЕС ОрВД [Электронный ресурс] // Aviation explorer. Режим доступа: <https://www.aex.ru/docs/4/2017/12/22/2701> (дата обращения: 22.12.2017).
7. **Людмир А.В., Орлов В.С.** Имитационное моделирование динамической воздушной обстановки в управляемом воздушном пространстве // Прикладная информатика. 2014. № 5(53). С. 89–97.
8. **Золотухин В.В., Исаев В.К., Давидсон Б.Х.** Некоторые актуальные задачи управления воздушным движением // Труды МФТИ. 2009. Т. 1, № 3. С. 94–114.
9. **Обухов Ю.В.** Применение имитационного моделирования для оценки безопасности полетов / А.С. Попов, В.С. Орлов, А.О. Котова // Труды МАИ. 2015. № 81. С. 1–4.
10. **Ozlem S.M.** Optimum arrival routes for flight efficiency // Journal of Power and Energy Engineering. 2015. № 3. С. 449–452.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

**Малыгин Вячеслав Борисович**, начальник тренажерного центра кафедры управления воздушным движением Московского государственного технического университета гражданской авиации, mbv898@ya.ru.



## METHODOLOGY OF MAINTENANCE OF ARRIVAL FLOW INTEGRITY BASED ON THE CHARACTERISTICS OF THE PERMANENT REDUCTION MODE

Vyacheslav B. Malygin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

The study was conducted with support of the Russian Foundation for Basic Research,  
grant № 16-08-00070

### ABSTRACT

The article deals with the technique of constructing standard arrival routes using the CDO profile in the airspace of the "approach" zone with increased air traffic intensity. The methodology for calculating the effective values of airspace structure elements is based on the probabilistic characteristics of the arrival flow, on the basis of which the required working areas of the «trombone» and «point merge» are determined in an iterative way in order to maintain the CDO regime. As a result of the application of this technique, an exemplary structure is presented from three standard arrival routes for Sheremetyevo Airport, in which trombones are used on the final sections of the arrival route. The calculation of the probabilistic characteristics of the unimportant functioning of a «trombone» («point merge») is made proceeding from the Poisson law of the arrival flow of the aircraft for each route and the uniform distribution of the random value of the aircraft entry of all routes to an elementary common segment (l). A comparative evaluation of the efficiency of the «trombone» and «point merge» circuits on the working area is made on the basis of the characteristics of the aircraft traffic flow. An important result is obtained, mainly on the «trombone» type, not only on the efficiency of airspace use, but also on the integrity characteristics of the aircraft arrival required for CDO. The obtained results are confirmed by the simulation carried out under the conditions of the problem. In conclusion, the conditions for the practical provision of a constant reduction regime at CDO sections of the standard arrival routes are presented, which includes the exceedance of the calculated ATM, and measures are proposed to minimize the negative consequences from such disturbances of the incoming flow.

**Key words:** flight in constant decent operation (CDO), flight safety, standard arrival route (STAR).

### REFERENCES

1. Borsoev, V.A., Lebedev, G.N., Malygin, V.B., Nechaev, E.E., Nikulin, A.O. and Tin, Pkhon Chzho. (2018). *Prinyatie resheniya v zadachakh upravleniya vozдушным движением. Metody i algoritmy* [Decision Making in Air Traffic Management Tasks. Methods and Algorithms]. Moscow: Radiotekhnika, 432 p., pp. 37–92. (in Russian)
2. Lebedev, G.N. and Malygin, V.B. (2015). *Sposob uporyadocheniya potoka dvizheniya VS po tipu «trombon» s obratnym raspolozheniem poleznoi zoni manevrirovaniya* [A way to streamline the flow of aircraft in the type of «trombone» with the reverse location of the useful maneuvering area]. Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, no. 221, pp. 138–143. (in Russian)
3. Chekhov, I.A. and Chekhov, O.I. (2017). *Algoritm formirovaniya dinamicheskoy ocheredi BPLA pri zakhode na posadku* [Algorithm for the formation of a dynamic queue of UAVs at the approach]. Civil Aviation High Technologies, vol. 20, no. 4, pp. 25–30. (in Russian)
4. Malygin, V.B. and Nechaev, E.E. (2014). *Metod snizheniya konfliktnosti na standartnikh marshrutakh vyleta i pribytiya* [Method of conflict resolution on standard departure and arrival routes]. Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, no. 209, pp. 117–123. (in Russian)
5. Turkov, A.N., Chekhov, I.A. and Nechaev, E.E. (2015). *Veroyatnostnyy metod opredeleniya propusknoy sposobnosti v sisteme UVD* [Probabilistic method for determining the capacity in

the ATC system]. Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, no. 221, pp. 148–152. (in Russian)

**6. Pyatko, S.G.** (2017). *Povishenie effektivnosti upravleniya vozdushnim dvizheniem v Moskovskoy zone ES OrVD* [Improving the efficiency of air traffic management in Moscow zone of the ATM]. Aviation explorer. URL: <https://www.aex.ru/docs/4/2017/12/22/2701> (available at: 22.12.2017). (in Russian)

**7. Lyudomir, A.V. and Orlov, V.S.** (2014). *Imitatsionnoe modelirovanie dinamicheskoy vozdushnoy obstanovki v upravlyaemom vozdushnom prostranstve* [Simulation modeling of dynamic air conditions in controlled airspace]. *Prikladnaya informatika* [Applied Informatics], vol. 5, no. 53, pp. 89–97. (in Russian)

**8. Zolotukhin, V.V., Isaev, V.K. and Davidson, B.Kh.** (2009). *Nekotorye aktualnye zadachi upravleniya vozdushnym dvizheniem* [Some actual problems of air traffic control]. Proceedings of MIPT, vol. 1, no. 3. pp. 94–114. (in Russian)

**9. Obukhov, Yu.V., Popov, A.S., Orlov, V.S. and Kotova, A.O.** (2015). *Primenenie imitatsionnogo modelirovaniya dlya otsenki bezopasnosti poletov* [Application of simulation modeling for flight safety assessment]. *Trudy MAI* [Proceedings of MAI], no. 81, pp. 1–4. (in Russian)

**10. Ozlem, S.M.** (2015). *Optimalnie marshruty pribytiya dlya povisheniya effektivnosti* [Optimum arrival routes for flight efficiency]. Journal of Power and Energy Engineering, no. 3, pp. 449–452.

#### INFORMATION ABOUT AUTHOR

**Vyacheslav B. Malygin**, Head of the Training Center of the Air Traffic Management Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, mbv898@ya.ru.

Поступила в редакцию 16.03.2018  
Принята в печать 18.09.2018

Received 16.03.2018  
Accepted for publication 18.09.2018