

УДК № 629.7.067

DOI: 10.26467/2079-0619-2021-24-6-17-26

ПРИМЕНЕНИЕ КОНСТРУКТОРА ЗОНАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СТАНДАРТНЫХ МАРШРУТОВ ПРИБЫТИЯ В АЭРОПОРТ ШЕРЕМЕТЬЕВО

Г.А. ГАСПАРЯН¹, М.В. КУЛАКОВ¹

¹Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия

Для упорядочения движения прибывающих воздушных судов органами обслуживания воздушного движения устанавливаются зоны ожидания. Одной из основных целей применения зон ожидания является увеличение длины маршрута полета ВС, что позволяет более эффективно организовать очередность на маршрутах прибытия. В статье рассматриваются текущие способы и предлагаются новые идеи повышения эффективности организации прибывающего потока путем применения конструктора зональной навигации с использованием типов участков маршрута вида Holding to Altitude (НА) для стандартных маршрутов прибытия в аэропорт Шереметьево. В качестве основного предложения по оптимизации организации воздушного движения на данном этапе и снижения нагрузки на диспетчера предлагается создание маршрутов в дополнение к текущим с включением в них зон ожидания, которые будут использоваться при необходимости для создания упорядоченного потока. Вероятностным методом рассчитана предельная пропускная способность существующих и предложенных маршрутов прибытия с использованием зон ожидания. Приведены предложенные варианты реструктуризации воздушного пространства Московского узлового диспетчерского района с сохранением точек начала стандартных маршрутов прибытия.

Ключевые слова: организация воздушного движения, зоны ожидания, ИКАО, воздушное пространство, навигация, зональная навигация, точность.

ВВЕДЕНИЕ

В секторах Московского аэроузлового диспетчерского центра можно допустить возникновение возмущения потока прибытия, которое выражается в высокой интенсивности воздушного движения (ИВД), что существенно загружает диспетчерский состав. Особую сложность при УВД в секторах подхода представляет интенсивность прилетающих воздушных судов (ВС), т. к. они находятся в снижении, и существует вероятность конфликта с другими прибывающими судами. Это видно на примере организации прибытия в аэропорт Шереметьево. В статье будут предложены варианты повышения эффективности применения зон ожидания на случай превышения пропускной способности с использованием различных участков пути Path Terminators^{1,2,3} [1, 2].

ИЗМЕНЕНИЕ МАРШРУТОВ ПРИБЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЧАСТКОВ НА

Маршруты вылета и прибытия зональной навигации формируются из точек пути WP и участков пути между ними. Для перевода текстового описания схем в кодовую форму, приемлемую для навигационных систем, применяется концепция Path and Terminator (траектория и указатель ее окончания). Для целей RNP следует использовать поднабор из шести указателей окончания траекторий: IF, TF, RF, NM, HF и НА, который будет рассмотрен в данной статье [3].

¹ Федеральные авиационные правила «Организация воздушного движения в Российской Федерации», приказ МИНТРАНСА от 25.11.2011, № 293, 2011. 139 с.

² Doc. ICAO 9613-AN/937: Руководство по навигации, основанной на характеристиках (PBN). 3-е изд. // ИКАО, 2008. 304 с.

³ Doc. ICAO 8168: Производство полетов воздушных судов. Т. II. Построение схем визуальных полетов и полетов по приборам. 4-е изд. // ИКАО, 2006. 386 с.

На подавляющем большинстве маршрутов используются только участки track-to-fix (TF). Они просты для выполнения и не требуют дополнительных расчетов при составлении маршрутов. Остальные указатели окончания траектории пока не получили широкого распространения вследствие трудностей их программирования в FMS воздушных судов разных производителей и получения соответствующих допусков [4].

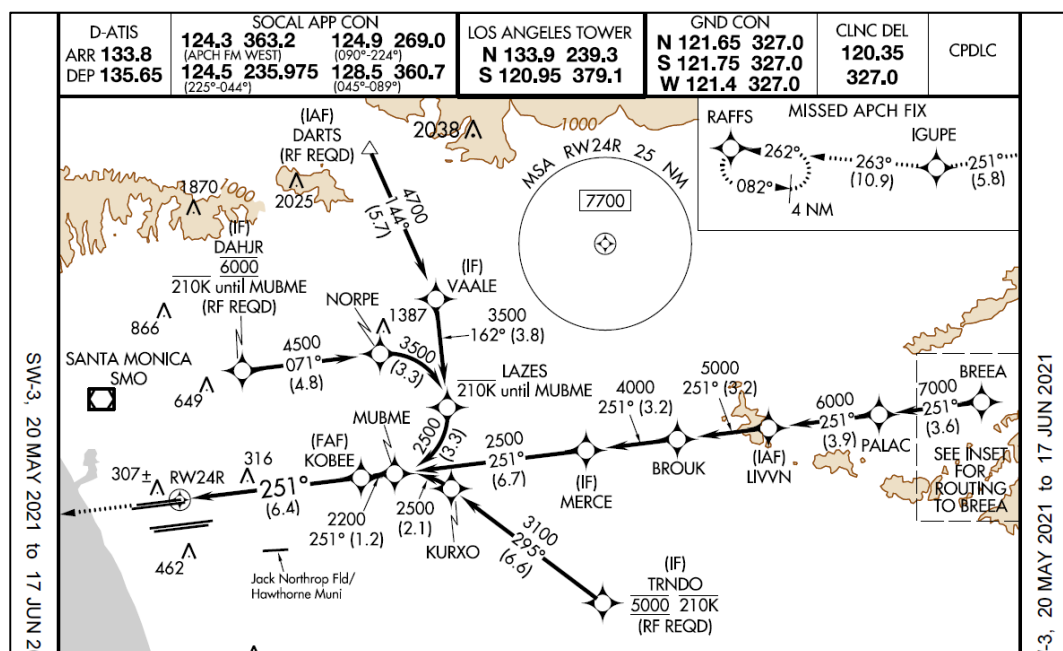


Рис. 1. Маршрут с использованием участка RF
Fig. 1. RF leg route

В настоящее время указанные недостатки постепенно устраняются, следовательно, появляются возможности для внедрения остальных типов участков маршрута. Например, в Новой Зеландии и США уже применяются участки типа radius-to-fix (полет по дуге к точке) на схемах начального этапа захода на посадку (рис. 1, от точки NORPE)⁴. Тем не менее общая доля применения указанных процедур во всем мире остается незначительной⁵.

Предложение заключается в альтернативном удлинении маршрутов прибытия путем использования конструктора зональной навигации и внедрения зон ожидания, выполненных по типу HA – Holding to Altitude, т. е. процедура ожидания отменяется при достижении установленной высоты (эшелона полета). В этом случае маршрут будет довольно компактно располагаться в горизонтальной плоскости, но его технологическая вместимость будет относительно высока. Располагаться зоны ожидания будут в отдельных точках и использоваться лишь в случае внезапной перегрузки конечного участка STAR. После зоны ожидания следует участок Direct flight на точку WP, т. к. судно может достичь установленной высоты в любом месте зоны ожидания^{6,7} [5, 6–9].

⁴ Los Angeles International Airport [Электронный ресурс] // SkyVector. 2021. URL: <https://skyvector.com/airport/LAX/Los-Angeles-International-Airport> (дата обращения: 16.10.2021).

⁵ New Zealand AIP [Электронный ресурс] // AIP New Zealand. 2021. URL: <https://www.aip.net.nz/> (дата обращения: 16.10.2021).

⁶ Performance-based Navigation (PBN) Implementation and Usage [Электронный ресурс] // Federal Aviation Administration. 2021. URL: https://www.faa.gov/air_traffic/community_involvement/dashboard/ (дата обращения: 12.08.2021).

⁷ Распределение Пуассона дискретной случайной величины [Электронный ресурс] // FUNCTION (x). 2018. URL: https://function-x.ru/probabilities_distribution_poisson.html (дата обращения: 12.08.2021).

Для эффективного использования зон ожидания с НА необходимо учитывать ряд особенностей. Нормальная работа таких зон ожидания предусматривает постоянное снижение (CDO) с одинаковой вертикальной скоростью для всех ВС. Поступательная скорость судов может отличаться ($W_1 \neq W_2$), и это надо учитывать при построении (рис. 2). Воздушные суда завершат выполнять зону ожидания в разных точках, поэтому на выходе из нее должна быть возможность занятия судами минимум двух эшелонов для их бесконфликтного полета по участку Direct Flight [10, 11].

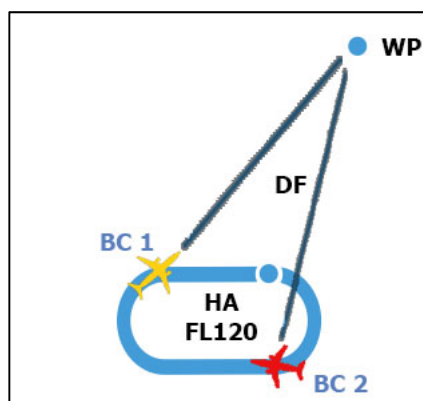


Рис. 2. Зона ожидания вида Holding to Altitude
Fig. 2. Holding to Altitude holding area

На рис. 3 и 4 представлены зоны ожидания, которые предлагается использовать для стандартных маршрутов посадки на оба посадочных курса. Направления входа в Московский аэроузловой диспетчерский центр (МАДЦ) оставлены согласно основным маршрутам прибытия, однако ставить на каждый из них свою зону ожидания нецелесообразно – зоны ожидания имеют большую дискретность (минимум 2 мин, за это время ВС проходит примерно 13 км), и необходимый минимальный интервал на посадку (менее 10 км) обеспечить будет крайне сложно. Для прибытия на взлетно-посадочную полосу (ВПП) 06 предлагается реализация двух зон ожидания вида Holding to Altitude:

- а) западная – в 85 км юго-западнее Шереметьево для маршрутов из точки DIPOR, точка входа FK001, направления прибытия – запад;
- б) восточная – 65 км восточнее Шереметьево, маршруты из OLOPI и DIMGI, точка входа MF001, направления прибытия – восток и юго-восток.

Предельная интенсивность для существующих и предложенных маршрутов рассчитывается по закону Пуассона (1), (2). Определяется маловероятное событие: попадание на элементарный участок l (не менее 10 км) одновременно m воздушных судов. Вероятность наступления маловероятного события не должна превышать 5 %. Расчетные формулы:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

$$\lambda t = a = (\text{ИВД}_{\text{час}} \cdot l) / W_{\text{ср}}, \quad (2)$$

где m – количество воздушных судов на участке l ; a – параметр закона Пуассона, $W_{\text{ср}}$ – средняя скорость на участке маршрута (исходя из сборников AIP).

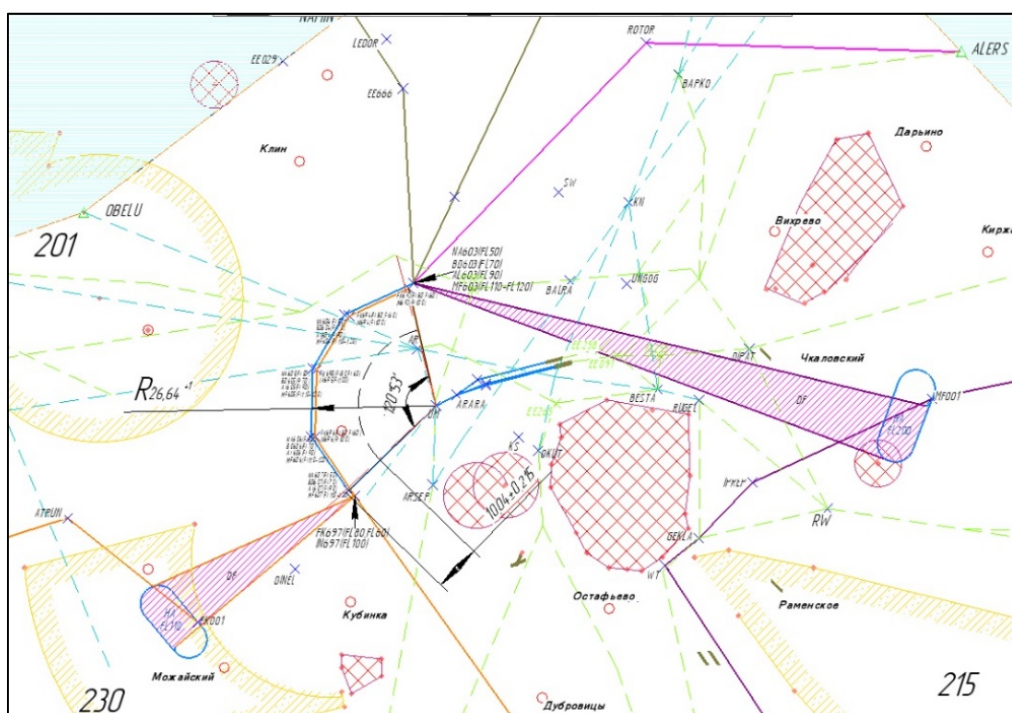


Рис. 3. Предложения для организации прибытия на ВПП 06
Fig. 3. Proposals for arrival arranging on RWY 06

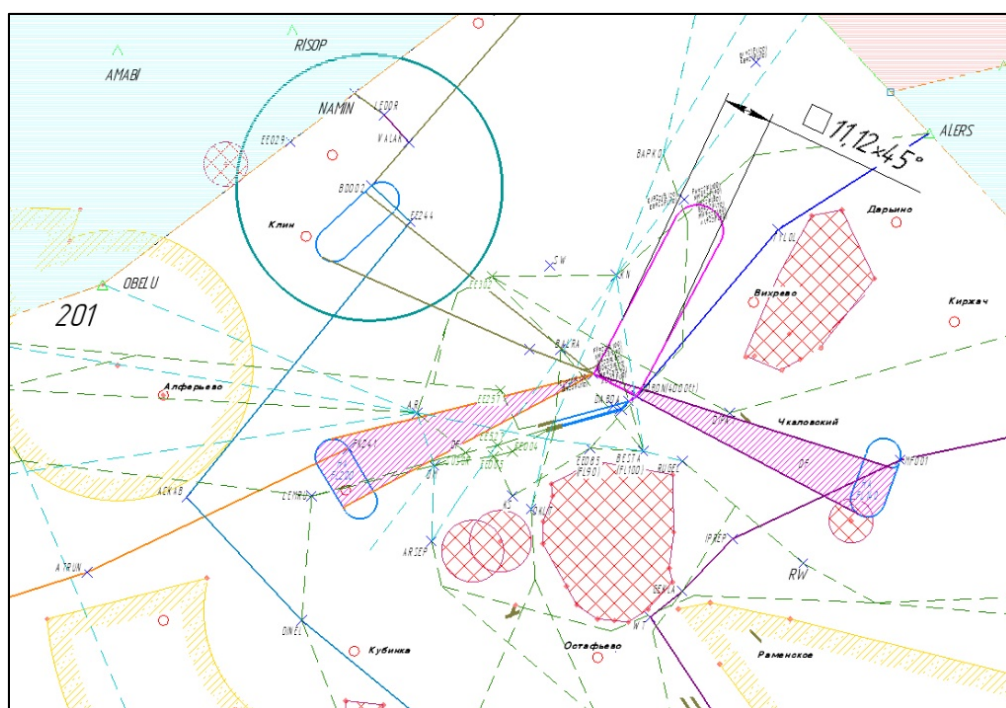


Рис. 4. Предложения для организации прибытия на ВПП 24
Fig. 4. Proposals for arrival arranging on RWY 24

Далее определяются вероятности попадания на l_i поочередно 0, 1, 2, ... ВС. Итерационным путем определяется количество ВС, которые могут с вероятностью, близкой к $P = 0,05$, попасть на следующий элементарный участок. Таким образом, с вероятностью 95 % не сможет

возникнуть возмущение потока хуже расчетного. Рассматривается обратная задача, так как длины существующих и предложенных маршрутов известны. Исходя из этого, определяется интенсивность при заданной вероятности⁸ [4, 12, 13, 14].

Пример расчета пропускной способности

В качестве примера произведем вероятностный расчет пропускной способности существующего маршрута НСВП ДИРОР 1F. Рассчитывается предельная часовая интенсивность ($\lambda_{\text{час}}$), при которой маршрут не будет перегружен с вероятностью не более 5 % ($P_{k \text{ max}}$).

Поток поступающих на обслуживание воздушных судов принимается пуассоновским. Рассчитывается критическая интенсивность с момента входа ВС на начало маршрута до достижения контрольной точки начального этапа захода на посадку, используя (1). Длина STAR по сумме расстояний между точками S:

FK – LASRA – RUBET – EE500 – DUFAR

S = 67 км

Рассчитывается средняя истинная скорость (переводим из приборной) и среднее время нахождения на маршруте:

$$V_{\text{ср}} = 558 \text{ км/ч} = 9,3 \text{ км/мин},$$

$$t = \frac{67}{9,3} = 7,2 \text{ мин.}$$

При расчетах учитывается время в часах, то есть найденное t потребуется разделить на 60.

Определяется количество ВС, которые одновременно могут находиться на маршруте. Для этого делим длину маршрута S на минимальный интервал l и вычитаем единицу. Полученное значение округляем до целого:

$$k = \frac{67}{10} - 1 = 5 \text{ ВС.}$$

Все исходные данные рассчитаны. Часовая ИВД λ рассчитывается таким образом, чтобы независимо от расположения внутри интервала 31,58 мин в него не могли попасть 29 ВС. При этом вероятность P_{max} не должна превышать 0,05:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}.$$

Согласно расчетам $a = \lambda t / 60 = 12,5$ (время в минутах, требуется перевод в часы). Из этого часовая ИВД по маршруту:

$$\lambda = 24 \text{ ВС/ч};$$

при этом вероятности:

$$P_{18} = 0,0781,$$

$$P_{19} = 0,0641,$$

$$P_{20} = 0,0499.$$

⁸ Распределение Пуассона дискретной случайной величины [Электронный ресурс] // FUNCTION (x). 2018. URL: https://function-x.ru/probabilities_distribution_poisson.html (дата обращения: 12.08.2021).

Таким образом, при часовой интенсивности 46 ВС в час на данном отрезке маршрута не возникнет технологическая перегрузка.

Аналогичным образом производятся расчеты для предложенных маршрутов с зонами ожидания НА (обозначены как -3S и -3P соответственно, изображены на рис. 3–4). Полученные результаты сведены в табл. 1–2.

Таблица 1

Table 1

Предельная ИВД для предложенных STAR в Шереметьево для ВПП 06
Maximum air traffic intensity for the proposed STAR at Sheremetyevo for runway 06

STAR	Длина, км	Предельная ИВД, ВС/ч
DIPOP 3S	195,8	42
NAMIN 3S	154,8	33
ROMTA 3S	208,54	35
DIMGI 3S	263,79	42
OLOPI 3S	381,6	52
BUKUB 3S	230,6	42

Таблица 2

Table 2

Предельная ИВД для предложенных STAR в Шереметьево для ВПП 24
Maximum air traffic intensity for the proposed STAR at Sheremetyevo for runway 24

STAR	Длина, км	Предельная ИВД, ВС/ч
DIPOP 3P	259,98	57
NAMIN 3P	174,53	39
ROMTA 3P	215	40
DIMGI 3P	224,84	39
OLOPI 3P	330,83	51
BUKUB 3P	367,31	50

Для подтверждения эффективности такого метода организации воздушного пространства рассматриваются аналогичные маршруты без использования зон ожидания. Существуют следующие варианты: создание «короткого» прямого маршрута сразу к КТ начального этапа захода или достижение полученной пропускной способности путем увеличения длины маршрута в горизонтальной плоскости.

Указанные маршруты представлены на рис. 5. Пропускная способность прямого маршрута (оранжевый цвет) составила 23 ВС/ч, следовательно, основная задача по организации потока прибытия возложена на диспетчеров РЦ, что при интенсивном движении может быть проблематично.

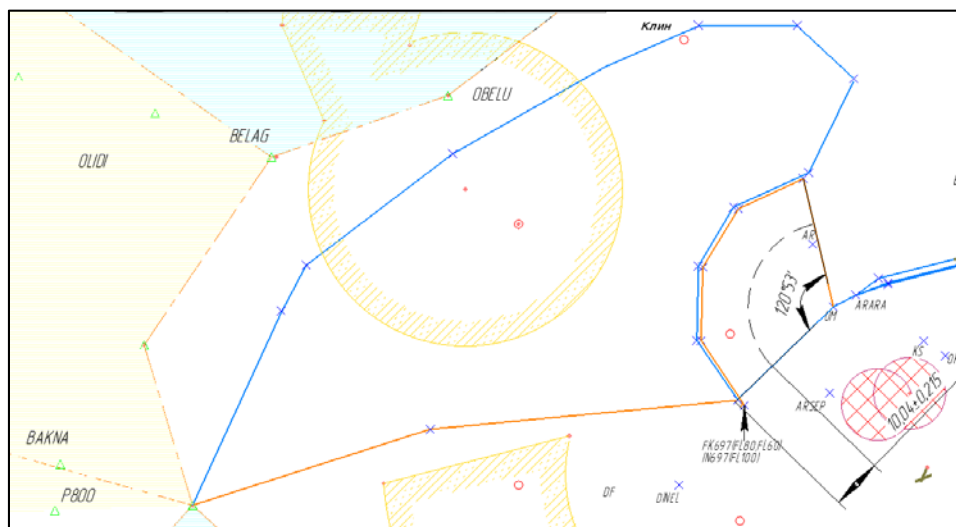


Рис. 5. Альтернативные варианты организации прибытия
Fig. 5. Alternative arrival arrangements variants

Пропускная способность удлиненного маршрута без зоны ожидания (синий) составила 44 ВС/ч, что близко к предельной интенсивности маршрута с зонами ожидания. Однако данный маршрут существенно «растянут» по всей зоне МАДЦ, что создаст дополнительные конфликтные точки с маршрутами вылета, в то же время расход топлива останется без существенных изменений [15, 16, 17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение зон ожидания, выполненных по стандартному участку пути зональной навигации вида Holding to Altitude, показало положительные результаты при моделировании и расчетах. Повышение эффективности использования воздушного пространства осуществляется за счет ожидания и снижения над одной точкой вместо построения протяженной схемы прибытия. Выигрыш в пропускной способности путем удлинения маршрута прибытия получился невелик – порядка 1–2 ВС/ч, например, маршруты NAMIN 1F (существующий STAR, опубликован в сборнике AIP) и NAMIN 3S при схожей длине имеют одинаковую предельную интенсивность, однако снизилось число потенциальных конфликтных мест (с 4 до 2) с маршрутами вылета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малыгин В.Б. Методика поддержания целостности потока прибытия на основе характеристик режима постоянного снижения // Научный Вестник МГТУ ГА. 2018. Т. 21, № 5. С. 33–42. DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-5-33-42
2. Липин А.В., Ключников Ю.И. Применение зональной навигации при обслуживании воздушного движения: учеб. пособие. СПб.: Университет ГА, 2008. 78 с.
3. Бочкарев В.В., Кравцов В.Ф., Крыжановский Г.А. и др. Концепция и системы CNS/ATM в гражданской авиации / Под ред. Г.А. Крыжановского. М.: Академкнига, 2003. 414 с.
4. Севастьянов Б.А. Предельный закон Пуассона в схеме сумм зависимых случайных величин // Теория вероятностей и ее применения. 1972. Т. 17, вып. 4. С. 733–738.
5. Борсоев В.А. Принятие решения в задачах управления воздушным движением. Методы и алгоритмы / В.А. Борсоев, Г.Н. Лебедев, В.Б. Малыгин, Е.Е. Нечаев, А.О. Никулин, Тин Пхон Чжо / Под ред. Е.Е. Нечаева. М.: Радиотехника, 2018. 432 с.

6. Стулов А.В., Кириков Ю.Н., Карасев К.В. Проблемы внедрения и использования спутниковых навигационных технологий в гражданской авиации России // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 30. С. 158–165.
7. Корчагин В.А., Кушельман В.Я., Стулов А.В. Опыт применения глобальных спутниковых навигационных систем в гражданской авиации. Спутниковые технологии и бизнес // Connect! Мир информационных технологий. 2013. № 12. С. 20–23.
8. Кушельман В.Я., Стулов А.В. Реализация концепции PBN ИКАО в гражданской авиации России // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2015. № 7 (318). С. 74–80.
9. Малыгин В.Б., Нечаев Е.Е. Метод снижения конфликтности на стандартных маршрутах вылета и прибытия // Научный Вестник МГТУ ГА. 2014. № 209. С. 124–128.
10. Herndon A.A., Cramer M., Sprong K. Analysis of advanced Flight Management Systems (FMS), Flight Management Computer (FMC) field observations trials, Radius-to-Fix path terminators // IEEE/AIAA 27th Digital Avionics Systems Conference, 2008. P. 2.A.5-1–2.A.5-15. DOI: 10.1109/DASC.2008.4702775
11. Grewall M., Weill L.R., Andrews A.P. Global navigation satellite systems, inertial navigation, and integration. 3rd ed. Wiley-Interscience, 2013. 608 p.
12. Артеменко И.А. Основные количественные характеристики воздушного движения: метод. указания по выполнению лабораторной работы. Ульяновск: УВАУ ГА, 2005. 17 с.
13. Турков А.Н., Чехов И.А., Нечаев Е.Е. Вероятностный метод определения пропускной способности в системе УВД // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 221 (11). С. 148–152.
14. Кумков С.И., Пятко С.Г., Спиридонов А.А. Исследование стандартной и веерной схем задержки воздушных судов в зоне подхода // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2018. № 20 (331). С. 63–73.
15. Пятко С.Г. Повышение эффективности управления воздушным движением в Московской зоне ЕС ОрВД [Электронный ресурс] // Aviation Explorer. Содружество авиационных экспертов. URL: <https://www.aex.ru/docs/4/2017/12/22/2701> (дата обращения: 12.08.2021).
16. Дивак Н.И., Нечаев Е.Е. Анализ структуры воздушного пространства МВЗ // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 221 (11). С. 13–17.
17. Стулов А.В., Корчагин В.А., Иовенко Ю.А. Состояние внедрения спутниковых навигационных технологий в гражданской авиации России // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2016. № 15 (326). С. 14–20.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Гаспарян Григорий Арменович, студент магистратуры МГТУ ГА, grigory.rw@gmail.com.

Кулаков Михаил Викторович, аспирант МГТУ ГА, Диспетчер УВД, ЛИИ им. М.М. Громова, mihail-sev@mail.ru.

OPTIMIZATION OF STANDARD ARRIVAL PROCEDURES AT SHEREMETYEVO AIRPORT USING RNAV PATH TERMINATORS

Grigory A. Gasparyan¹, Mikhail V. Kulakov¹

¹*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia*

Holding patterns are established at international airports to make the arriving traffic flow smooth and efficient. One of the main aims of holding patterns is to extend the aircraft arrival route, which allows ATC units to arrange the sequence on the arrival routes more effectively. The article considers the current methods and offers new ideas to improve the efficiency of

the inbound traffic flow management using Paths and Terminators concept with HA holding patterns for standard arrival routes at Sheremetyevo Airport. As the main idea for optimizing air traffic management on this stage and reducing the workload on the controller, it is proposed to create extra routes in addition to the existing ones which include holding patterns, that will be used when needed to ensure a well-ordered traffic. The probabilistic method is used to calculate the maximum capacity of existing and proposed arrival routes with holding patterns. The proposed options for restructuring the airspace of the Moscow Terminal Control Area with preserving waypoints of starting standard arrival routes are presented.

Key words: air traffic management, holding patterns, ICAO, air space, navigation, area navigation, accuracy.

REFERENCES

1. **Malygin, V.B.** (2018). *Methodology of maintenance of arrival flow integrity based on the characteristics of the permanent reduction mode*. Civil Aviation High Technologies, vol. 21, no. 5, p. 33–42. DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-5-33-42 (in Russian)
2. **Lipin, A.V. and Klyuchnikov, Yu.I.** (2008). *Primeneniye zonalnoy navigatsii pri obsluzhivaniy vozdušnogo dvizheniya: uchebnoye posobiye* [The use of area navigation in air traffic services: Tutorial]. St.Petersburg: Universitet GA, 78 p. (in Russian)
3. **Bochkarev, V.V., Kravtsov V.F., Kryzhanovskiy G.A. and others.** (2003). *Kontseptsiya i sistemy CNS/ATM v grazhdanskoy aviatsii* [Civil Aviation CNS / ATM Concept and Systems], in Kryzhanovskiy G.A. (Ed.). Moscow: Akademkniga, 414 p. (in Russian)
4. **Sevast'yanov, B.A.** (1972). *Poisson limit law for a scheme of sums of dependent random variables*. Translated from Russian by S.M. Rudolfer (Ed.). Theory of Probability and its Applications, vol. 17, no. 4, p. 695–699. DOI: 10.1137/1117082
5. **Borsoyev, V.A., Lebedev, G.N., Malygin, V.B., Nechayev, E.E., Nikulin, A.O. and Tin Pkhon Chzho.** (2018). *Prinyatiye resheniya v zadachakh upravleniya vozdušnym dvizheniyem. Metody i algoritmy* [Decision making in tasks of the air traffic control. Methods and algorithms], in Nechaev E.E. (Ed.). Moscow: Radiotekhnika, 432 p. (in Russian)
6. **Stulov, A.V., Kirikov, Yu.N. and Karasev, K.V.** (2020). *Issues of implementation and use of satellite navigation technologies in Russian civil aviation*. Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation (GosNII GA), no. 30, p. 158–165. (in Russian)
7. **Korchagin, V.A., Kushelman, V.Ya. and Stulov, A.V.** (2013). *Opyt primeneniya globalnykh sputnikovykh navigatsionnykh sistem v grazhdanskoy aviatsii. Sputnikovyye tekhnologii i biznes* [Experience of global satellite navigation systems usage in civil aviation. Satellite technology and business]. Connect! Mir informatsionnykh tekhnologiy, no. 12, p. 20–23. (in Russian)
8. **Kushelman, V.Ya. and Stulov, A.V.** (2015). *The implementation of the concept icao pbn in the Russian civil aviation*. Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation (GosNII GA), no. 7 (318), p. 74–80. (in Russian)
9. **Malygin, V.B. and Nechaev, E.E.** (2014). *Method of reducing conflicts on standart departure and arrival routes*. Nauchny Vestnik MGTU GA, no. 209, p. 124–129. (in Russian)
10. **Herndon, A.A., Cramer, M. and Sprong, K.** (2008). *Analysis of advanced Flight Management Systems (FMS), Flight Management Computer (FMC) field observations trials, Radius-to-Fix path terminators*. IEEE/AIAA 27th Digital Avionics Systems Conference, p. 2.A.5-1–2.A.5-15, DOI: 10.1109/DASC.2008.4702775
11. **Grewall, M., Weill, L.R. and Andrews, A.P.** (2013). *Global navigation satellite systems, inertial navigation, and integration*. 3rd ed. Wiley-Interscience, 608 p.
12. **Artemenko, I.A.** (2005). *Osnovnyye kolichestvennyye kharakteristiki vozdušnogo dvizheniya: metod. ukazaniya po vypolneniyu laboratornoy raboty* [Basic quantitative characteristics of air traffic: method. instructions for performing laboratory work]. Ulyanovsk: UVAU GA, 17 p. (in Russian)

13. Turkov, A.N., Chekhov, I.A. and Nechaev, E.E. (2015). *Probabilistic method determine the capacity of the ATC system*. Nauchnyy Vestnik MGTU GA, no. 221 (11), p. 148–152. (in Russian)

14. Kumkov, S.I., Pyatko, S.G. and Spiridonov, A.A. (2018). *Investigation of standard and point-merge schemes of aircraft delay in approach zone*. Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation (GosNII GA), no. 20 (331), p. 63–73. (in Russian)

15. Pyatko, S.G. (2017). *Povysheniye effektivnosti upravleniya vozdushnym dvizheniyem v Moskovskoy zone YeS OrVD* [Improving the efficiency of air traffic management in Moscow zone of the ATM]. Aviation Explorer. Available at: <https://www.aex.ru/docs/4/2017/12/22/2701> (accessed: 12.08.2021). (in Russian)

16. Divak, N.I. and Nechaev, E.E. (2015). *Analysis of the proposed airspace structure of Moscow ATM*. Nauchnyy Vestnik MGTU G, no. 221 (11), p. 13–16. (in Russian)

17. Stulov, A.V., Korchagin, V.A. and Iovenko, Yu.A. (2016). *Implementation status of satellite navigation technologies in civil aviation of the Russian Federation*. Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation (GosNII GA), no. 15 (326), p. 14–20. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Grigory A. Gasparyan, Master's Degree Student, Moscow State Technical University of Civil Aviation, grigory.rw@gmail.com.

Mikhail V. Kulakov, Postgraduate Student, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Air Traffic Controller, Gromov Flight Research Institute, mihail-sev@mail.ru.

Поступила в редакцию 18.07.2021
Принята в печать 25.11.2021

Received 18.07.2021
Accepted for publication 25.11.2021