

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ПАРЫ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СРЕДСТВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

И.В. ОСТРОУМОВ

Национальный авиационный университет, Украина

Поступила в редакцию 1 февраля 2018

Аннотация. Достижение максимальных точностных характеристик зональной навигации воздушного судна возможно только при использовании оптимальной пары радионавигационных средств. В статье предложен алгоритм выбора оптимальной пары дальномерных, угломерных или угломерно-дальномерных радиомаяков, который основывается на типичной записи оптимизационной задачи с ее решением одним из методов целочисленного линейного программирования. Работоспособность предложенного алгоритма проверена путем имитационного моделирования с использованием траекторной информации.

Ключевые слова: местоположение, точность, оптимизация, линейное программирование, воздушное судно.

Abstract. An achievement of maximum accuracy characteristics of aircraft area navigation is possible only using the optimal pair of navigational aids. This paper considers proposed algorithm for choice of the optimal pair of distance, angular or angular-distance navigational aids, that is based on a typical record of an optimization problem with its solution by one of the integer linear programming methods. An efficiency of the proposed algorithm is verified by simulation using trajectory information.

Keywords: position, accuracy, optimization, linear programming, aircraft.

Doklady BGUIR. 2018, Vol. 113, No. 3, pp. 72-79

An algorithm for choosing the optimal pair of navigational aids in aircraft positioning

I.V. Ostroumov

Введение

Точное определение координат местоположения транспортного средства относится к одним из основных задач современных навигационных систем. На сегодняшний день глобальные спутниковые навигационные системы вместе с их функциональными дополнениями играют основную роль в определении координат местоположения летательного аппарата. Это обусловлено доступностью к использованию в глобальном масштабе и высокой точностью позиционирования в сравнении с другими существующими методами. Но спутниковым системам навигации присущи определенные недостатки, такие как зависимость от действия искусственных помех и интерференция с неправильно функционируемым оборудованием, что в некоторых случаях может стать причиной полной невозможности определения координат [1]. Задача определения местоположения летательного аппарата является особо актуальной на этапе взлета и посадки, поскольку от точности и доступности позиционирования зависит безопасность авиационных перевозок. Кроме того, самолет, который находится на достаточно маленькой высоте, может быть подвержен действию электромагнитной совместимости с оборудованием, размещенным на земле [1]. В результате ухудшение точности может стать причиной аварийной или даже катастрофической ситуации.

В качестве альтернативных систем позиционирования на борту воздушного судна (ВС) используются методы инерциальной и зональной навигации. Методы зональной навигации используют сигналы наземных всенаправленных дальномерных радиомаяков (DME), всенаправленных азимутальных радиомаяков (VOR) или приводных радиомаяков (NDB) для определения местоположения ВС в горизонтальной плоскости [2]. Алгоритмы зональной навигации функционируют в вычислительной системе самолетовождения с использованием информации от бортового запросчика DME, приемника сигналов VOR и автоматического радиоконпаса. При этом

одновременно используются измерения от двух комплектов оборудования, настроенных на два разных радиомаяка, с последующим их применением в дальномерном, угломерном или угломерно-дальномерном методе для вычисления места ВС. Точность определения координат местоположения зависит от геометрии взаимного расположения ВС и радиомаяков, а также удаления от них [3, 4]. В связи с этим вопросы выбора оптимальной пары радионавигационных средств при использовании методов зональной навигации для определения местоположения ВС относятся к разряду наиболее важных. Вопросы выбора оптимальной пары радионавигационных средств особенно актуальны в условиях действия ограничений на точность определения местоположения согласно действующим и перспективным требуемым навигационным характеристикам (RNP/RNAV) [5].

Вопросами оценивания точности систем позиционирования по парам радионавигационных средств занимались П. С. Давыдов и Л. С. Беляевский [6, 7], алгоритм автоматического выбора VOR/DME был предложен В. Б. Рухновым и М. Л. Гоема [8], вопросы выбора оптимальной конфигурации радиомаяков для коррекции координат летательного аппарата в РСБН исследовались С. А. Тарасовым, Н. Ш. Хусаиновым [9, 10]. Существующие алгоритмы выбора оптимальной пары радионавигационных средств основываются на критерии минимизации значения коэффициента геометрического ухудшения точности (GDOP) с учетом зоны их действия и не учитывают ограничения, накладываемые нормами навигации, основанной на характеристиках.

Основной целью статьи является решение задачи выбора оптимальной пары радионавигационных средств путем применения методов целочисленного линейного программирования с использованием критериев точности, доступности и ограничений, накладываемых нормами навигации, основанной на характеристиках радионавигационных средств.

Оценивание доступности радионавигационных средств

При определении оптимальной пары радионавигационных средств для выполнения позиционирования первоначальным этапом является оценивание доступности радиомаяков в точке местоположения ВС. Для этого выполняется грубый прогноз местоположения с использованием линейного фильтра Калмана на время измерения по обучающей выборке, включающей результаты предыдущих измерений координат ВС. В случае если время прогноза ($t_{\text{прог}}$) невелико или меньше некоторого порогового значения ($t_{\text{прог}} < t_{\text{порог}}$), то можно пренебречь движением и в качестве грубых координат местоположения ВС использовать предыдущее значение координат. В качестве порогового значения времени $t_{\text{порог}}$ можно использовать промежуток времени, необходимый для передвижения на величину среднеквадратической ошибки позиционирования с определенной скоростью (V): $t_{\text{порог}} = \sigma_{\text{поз}} V^{-1}$.

Далее, для точки грубого местоположения ВС необходимо оценить, какие радионавигационные средства будут доступны для выполнения измерений. Решение этой задачи выполняется с использованием имитационного моделирования, для которого необходимы база данных радионавигационных средств и их технических характеристик, математические модели радиомаяков и распространения радиоволн в атмосфере, а также модели, учитывавшие влияние рельефа местности на распространение радиоволн.

В общем случае оценку зоны действия навигационных средств выполняют с учетом максимальной дальности их действия, которая определяется мощностью передатчика, чувствительностью приемника и направленными характеристиками антенных систем. В случае дальномерного оборудования DME рассматриваются все два канала: «к земле» и «вверх», причем дальность действия соответствует минимальной из максимальных по каждому каналу.

В случае решения задачи на борту самолета моделирование зоны доступности радионавигационных средств возможно с использованием упрощенных моделей. Например, стандарт AC 00-31A [11] описывает определенные пространственные зоны гарантированного функционирования радиомаяков, за пределами которых услуги радиомаяка не гарантируются. В соответствии с этим выделяют три типа радиомаяков:

– терминальные радиомаяки (Terminal – T); для высот от 305 м AGL до 3658 м AGL дальность действия составляет 46 км;

– радиомаяки низких высот (Low altitude – L); для высот от 305 м AGL до 5486 м AGL дальность действия составляет 74 км;

– высотные (High Altitude – H) или трассовые радиомаяки; для истинных высот от 305 м AGL до 4420 м дальность действия составляет 74 км, для высот от 4420 м до 18288 м дальность составляет 185 км и для высот от 5486 м до 13716 м дальность действия составляет 241 км.

Кроме того, направленные характеристики антенной системы ограничивают пространственную зону действия по углу места в вертикальной плоскости для DME в 40° и для VOR 60° , создавая мертвую зону непосредственно над самим радиомаяком.

На низких высотах – до 305 м – зона действия не играет большого значения, поэтому во многих расчетах ею можно пренебречь, ограничиваясь высотой рельефа местности.

Согласно сборнику аэронавигационной информации Украины [12] по назначению выделяют два основных типа радиомаяков: маршрутные и средства подхода, пространственные зоны гарантированных услуг которых имеют следующий вид:

– радиомаяки подхода (approach – A); для высот от 305 м (1000 фут) AGL до 3658 м (12000 фут) AGL дальность действия составляет 46 км (25 м. мили);

– маршрутные (en-route – E); для высот от 305 м (1000 фут) AGL до 15240 м (50000 фут) AGL дальность действия составляет 296,32 км (160 м. мили).

Оценивание доступности может выполняться как в глобальной геоцентрической системе координат, например в ECEF, так и в локальной, например, в NEU. Центр локальной NEU системы координат обычно размещают в точке грубого местоположения ВС, горизонтальная плоскость которой проходит по касательной к эллипсоиду WGS-84, ось x направлена на север, ось y – на восток, z – перпендикулярно вверх. Далее выполняется пересчет координат местоположений радиомаяков в NEU систему координат и выполняется оценивание нахождения ВС в зоне гарантированного действия радиомаяка в зависимости от его типа. В результате формируется список идентификаторов доступных радионавигационных средств для выполнения навигации в месте предполагаемого нахождения ВС. Поскольку в задачах навигации одновременно используется информация только от двух радиомаяков, то выполняется формирование всевозможных пар. В общем случае для дальнейшей оптимизационной задачи N радиомаяков сформируют m парных комбинаций:

$$n^2 = \frac{N!}{(N-2)! \cdot 2}. \quad (1)$$

Оценивание точности

Каждая пара радионавигационных средств характеризуется определенными характеристиками точности, которые могут быть получены при ее использовании для позиционирования. В качестве основной характеристики точности позиционирования будем использовать среднеквадратическое отклонение радиальной ошибки ($\sigma_{\text{поз}}$).

Для пары дальномерного оборудования DME/DME $\sigma_{\text{DME/DME}}$ может быть определена следующим образом [6, 7]: $\sigma_{\text{DME/DME}}^2 = \frac{\sigma_{\text{DMEA}}^2 + \sigma_{\text{DMEB}}^2}{\sin^2(\alpha_{AB})}$, где σ_{DMEA} , σ_{DMEB} – среднеквадратические

значения ошибок измерения дальности к радиомаякам DME A и DME B соответственно; α_{AB} – внутренний угол между направлениями на радиомаяки A и B.

В случае использования пары угломерного оборудования VOR/VOR $\sigma_{\text{VOR/VOR}}$ можно записать следующим образом [6]: $\sigma_{\text{VOR/VOR}} = \frac{0,012d\sigma_{\text{VOR}}}{\sin(\alpha_{AB})\sin\left(\frac{\alpha_{AB}}{2}\right)}$, где σ_{VOR} – среднеквадратическое значение

ошибки измерения угла в системе VOR; d – расстояние между наземными радиомаяками.

При угломерно-дальномерном принципе позиционирования VOR/DME используются радионавигационные средства, размещенные в одном местоположении, среднеквадратическое значение ошибки $\sigma_{\text{VOR/DME}}$ [6]: $\sigma_{\text{VOR/DME}}^2 = \sigma_{\text{DME}}^2 + D^2 \sigma_{\text{VOR}}^2$, где σ_{VOR} – среднеквадратическое значение ошибки измерения угла в системе VOR в радианах; σ_{DME} – среднеквадратическое значение ошибки измерения расстояния в DME; D – расстояние между наземным радиомаяком и ВС.

Формулировка оптимизационной задачи

Достижение максимальных характеристик точности при определении координат местоположения ВС по информации наземных радиомаяков возможно путем выбора оптимальной пары

радионавигационных средств. В качестве основного критерия оптимальности будем использовать величину среднеквадратичного отклонения, которая характеризует точность.

В общем случае задача выбора оптимальной пары радионавигационных средств при позиционировании является типичной оптимизационной задачей, для решения которой будем использовать методы целочисленного линейного программирования. Введем вектор $X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$, элементы которого соответствуют индексам пар. Количество пар n определяется по (1). Элементы вектора X определяются в двоичной системе счисления: $x_i = 1$ – соответствует оптимальной паре радионавигационных средств; $x_i = 0$ – неоптимальным парам. Поскольку точность позиционирования характеризуется определенным значением среднеквадратичного отклонения σ_p , то целевая функция содержит матрицу весовых коэффициентов каждой пары радионавигационных средств W :

$$WX^T \Rightarrow \min, \quad (2)$$

где $W = [\sigma_{p1}, \sigma_{p2}, \sigma_{p3}, \dots, n]$.

В зависимости от метода позиционирования W будет иметь разный вид:

– для дальномерного метода: $W = W_{DME/DME} = [\sigma_{DME/DME 1}, \sigma_{DME/DME 2}, \sigma_{DME/DME 3}, \dots, \sigma_{DME/DME n}]$;

– для угломерного метода: $W = W_{VOR/VOR} = [\sigma_{VOR/VOR 1}, \sigma_{VOR/VOR 2}, \sigma_{VOR/VOR 3}, \dots, \sigma_{VOR/VOR n}]$;

– для угломерно-дальномерного метода: $W = W_{VOR/DME} = [\sigma_{VOR/DME 1}, \sigma_{VOR/DME 2}, \dots, \sigma_{VOR/DME n}]$.

Согласно (2) задача оптимизации сводится к поиску минимального значения целевой функции по значению σ_p .

На оптимизационный функционал накладываются ограничения доступности. Матрица доступности A определяет пространство допустимых пар радионавигационных средств для использования: $A = [a_1, a_2, a_3, \dots, a_n]$, где $a_i = 1$, i -я пара, доступная для позиционирования; $a_i = 0$, сигналы i -й пары не доступны в данном местоположении ВС.

Ограничения относительно необходимого количества доступных пар радионавигационных средств для навигации можно представить в следующем виде:

$$AX^T \geq N_{max}, \quad (3)$$

где $N_{max} = 1$.

В соответствии с международными документами о навигации, основанной на характеристиках [5], выдвигаются требования относительно внутреннего угла α_{AB} между направлениями на радионавигационные средства для дальномерного DME/DME и угломерного VOR/VOR методов:

$$GX^T \geq 30^\circ, \quad (4)$$

$$GX^T \leq 150^\circ,$$

где $G = [\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n]$ – матрица внутренних углов.

Ограничения на количество решений можно записать в виде произведения с единичным вектором I :

$$IX^T = 1. \quad (5)$$

Ограничение (5) устанавливает, что только одна оптимальная пара радионавигационных средств может быть получена в результате решения.

В общем случае задача оптимизации, сформулированная в терминах целочисленного линейного программирования, может быть записана на основе сбора ограничений (3)–(5) к целевой функции (2), следующим образом:

$$WX^T \Rightarrow \min, AX^T \geq N_{max}, GX^T \geq 30^\circ, -GX^T \geq -150^\circ, IX^T = 1, X \geq 0, X \in \{0, 1\}. \quad (6)$$

Задача в виде (6) решается одним из методов теории линейного программирования в случае, если подобное решение существует для данного набора пар радионавигационных средств. В частности, могут применяться симплекс метод, метод эллипсоидов (Хачияна) или простого перебора. Задача оценивания точности выдерживания линий положения или позиционирования ВС при использовании оптимальной пары радионавигационных средств также является важной в оценивании характеристик воздушного пространства. В этом случае расчет выполняется для сетки точек возможного местоположения ВС для определенной высоты или эшелона полета. При этом для каждой точки пространства выполняется поиск оптимальной пары радионавигационных средств и оценивается точность определения местоположения. По полученным значениям составляется контурная карта оптимальной точности позиционирования.

Алгоритм выбора оптимальной пары радионавигационных средств

В общем случае алгоритм выбора оптимальной пары радионавигационных средств для позиционирования по наземным радиомаякам представлен на рис. 1. Алгоритм обеспечивает поиск оптимальной пары для позиционирования по критерию максимальной точности. Входными данными в блоке 1 алгоритма являются: местоположение ПК в предыдущий временной отсчет, матрица скоростей и база данных радионавигационных средств. В блоке 2 измеряется время от начала полета по данным системы точного времени. В блоке 3 рассчитывается промежуток времени между текущим временным отсчетом и временем последнего измерения координат местоположения ВС. В случае если разница меньше допустимого значения в блоке 5, в качестве грубых координат используются координаты прошлого местоположения ВС. Использование неточного местоположения ВС оправдано только для коротких промежутков времени, однако позволяет сэкономить вычислительные ресурсы оборудования. В противном случае в блоке 4 задействуется метод счисления пути для приблизительного оценивания координат ВС.

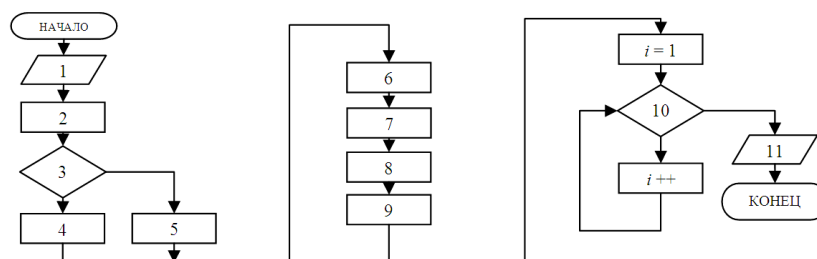


Рис. 1. Алгоритм выбора оптимальной пары радионавигационных средств

В блоке 6 оценивается доступность определенного типа радиомаяков для грубого нахождения местоположения ВС. Результатом работы блока 6 является вектор индексов доступных средств, из которого в блоке 7 формируется матрица допустимых комбинаций радиомаяков. В блоке 8 оцениваются необходимые векторы и матрицы для оптимизационной задачи. Блок 9 выполняет поиск решения задачи целочисленного линейного программирования, сформулированной в виде (6). Выполняя перебор, в 10 выполняется поиск идентификаторов радионавигационных средств, определяющих оптимальную пару, индекс которой был получен в блоке 9. Блок 11 распространяет полученные индексы и координаты местоположения оптимальных радионавигационных средств для выполнения других задач.

Результаты компьютерного моделирования

Верификация предложенного алгоритма выполнена при помощи имитационного моделирования в программном обеспечении MATLAB с использованием траекторной информации. В качестве примера для моделирования выбран полет рейса «BRU830» по маршруту Киев «UKBB» – Минск «UMMS». Траекторные данные полета были записаны при помощи наземной станции фиксации сообщений в режиме автоматического зависимого наблюдения (ADS-B) от 21 сентября 2017 г. Для моделирования использовались данные координат местоположения ВС в формате широта, долгота и высота вместе с временем их измерения. Принятые данные от самолетных ответчиков в режиме 1090ES содержали несинхронизированные по времени измерения. Для получения траекторной информации с частотой 1 Гц и заполнения пропусков к результатам измерений применен метод интерполяции сплайн-функциями.

Исследование алгоритма выбора оптимальной пары выполнено для случая дальномерного оборудования DME/DME. Оценивание доступности наземных радиомаяков DME было выполнено с использованием данных сборников аэронавигационной информации и действующих моделей радионавигационных средств. На рис. 2 сплошной линией показано общее количество DME в соответственный момент времени. Также на рис. 2 пунктирной линией показано общее количество доступных комбинаций пар DME/DME, оцененное по (1).

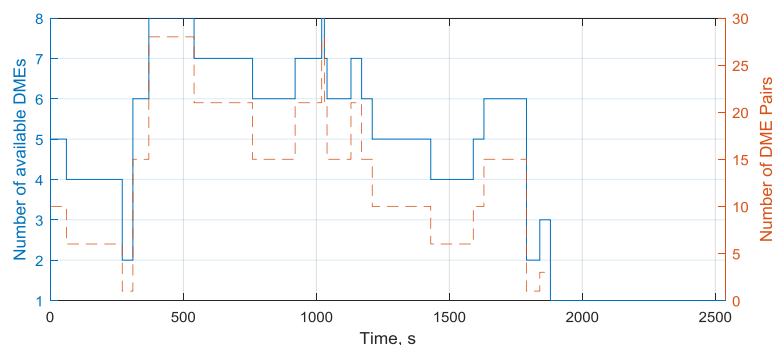


Рис. 2. Общее количество доступных DME и количество комбинаций пар DME/DME

Как видно из рис. 3, начиная с 1824 с в зоне доступности оказывается только один DME «MNS», поскольку ВС находится на этапе захода на посадку и движется на маленькой высоте, при этом не попадая в зону действия радиомаяков «MGL» и «GLB» в соответствии с их моделями гарантированной зоны действия. В этом случае задействуется заход на посадку по угломерно-дальномерному принципу с использованием информации от VOR/DME «MNS». На рис. 3 показан результат определения оптимальной пары DME/DME для выбранного маршрута полета по предложенному алгоритму.

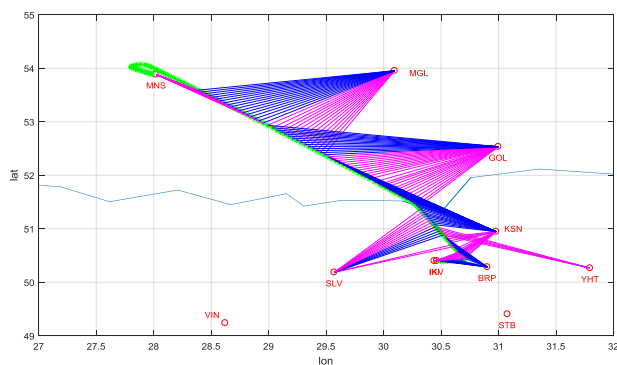


Рис. 3. Результат выбора оптимальной пары по предложенному алгоритму

Заключение

Представление задачи выбора оптимальной пары радионавигационных средств в виде оптимизационной задачи, решение которой находится с использованием одного из методов целочисленного линейного программирования, позволяет определить радионавигационные средства, применение которых дает возможность добиться максимальных точностных характеристик при определении координат местоположения ВС по информации наземных радиомаяков.

Разработанный алгоритм может применяться для выбора оптимальной пары дальномерного, угломерного или угломерно-дальномерного оборудования или использоваться параллельно для оценки оптимальной пары для каждого из методов совместно. В случае совместного использования в каждом блоке формируются двухмерные данные отдельно по каждому типу оборудования.

Работоспособность разработанного алгоритма выбора оптимальной пары радионавигационных средств была проверена с помощью имитационного моделирования с использованием траекторной информации.

Список литературы

1. Lubbers B., Mildner S., Onincx P. A. Scheele A study on the accuracy of GPS positioning during jamming // Navigation World Congress (IAIN). International Association of Institutes IEEE. 2015. P. 1–6.
2. Ostroumov I., Kuzmenko N. Accuracy estimation of alternative positioning in navigation // 2016 IEEE 4th International Conference «Methods and Systems of Navigation and Motion Control»(MSNMC). 2016. P. 291–294.
3. Ostroumov I.V. Analysis of DME/DME positioning facility for Ukrainian airspace // The Seventh World Congress «Aviation in the XXI-st century – Safety in Aviation and Space Technologies». 2016. Vol. 2. P. 3.6.1–3.6.4.

4. Остроумов І.В. Оцінка точності позиціонування за сигналами радіомаяків VOR // Проблеми інформатизації та управління. 2012. Вип. 3 (39). С. 102–107.
5. Performance-based Navigation (PBN) Manual. Doc 9613. ICAO. 2008. 304 p.
6. Радионавигационные системы летательных аппаратов. / П.С. Давыдов [и др.]. М.: Транспорт, 1980. 448 с.
7. Беляевский Л.С., Новиков В.С., Олянюк П.В. Основы радионавигации. М.: Транспорт, 1982. 288 с.
8. Ruhnnow W.B., Goemaat M.L. VOR/DME automated station selection algorithm // Navigation. 1982. № 29 (4). P. 289–299.
9. Тарасов С.А. Алгоритм поиска оптимальных конфигураций радиомаяков для однократной коррекции координат летательного аппарата в автономной системе ближней радионавигации // Изв. Южного федерального университета. Технические науки. 2014. № 11 (160). С. 217–226.
10. Хусаинов Н.Ш. Выбор участка коррекции местоположения летательного аппарата с учетом геометрического фактора навигационного поля для автономной системы ближней радионавигации // Изв. Южного федерального университета. Технические науки. 2010. № 104 (3). С. 60–63.
11. AC 00-31A – United States (U.S.) National Aviation Standard for the Very High Frequency Omnidirectional Radio Range (VOR) / Distance Measuring Equipment (DME) / Tactical Air Navigation (TACAN) Systems. FAA. 1982. 67 p.
12. AIP of Ukraine. Aeronautical Information Publication (AIP) of Ukraine, Ukrainian State Air Traffic Services Enterprise. 2016. 524 p.

References

1. Lubbers B., Mildner S., Onincx P. A. Scheele A study on the accuracy of GPS positioning during jamming // Navigation World Congress (IAIN). International Association of Institutes IEEE. 2015. P. 1–6.
2. Ostroumov I., Kuzmenko N. Accuracy estimation of alternative positioning in navigation // 2016 IEEE 4th International Conference «Methods and Systems of Navigation and Motion Control»(MSNMC). 2016. P. 291–294.
3. Ostroumov I.V. Analysis of DME/DME positioning facility for Ukrainian airspace // The Seventh World Congress «Aviation in the XXI-st century – Safety in Aviation and Space Technologies». 2016. Vol. 2. P. 3.6.1–3.6.4.
4. Ostroumov I.V. Ocinka tochnosti pozicionuvannja za signalami radiomajakiv VOR // Problemi informatizacii ta upravlinnja. 2012. Vip. 3 (39). S. 102–107. (in Ukr.)
5. Performance-based Navigation (PBN) Manual. Doc 9613. ICAO. 2008. 304 p.
6. Radionavigacionnye sistemy letatel'nyh apparatov. / P.S. Davydov [i dr.]. M.: Transport, 1980. 448 s. (in Russ.)
7. Beljaevskij L.S., Novikov V.S., Oljanjuk P.V. Osnovy radionavigacii. M.: Transport, 1982. 288 s. (in Russ.)
8. Ruhnnow W.B., Goemaat M.L. VOR/DME automated station selection algorithm // Navigation. 1982. № 29 (4). P. 289–299.
9. Tarasov S.A. Algoritm poiska optimal'nyh konfiguracij radiomajakov dlja odnokratnoj korrekcii koordinat letatel'nogo apparata v avtonomnoj sisteme blizhnej radionavigacii // Izv. Juzhnogo federal'nogo universiteta. Tehniceskie nauki. 2014. № 11 (160). S. 217–226. (in Russ.)
10. Husainov N.Sh. Vybory uchastka korrekcii mestopolozhenija letatel'nogo apparata s uchetom geometricheskogo faktora navigacionnogo polja dlja avtonomnoj sistemy blizhnej radionavigacii // Izv. Juzhnogo federal'nogo universiteta. Tehniceskie nauki. 2010. № 104 (3). S. 60–63. (in Russ.)
11. AC 00-31A – United States (U.S.) National Aviation Standard for the Very High Frequency Omnidirectional Radio Range (VOR) / Distance Measuring Equipment (DME) / Tactical Air Navigation (TACAN) Systems. FAA. 1982. 67 p.
12. AIP of Ukraine. Aeronautical Information Publication (AIP) of Ukraine, Ukrainian State Air Traffic Services Enterprise. 2016. 524 p.

Сведения об авторе

Остроумов И.В., к.т.н., доцент, доцент кафедры аэронавигационных систем Национального авиационного университета.

Information about the author

Ostroumov I.V., PhD., associate professor, associate professor of air navigation department of National aviation university.

Адрес для корреспонденции

03680, Украина,
г. Киев, ул. Космонавта Комарова, 1,
Национальный авиационный университет
тел. +380-68-363-64-63;
e-mail: ostroumovv@ukr.net
Остроумов Иван Викторович

Address for correspondence

03680, Ukraine,
Kyiv, Kosmonavta Komarova st. 1,
National aviation university
tel. +380-68-363-64-63;
e-mail: ostroumovv@ukr.net
Ostroumov Ivan Victorovich