

УДК 621.396.98.004.1

DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-3-37-46

О ДВУХСОЗВЕЗДНЫХ GBAS

О.И. ЗАВАЛИШИН¹

¹ООО «НППФ Спектр», г. Москва, Россия

Проблема точного навигационного обеспечения систем посадки приобретает большое значение в наше время в связи с постоянно повышающейся интенсивностью воздушного движения в основных аэропортах. В настоящее время наметилась тенденция к переходу к навигационным определениям воздушных судов по спутниковым радионавигационным системам. В настоящее время в полном объеме функционируют две глобальные навигационные спутниковые системы, составленные из навигационных космических аппаратов – российская система ГЛОНАСС и американская система GPS. При этом для обеспечения необходимой точности позиционирования и целостности данных используются дополнительные средства – дифференциальные поправки. В статье приведены доказательства повышения точности позиционирования с использованием системы GBAS. Показано, что позиционирование с использованием GBAS обеспечивает целостность данных, соответствующую категории «критических данных» по требованиям ИКАО. Приведены технические преимущества российской станции GBAS. Проведен сравнительный анализ GBAS и системы посадки ILS. В статье обоснована актуальность разработки многочастотных многосистемных наземных систем функционального дополнения. Для расчета характеристик непрерывности обслуживания системы GBAS использован метод оценки эффективности сложных технических систем. Приведены численные данные по вероятности решения навигационной задачи в дифференциальном режиме для штатного режима. Проведен расчет характеристик непрерывности обслуживания системы GBAS на основе метода оценки эффективности сложных технических систем. Обоснованы преимущества использования мобильной версии станции GBAS ЛККС-А-2000 для обеспечения для вертолетов инструментального захода на посадку на неподготовленных площадках. Приведен рисунок, демонстрирующий реализацию ошибок оценивания координат в дифференциальном режиме при решении навигационной задачи по 5 навигационным спутникам системы GPS. Приведен рисунок, демонстрирующий реализацию ошибок оценивания для той же записи при использовании всех видимых и навигационных спутников. Приведен рисунок, демонстрирующий число видимых навигационных спутников.

Ключевые слова: система GBAS, дифференциальные поправки, система функционального дополнения, сложная техническая система.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в полном объеме функционируют две глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), составленные из навигационных космических аппаратов (НКА) – российская система ГЛОНАСС и американская система GPS. Также после запуска четвертого навигационного спутника (НС) европейской системы Galileo в 2013 году началась тестовая фаза проекта. Китайская система COMPASS (Бэйдоу) с 27 февраля 2011 г. эксплуатируется как региональная. Основные характеристики указанных систем приведены в табл. 1.

Комбинированные многосистемные (ГЛОНАСС/GPS/Galileo) многочастотные навигационные приемники уже изготавливаются ведущими мировыми производителями: Topcon, Leica Geosystems, Javad, Trimble, NovAtel. Однако эти приемники пока не сертифицированы для применения на борту самолетов гражданской авиации.

Для обеспечения необходимой точности позиционирования и целостности данных (надежности обеспечения позиционирования) используются дополнительные средства – дифференциальные поправки.

Таблица 1
Table 1

Основные характеристики спутниковых радионавигационных систем
Main characteristics of satellite radio navigation systems

Система ГНСС (страна)	Система координат	Размещение НКА на орбите	Число НКА (резерв) в орбитальной группировке	Диапазоны (центральные частоты МГц)
ГЛОНАСС (РФ)	ПЗ-90.02	3 орбитальных плоскости с наклоном 64,8°	24 (3)	L1: 1602; L2: 1246; L3: 1202,025
GPS (США)	WGS 84	6 орбитальных плоскостей с наклоном 55°	24–32	L1: 1575,42; L2: 1227,60; L5: 1176,45
GALILEO (ЕС и ЕКА)	WGS 84	3 орбитальных плоскости с наклоном 56°	27 (3) (проектное)	E1: 1575,42; E5: 1176,45; E6: 1278,75
COMPASS (Бэйдоу) (Китай)	CGCS2000	5 геостационарных, 5 геосинхронных и 20 средневысотных НКА	30 (проектное)	B1: 1561,098; B2: 1191,795; B3: 1268,52

В настоящее время развиваются два подхода к обеспечению аэронавигационных средств дифференциальными поправками к сигналам GPS/ГЛОНАСС – спутниковые системы и локальные наземные станции.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ АЭРОНАВИГАЦИОННЫХ СРЕДСТВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ ПОПРАВКАМИ

Преимуществом спутниковых систем является отсутствие необходимости устанавливать какое-либо дополнительное оборудование в аэропорту. Дифференциальные поправки передаются геостационарными спутниками и принимаются бортовым аэронавигационным оборудованием. Сегодня действуют системы WAAS (Североамериканский регион), EGNOS (Европа) и MSAS (Япония), в процессе ввода в действие находится индийская система GAGAN.

Однако, помимо грандиозной стоимости создания этих систем (миллиарды долларов), длительного срока реализации и стоимости их сопровождения, спутниковые системы (далее – SBAS) имеют еще два ключевых недостатка:

а) SBAS покрывают ограниченные регионы, пусть даже и очень большие, как WAAS. В Южном полушарии воспользоваться ими невозможно;

б) Точность позиционирования с помощью SBAS принципиально ограничена.

Наземные станции дифференциальных поправок к сигналам GPS/ГЛОНАСС (GBAS) устанавливаются непосредственно на аэродромах или вертолетных площадках. Это относительный недостаток по сравнению с использованием SBAS, если не учитывать того, что стоимость американской спутниковой системы WAAS в два раза превосходит стоимость установки станций GBAS на всех аэродромах соответствующего региона. При этом возможности SBAS

ограничены категорией I ИКАО (и то достигнутой лишь в двух десятках аэропортов). Возможности позиционирования и точного захода на посадку с использованием GBAS уже сегодня не уступают SBAS, а по техническим характеристикам способны обеспечить посадку по категории II и даже по категории IIIc (видимость 0 x 0). Такие возможности обеспечиваются тем, что станции GBAS рассчитывают дифференциальные поправки к сигналам GPS/ГЛОНАСС непосредственно в месте посадки воздушного судна.

Позиционирование с использованием GBAS обеспечивает целостность данных 10^{-8} , что соответствует категории «критических данных» по ИКАО, и благодаря этому использование GBAS делает возможным точный заход на посадку по приборам. Точность как горизонтального, так и вертикального позиционирования с использованием GBAS составляет менее 1 метра. Это делает возможным посадку по категории IIIc ИКАО. Сегодня нет аэродромов такой категории, потому что, даже осуществив посадку по категории IIIb при условиях видимости (0 м x 50 м) с использованием ILS, экипаж не сможет убрать воздушное судно с ВПП. Использование GBAS дает такую возможность.

Одна станция GBAS обслуживает все ВПП аэропорта (до 48 торцов одновременно), обеспечивает возможность инструментального захода на посадку по криволинейной траектории (которых может быть несколько) и не требует дополнительного пространства для размещения оборудования и строительных работ.

Станция GBAS может быть реализована в мобильной версии, развертываемой в течение 15 минут в любом месте, что делает ее применение особенно интересным для реализации инструментального захода вертолетов на необорудованные площадки.

На сегодняшний день существуют три производителя станций GBAS.

Корпорация Honeywell установила две станции в США – в аэропорту Мемфиса (инициатором была компания FedEx, для которой это аэропорт базирования) и в аэропорту Newark Liberty, где на одной из ВПП невозможно установить ILS из-за наличия по курсу посадки огромного моста, нарушающего работу радиотехнических систем ILS. Третья станция планируется к установке в аэропорту Ченнай (Индия).

Шесть станций GBAS, разработанных компанией Park Air Systems (филиал Northrop Grumman, купленный затем корпорацией Indra), установлены в северных аэропортах Норвегии, в которых по условиям рельефа невозможно установить ILS (в фиордах) и где требуется обеспечить инструментальный заход на посадку по погодным условиям.

Российская компания НППФ «Спектр» разработала, произвела и установила более 50 станций GBAS ЛККС-А-2000 в аэропортах России. Посадка с использованием GBAS уже возможна в аэропорту города Тюмени (Рощино), и в настоящее время Госкорпорация по организации воздушного движения РФ осуществляет проверку (облет) установленных станций для выдачи официального разрешения на их использование для инструментального захода на посадку.

Техническим преимуществом российской станции GBAS ЛККС-А-2000 является возможность использования для позиционирования двух спутниковых группировок – GPS и ГЛОНАСС. При этом могут быть использованы сигналы только GPS, или только ГЛОНАСС, или обеих систем одновременно, что повышает техническую надежность приема сигналов за счет двойного комплекта спутников и снижает возможные политические риски, связанные с использованием спутниковой навигационной системы, контролируемой Министерством обороны США.

В настоящее время инструментальный заход на посадку по категории II и III ИКАО разрешен только с использованием системы ILS. Однако документы, разрешающие и определяющие процедуру и параметры инструментального захода по GLS (т. е. с использованием GBAS), уже находятся в ИКАО в стадии завершения. Заход по GLS по категории I уже разрешен в настоящее время.

GBAS имеет значительные преимущества перед ILS [5].

1. GBAS обеспечивает более точное позиционирование, чем SBAS (до сантиметров).

2. GBAS значительно дешевле, чем ILS, не требует строительных работ и дополнительной территории, может быть установлен в аэропорту за один день.

3. GBAS обеспечивает возможность криволинейных заходов, что важно в случае сложного рельефа и/или жилой или иной застройки вблизи аэродрома.

5. Одна станция GBAS обслуживает все торцы всех ВПП аэропорта, и даже соседних аэропортов, в радиусе 50 км (до 48 торцов одновременно).

6. GBAS позволяет осуществлять посадку и руление в аэропорту в условиях даже полного отсутствия видимости.

7. Станция GBAS может быть развернута и приступить к работе в любом месте в течение нескольких часов, мобильная версия – в течение 15 минут.

8. Станция GBAS может быть свернута и законсервирована еще быстрее, чем установлена. Это важно при использовании в регионах, где имеют место неблагоприятные погодные условия (ураганы и т. п.).

9. GBAS дешевле в эксплуатации, чем ILS, поскольку не требует частых дорогостоящих проверок (облетов).

Использование мобильной версии станции GBAS ЛККС-А-2000 дает возможность обеспечить для вертолетов инструментальный заход на посадку на неподготовленных площадках. Единственным условием является ранее сделанный (в подходящих условиях) визуальный заход с записью трека, который затем будет использоваться как схема захода по GLS. Эта схема может быть заложена в базу данных бортового навигационного комплекса перед вылетом или передаваться ему с земли станцией GBAS во время захода.

МНОГОЧАСТОТНЫЕ НАЗЕМНЫЕ СИСТЕМЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДОПОЛНЕНИЯ (GBAS)

В настоящее время на территории РФ функционируют около 120 ЛККС, разработанных ООО «НППФ «Спектр», которые соответствуют требованиям SARPs¹ к наземным системам функционального дополнения GBAS. Эти станции обеспечивают высокоточную навигацию ВС в кодовом дифференциальном режиме (ДР) и заход на посадку по категории CAT I (GAST C) с использованием гражданских сигналов диапазона L1 ГНСС ГЛОНАСС и GPS.

Однако обеспечение захода на посадку и посадки по категориям CAT II, CAT III (GAST D)² с использованием гражданских сигналов только диапазона L1 приводит к необходимости использования в составе ЛККС выносных контрольных приемников, предназначенных для обеспечения контроля пространственного градиента ионосферных аномалий, требуемого для выполнения заданных характеристик целостности. Это конструктивное решение является дорогостоящим и существенно затрудняет развертывание ЛККС уровня GAST D. Упростить решение указанной проблемы можно на основе сравнения двухчастотных оценок ионосферных запаздываний опорными приемниками (ОП) ЛККС и приемниками ВС с использованием гражданских сигналов диапазонов L1, L2 (L3, L5).

С другой стороны, использование сигналов систем Galileo и COMPASS наряду с уже используемыми сигналами ГНСС ГЛОНАСС и GPS позволит существенно улучшить показатели готовности и непрерывности обслуживания систем GBAS в районах аэродромов, в которых часть небосклона затеняется близко расположенными горными массивами.

Указанные причины определяют актуальность разработки многочастотных многосистемных (ГЛОНАСС/GPS/Galileo) наземных систем функционального дополнения MF/MC CAT

¹ Федеральные авиационные правила «Организация воздушного движения в Российской Федерации»: утв. приказом Министерства транспорта РФ от 25 ноября 2011 года № 293.

² Федеральные авиационные правила «Порядок осуществления радиосвязи в воздушном пространстве Российской Федерации»: утв. приказом Министерства транспорта РФ от 26 сентября 2012 г. № 362.

II/III GBAS (Multi-frequency/multi-constellation category II/III GBAS). Создание таких систем позволит [6, 7]:

– коренным образом решить проблему обеспечения целостности GBAS при наличии ионосферных аномалий (ионосферных штормов) за счет передачи потребителям двухчастотных оценок ионосферных запаздываний ОП ЛККС;

– повысить качество решения навигационной задачи в ДР за счет использования сглаживания измеренных псевдодалностей с учетом приращений линейной комбинации полных фаз, свободной от влияния ионосферы;

– обеспечить высокие показатели непрерывности обслуживания GBAS в районах аэродромов, в которых часть небосклона затеняется близко расположенными горными массивами, за счет увеличения числа одновременно наблюдаемых НС при использовании всех доступных ГНСС.

Согласно SARPs³ риск потери непрерывности обслуживания системы GBAS определяется как вероятность выхода ошибки оценивания координат за предельно допустимые значения за период проведения операции при условии, что к началу операции ошибки оценивания координат были в допуске.

Для расчета характеристик непрерывности обслуживания системы GBAS воспользуемся методом оценки эффективности сложных технических систем (СТС)⁴. В качестве общего показателя эффективности СТС обычно принимают вероятность выполнения системой данной задачи. Систему любого класса можно характеризовать некоторым конечным множеством несовместных состояний $\{H_i\}, i = \overline{1, M}$, где M – общее число этих состояний. Каждое из состояний СТС H_i в момент времени t характеризуется безусловной вероятностью этого состояния $P_i(t)$, и ему можно поставить в соответствие значение некоторой функции $\omega_i(t)$, определяющей качество решения СТС рассматриваемой задачи. Функция $\omega_i(t)$ носит название условного показателя эффективности, поскольку она соответствует определенному состоянию СТС H_i .

В качестве показателя эффективности СТС принимается математическое ожидание функции $\omega_i(t)$ ⁵, которое равно [1]

$$\omega(t) = \mathbf{P}^T(t) \boldsymbol{\omega}_y(t) = \sum_{i=1}^M P_i(t) \omega_i(t), \quad (1)$$

где $\omega(t)$ – показатель эффективности СТС (вероятность выполнения системой рассматриваемой задачи); $\mathbf{P}(t) = [P_i(t)]$, $\boldsymbol{\omega}_y(t) = [\omega_i(t)]$ – векторы-столбцы безусловных вероятностей СТС и соответствующих им условных показателей эффективности.

В качестве условного показателя эффективности системы GBAS при решении навигационной задачи в ДР целесообразно использовать вероятность того, что в рассматриваемый (расчетный) момент времени ВС находится в области безопасности, в которой ошибки определения координат не превышают предельно допустимых значений. Условный показатель эффективности в этом случае может быть представлен в виде условной вероятности [2]

³ Федеральные авиационные правила «Организация воздушного движения в Российской Федерации»: утв. приказом Министерства транспорта РФ от 25 ноября 2011 года № 293.

⁴ Федеральные авиационные правила «Радиотехническое обеспечение полетов воздушных судов и авиационная электросвязь»: утв. приказом Министерства транспорта РФ от 20 октября 2014 г. № 297.

⁵ Там же.

$$\omega_i(t) = \int_{-h_B}^{h_B} \int_{-h_L}^{h_L} \int_{-h_H}^{h_H} p(t, \varepsilon_B, \varepsilon_L, \varepsilon_H | H_i) d\varepsilon_B d\varepsilon_L d\varepsilon_H, \quad (2)$$

где h_B, h_L, h_H – предельно допустимые ошибки определения координат.

При выполнении операций захода на посадку и посадки с применением GBAS условные показатели эффективности (2) зависят от числа навигационных спутников (НС), используемых для решения навигационной задачи (НЗ). В свою очередь это число НС определяется как свойствами системы (систем) ГНСС, так и результатами работы алгоритмов контроля целостности (КЦ) ЛККС.

В штатном режиме число наблюдаемых НС системы GPS в основном находится в пределах от 6 до 14. Наиболее вероятны значения 7–11. Реже 6, 12, 13, 14. Практически не наблюдается пять и менее НС, а также более 14. Аналогично для системы ГЛОНАСС в основном наблюдается от 6 до 11 НС. Для двух систем GPS и ГЛОНАСС, как правило, одновременно наблюдается более 14 НС, наиболее вероятно наблюдение 17–20 НС [8].

Для оценки СКО ошибок решения НЗ в ДР в зависимости от числа наблюдаемых НС использовались их экспериментальные реализации длительностью 100000 полусекундных эпох. В качестве примера на рис. 1 приведены реализации ошибок оценивания координат в ДР при решении НЗ по 5 НС системы GPS, полученные для одной и той же записи сырых данных при искусственном ограничении числа НС. Реализации ошибок оценивания для той же записи при использовании всех видимых и не забракованных алгоритмами КЦ НС показаны на рис. 2. Общее число этих НС, использованных для решения НЗ с учетом 11 забраковок всеми алгоритмами КЦ, показано на рис. 3.

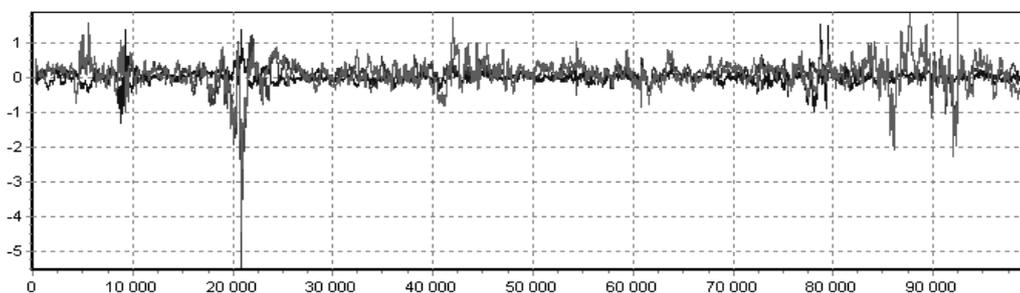


Рис. 1. Реализации ошибок оценивания координат в дифференциальном режиме при решении навигационной задачи по 5 навигационным спутникам системы GPS

Fig. 1. Implementation of errors in the estimation of coordinates in the differential mode when solving the navigation problem for 5 navigation satellites of the GPS system

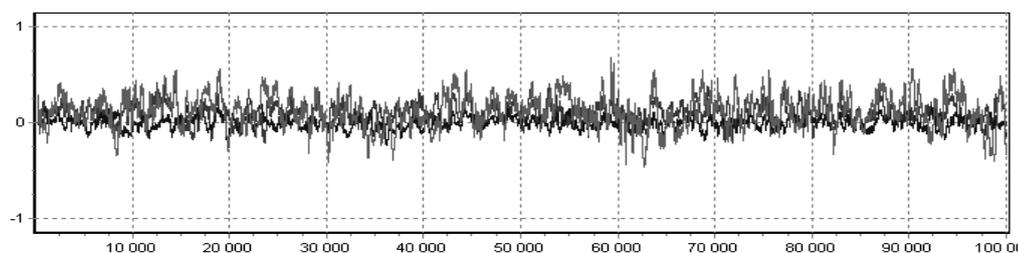


Рис. 2. Реализации ошибок оценивания для той же записи при использовании всех видимых и навигационных спутников

Fig. 2. Implementing estimation errors for the same record when using all visible navigation satellites

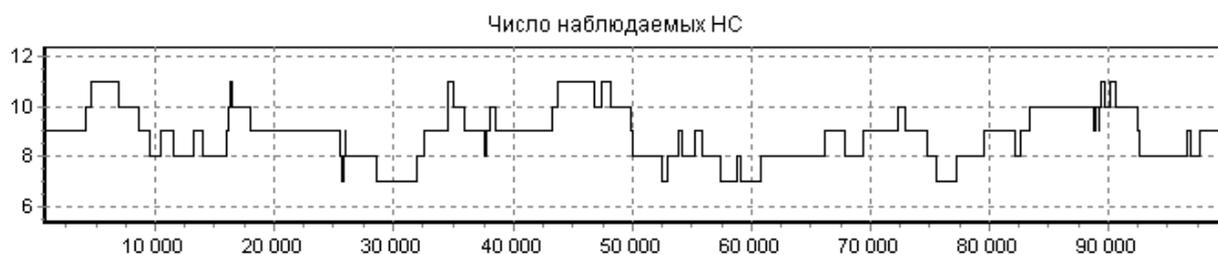


Рис. 3. Число видимых навигационных спутников
Fig. 3. Number of visible navigation satellites

Для расчета безусловных вероятностей состояний СТС возможные переходы из состояния в состояние обычно описываются цепью Маркова⁶. Однако применительно к задаче оценки непрерывности обслуживания GBAS такой подход наталкивается на трудности, связанные с определением элементов соответствующей матрицы вероятностей перехода [9]. Поэтому далее используется подход, основанный на экспериментальной оценке эмпирических вероятностей состояний, т. е. вероятностей использования для решения НЗ 4, 5, 6, 7, 8 и более НС с учетом забравок алгоритмами КЦ.

Для оценки этих вероятностей использовались реализации числа НС, применяемых для решения НЗ по системам GPS + ГЛОНАСС, GPS и ГЛОНАСС в течение месяца работы ЛККС с учетом забравок алгоритмами КЦ. За каждые сутки по этим реализациям определялись вероятности использования для решения НЗ заданного числа НС путем подсчета соответствующего числа эпох.

При установке ЛККС в некоторых аэропортах (например, в Адлере) может наблюдаться меньшее число НС из-за затенения части небесной сферы местными предметами (горами). При расчете характеристик непрерывности обслуживания GBAS этот факт можно учесть за счет увеличения вероятности наблюдения меньшего числа НС и соответствующего уменьшения вероятности наблюдения большего числа НС.

Для стационарного режима, когда безусловная вероятность состояния N_i не зависит от времени, т. е. $P_i(t_{k+1}) = P_i(t_k) = P_i$, эффективность (1) определяется соотношением [3]

$$\omega = \sum_{i=1}^M P_i \omega_i. \quad (3)$$

Таким образом, согласно (3) вероятности решения НЗ в ДР в штатном режиме (в скобках указаны значения при ограниченном созвездии) равны [4]:

– для системы GPS

$$\text{САТ II } 1 - 10^{-11} (1 - 1,64 \cdot 10^{-7});$$

$$\text{САТ III } 1 - 1,041 \cdot 10^{-7} (1 - 1,81 \cdot 10^{-6});$$

– для системы ГЛОНАСС

$$\text{САТ II } 1 - 2 \cdot 10^{-11} (1 - 1,645 \cdot 10^{-7});$$

$$\text{САТ III } 1 - 2,082 \cdot 10^{-6} (1 - 6,7 \cdot 10^{-6});$$

– при совместном использовании GPS и ГЛОНАСС

$$\text{САТ II } 1,0 (1 - 5 \cdot 10^{-12});$$

$$\text{САТ III } 1 - 10^{-9} (1 - 5,301 \cdot 10^{-8}).$$

⁶ Федеральные авиационные правила «Радиотехническое обеспечение полетов воздушных судов и авиационная электросвязь»: утв. приказом Министерства транспорта РФ от 20 октября 2014 г. № 297.

Требуемые характеристики непрерывности обслуживания составляют:

$$\text{CAT II } 1 - 4 \cdot 10^{-6} / 15 = 1 - 2,6 \cdot 10^{-7};$$

$$\text{CAT III } 1 - 2 \cdot 10^{-6} / 30 = 1 - 6 \cdot 10^{-8}.$$

Отсюда, в частности, следует, что при ограниченном созвездии использование только одной системы иногда не позволяет удовлетворить требования SARPs к непрерывности обслуживания. В то же время, совместное использование двух систем удовлетворяет требованиям для всех категорий захода на посадку и посадки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Создание многочастотных многосистемных (ГЛОНАСС/GPS/Galileo) наземных систем функционального дополнения MF/MC CAT II/III GBAS (Multi-frequency/multi-constellation category II/III GBAS) позволит коренным образом решить проблему обеспечения целостности GBAS при наличии ионосферных аномалий (ионосферных штормов) за счет передачи потребителям двухчастотных оценок ионосферных запаздываний ОП ЛККС.

2. Многочастотные системы позволят повысить качество решения навигационной задачи в ДР за счет использования сглаживания измеренных псевдодальностей с учетом приращений линейной комбинации полных фаз, свободной от влияния ионосферы.

3. Использование сигналов систем Galileo и COMPASS наряду с уже используемыми сигналами ГНСС ГЛОНАСС и GPS позволит существенно улучшить показатели готовности и непрерывности обслуживания систем GBAS в районах аэродромов, в которых часть небосклона затеняется близко расположенными горными массивами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Затучный Д.А.** Повышение точности оценки достоверности информации, передаваемой при автоматическом зависимом наблюдении на основе анализа качества дополнительных данных // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2016. № 1. С. 225–226.
2. **Затучный Д.А.** Влияние погрешностей при измерении псевдодальностей на навигационные определения воздушных судов при помощи СРНС // Научный Вестник МГТУ ГА. 2014. № 210(12). С. 127–128.
3. **Завалишин О.И.** Улучшение точности навигации и посадки с использованием GBAS II/III категории // Информатизация и связь. 2017. № 2. С. 18–21.
4. **Завалишин О.И.** Оценка работоспособности наземной станции GBAS // Информатизация и связь. 2017. № 2. С. 22–26.
5. **Затучный Д.А.** Сравнение линий передачи данных VDL-2 и 1090 ES // Научный Вестник МГТУ ГА. 2014. № 209. С. 88–91.
6. **Затучный Д.А.** Выбор линии передачи данных для реализации режима автоматического зависимого наблюдения // Научный Вестник МГТУ ГА. 2012. № 186. С. 149–151.
7. **Нечаев Е.Е., Лазарев А.И.** Диспетчерское обслуживание воздушного движения на дистанционно управляемом аэродроме // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 214(4). С. 131–136.
8. **Дивак Н.И., Нечаев Е.Е.** Анализ структуры воздушного пространства МВЗ // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 221(11). С. 13–17.
9. **Нечаев Е.Е., Лазарев А.И.** Спутниковая радиосвязь в дистанционной системе управления воздушным движением // Научный Вестник МГТУ ГА. 2014. № 209. С. 25–29.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Завалишин Олег Иванович, генеральный директор ООО «НППФ «Спектр»,
avia@nppf-spectr.ru.

ABOUT TWO-STAR GBAS

Oleg I. Zavalishin¹

¹ LLC NPPF Spectrum, Moscow, Russia

ABSTRACT

The problem of accurate navigation support for landing systems is of great importance in our time in connection with the constantly increasing intensity of air traffic in major airports. At present, there is a trend towards a transition to navigational identification of aircraft by satellite radio navigation systems. Currently, two global navigation satellite systems, composed of navigational spacecraft – the Russian GLONASS system and the USA GPS system – operate in full. Moreover, to provide the necessary accuracy of positioning and data integrity the additional means are used – differential corrections. The article gives evidence of increasing the accuracy of positioning using the GBAS system. It is shown that the positioning with using GBAS ensures data integrity, corresponding to the category of «critical data» in accordance with ICAO requirements. The technical advantages of the Russian GBAS station are given. A comparative analysis of GBAS and the ILS landing system has been carried out. The article proves the urgency of the functional augmentation development of multi-frequency multi-system terrestrial systems. To calculate the characteristics of the maintenance continuity of the GBAS system, the complex technical systems effectiveness method of evaluation was used. Numerical data are presented on the probability of solving the navigation problem in the differential mode for the nominal mode. The calculation of the maintenance continuity characteristics of the GBAS system based on the complex technical systems effectiveness method of evaluation was carried out. The advantages of using the mobile version of the GBAS LKKS-A-2000 station are substantiated to provide the helicopters with an instrument approach for landing on unprepared sites. The figure shows the implementation of coordinates estimation errors in the differential mode in solving the navigation problem using 5 navigation satellites of the GPS system. The figure shows the implementation of estimation errors for the same record in using all visible and navigational satellites. The figure shows the number of visible navigation satellites.

Key words: GBAS system, differential corrections, a system of functional augmentation, a complex technical system.

REFERENCES

1. **Zatuchny, D.A.** (2016). *Povyshenie tochnosti ocenki dostovernosti informacii, peredaemoj pri avtomaticheskom zavisimom nablyudenii na osnove analiza kachestva dopolnitel'nyh dannyh* [Increase of accuracy of an estimation of reliability of the information transferred at automatic dependent supervision on the basis of the analysis of quality of the additional data]. Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality", no. 1, pp. 225–226. (in Russian)
2. **Zatuchny, D.A.** (2014). *Vliyanie pogreshnostej pri izmerenii psevdodal'nostej na navigacionnye opredeleniya vozдушnyh sudov pri pomoshchi SRNS* [The effect of errors in the measurement of pseudoranges on navigational definitions of aircraft using SRNS]. Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, no. 12(210), pp. 127–128. (in Russian)
3. **Zavalishin, O.I.** (2017). *Uluchshenie tochnosti navigacii i posadki s ispol'zovaniem GBAS II/III kategorii* [Improving the accuracy of navigation and landing using the GBAS II / III category]. Journal of Informatization and Communication, no. 2, pp. 18–21. (in Russian)
4. **Zavalishin, O.I.** (2017). *Ocenka rabotosposobnosti nazemnoj stancii GBAS* [Evaluation of the operation of the GBAS ground station]. Journal of Informatization and Communication, no. 2, pp. 22–26. (in Russian)
5. **Zatuchny, D.A.** (2014). *Sravnenie linij peredachi dannyh VDL-2 i 1090 ES* [Comparison of data transmission lines VDL-2 and 1090 ES]. Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, no. 209, pp. 88–91. (in Russian)
6. **Zatuchny, D.A.** (2012). *Vybor linii peredachi dannyh dlya realizacii rezhima avtomaticheskogo zavisimogo nablyudeniya* [The choice of the data transmission line for implementing the automatic dependent surveillance mode]. Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, no. 186, pp. 149–151. (in Russian)

7. **Nechaev, E.E. and Lazarev, A.I.** (2015). *Dispetcherskoe obsluzhivanie vozdušnogo dvizheniya na distancionno upravlyaemom aehrodrome* [Air traffic control at a remotely operated aerodrome]. Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, no. 4(214), pp. 131–136. (in Russian)

8. **Divak, N.I. and Nechaev, E.E.** (2015). *Analiz struktury vozdušnogo prostranstva MVZ* [Analysis of the airspace structure of the cost center]. Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, no. 11(221), pp. 13–17. (in Russian)

9. **Nechaev, E.E. and Lazarev, A.I.** (2014). *Sputnikovaya radiosvyaz' v distancionnoj sisteme upravleniya vozdušnym dvizheniem* [Satellite radio communication in the remote air traffic control system]. Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, no. 209, pp. 25–29. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Oleg I. Zavalishin, General Director of LLC NPPF Spectrum, avia@nppf-spectr.ru.

Поступила в редакцию 11.09.2017
Принята в печать 15.05.2018

Received 11.09.2017
Accepted for publication 15.05.2018