

А.П. ПЛЯСОВСКИХ, А.В. РАЗУМОВ, О.И. САУТА  
**ТРЕБОВАНИЯ К ФУНКЦИЯМ  
И ТЕХНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ  
БОРТОВЫХ АВИАЦИОННЫХ НАВИГАЦИОННО-  
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

---

*Плясовских А.П., Разумов А.В., Саута О.И.* **Требования к функциям и техническим характеристикам бортовых авиационных навигационно-информационных систем.**

**Аннотация.** Рассмотрены основные требования к авиационному бортовому оборудованию спутниковой навигации, основанные на действующих российских и международных нормативных документах. Описаны функции бортового оборудования для обеспечения полетов воздушных судов в соответствии с современной концепцией навигации, основанной на характеристиках.

**Ключевые слова:** глобальные навигационные спутниковые системы, точность, непрерывность, целостность, эксплуатационная готовность.

*Plyasovskih A.P., Razumov A.V., Sauta O.I.* **Requirements to functions and technical characteristics of airborne information and navigating systems.**

**Abstract.** The basic requirements for airborne satellite navigation equipment based on the existing Russian and international regulations are reviewed. The functions of airborne equipment providing the aircraft operations in accordance with the modern concept of navigation, based on characteristics, are described.

**Keywords:** global navigation satellite systems, accuracy, continuity, integrity, availability.

---

**1. Введение.** В настоящее время глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС), включающая две системы: ГЛОНАСС (Россия) и GPS (США) является международным стандартным средством навигации [1], используемым авиационными потребителями различных типов и ведомств. Это означает, что, во-первых, ГНСС должна удовлетворять требованиям, указанным в международных Стандартах, а во-вторых, что любые изменения или дополнения к соответствующим Стандартам могут производиться на основе предварительного уведомления, по крайней мере, за шесть лет до их внедрения.

Информация о местоположении, обеспечиваемая всем пользователям ГНСС, в том числе и авиационным, выражается в геодезических координатах Всемирной геодезической системы — 1984 (WGS-84). Данные о времени выражаются в системе всемирного координированного времени (UTC).

В настоящей статье подробно остановимся на требованиях, которые предъявляются к основным функциям и техническим характеристикам авиационных бортовых навигационно-информационных систем, использующих данные ГНСС.

В современной концепции навигации, разработанной Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) и основанной на характеристиках (РВН) [2], указывается, что требования к характеристикам бортовой системы зональной навигации (RNAV) должны определяться в виде точности, целостности, эксплуатационной готовности, непрерывности и функциональных возможностей, необходимых для выполнения предполагаемых полетов в контексте концепции конкретного воздушного пространства. Концепция РВН представляет собой переход от навигации, основанной на использовании конкретных датчиков, к навигации, основанной на характеристиках. Требования к характеристикам указываются в навигационных спецификациях, в которых также определяется, какие навигационные датчики и оборудование можно использовать для обеспечения требований к заданным характеристикам. Эти навигационные спецификации излагаются достаточно подробно [1] для того, чтобы обеспечить согласованность действий на глобальном уровне путем предоставления государствам и эксплуатантам воздушных судов (ВС) инструктивного материала относительно реализации конкретного, в том числе бортового, оборудования.

Характеристики сигнала ГНСС в пространстве подробно описаны в [1] в предложении использования концепции “безотказного” приемника пользователя и без учета таких источников ошибок, как ионосфера, тропосфера, помехи, шум приемника и многолучевое распространение. Этот абстрактный приемник применяется только в качестве средства определения характеристик для комбинаций различных элементов ГНСС. Предполагается, что “безотказный” приемник должен быть приемником с номинальными характеристиками по точности и времени предупреждения, и что такой приемник не должен иметь отказов, которые затрагивают целостность, эксплуатационную готовность и непрерывность. Рассмотрим требования, предъявляемые авиационными потребителями к характеристикам бортового оборудования, и сравним их с характеристиками, потенциально обеспечиваемыми системой ГНСС.

**2. Точность.** Требования к точности, целостности, непрерывности и готовности навигационных данных, формируемых в авиационном бортовом оборудовании, использующем сигналы стандартной точности навигационных космических аппаратов (НКА) ГНСС, задаются нормативными документами [1, 3, 4, 5]. Предполагается, что для определения навигационных параметров в бортовом оборудовании ГНСС используются НКА с углом маски  $5^\circ$ , и потребитель находится в

околоземном пространстве, простирающимся до высоты 2000 км над поверхностью Земли.

Погрешность определения горизонтальных координат в бортовом оборудовании спутниковой навигации (БОСН) [6] должна быть не хуже 32 м (с вероятностью 0,95) при движении ВС с горизонтальным ускорением не более  $5.7 \text{ м/с}^2$  и скоростью изменения ускорения не более  $2.5 \text{ м/с}^3$ . При этом геометрический фактор HDOP, характеризующий расположение на небосводе используемых для определения координат НКА, должен быть не более 1.5.

Для “безотказного” приемника пользователя в [1] указано, что ошибки определения местоположения в горизонтальной плоскости канала стандартной точности ГЛОНАСС не превышают 19 м (глобальное среднее для 95% времени) и не превышают 44 м для наихудшего места в околоземном пространстве (для 95% времени).

Погрешность определения высоты над поверхностью опорного эллипсоида в БОСН [6] должна быть не хуже 66 м (с вероятностью 0,95) при движении ВС с вертикальным ускорением не более  $4.9 \text{ м/с}^2$  и скоростью изменения ускорения не более  $2.5 \text{ м/с}^3$ . При этом геометрический фактор VDOP, характеризующий расположение на небосводе используемых для определения координат НКА, должен быть не более 3.0.

Для “безотказного” приемника пользователя в [1] указано, что ошибки определения местоположения в вертикальной плоскости канала стандартной точности ГЛОНАСС не превышают 29 м (глобальное среднее для 95% времени) и не превышают 93 м для наихудшего места в околоземном пространстве (для 95% времени).

В БОСН определение путевой скорости с вероятностью 0,95 в условиях полета, оговоренных выше, должно выполняться с погрешностью не более чем 0,3 м/с, а определение путевого угла с вероятностью 0,95 при изменении путевой скорости от 100 км/ч до 1200 км/ч в условиях полета, оговоренных выше, должно выполняться с погрешностью от 35 до 3 угл. мин.

Выдача текущего значения времени UTC должна осуществляться БОСН с погрешностью не более 0,001с с вероятностью 0,95. Для “безотказного” приемника пользователя в [1] определено, что ошибки при передаче данных времени канала стандартной точности ГЛОНАСС не превышают 700 нс для 95 % времени.

**3. Непрерывность.** Непрерывность обслуживания для системы – это способность системы выполнять свои функции в течение предназначенной операции без незапланированных перерывов. Непрерыв-

ность обслуживания представляет собой среднюю вероятность того, что в течение заданного периода характеристики параметров будут находиться в рамках установленных допусков.

БОСН должно обеспечивать непрерывность выдачи данных на всех этапах полета ВС, кроме точных заходов на посадку, с показателем не хуже, чем  $1 \cdot 10^{-4}$ /час, а для точных заходов на посадку с показателем не хуже  $1 \cdot 8 \cdot 10^{-8}$ /за 15 с.

Для “безотказного” приемника пользователя в [1] определено, что непрерывность должна быть не хуже  $1 \cdot 10^{-4}$ /час.

**4. Эксплуатационная готовность.** Эксплуатационная готовность представляет собой процент времени на любом 24-часовом интервале, на котором предсказывается, что 95%-ная ошибка определения местоположения (вследствие ошибок в космическом сегменте и сегменте управления) меньше порогового значения для любой точки, находящейся в зоне действия. Она основывается на 95%-ном пороговом значении допустимых ошибок в горизонтальной и вертикальной плоскостях и эксплуатации в объеме обслуживания в течение любого 24-часового интервала. Эксплуатационная готовность обслуживания предполагает наихудшее сочетание двух неработающих спутников.

Авиационное бортовое оборудование должно обеспечивать готовность не хуже, чем 0.95. Для “безотказного” приемника пользователя в [1] определено, что эксплуатационная готовность канала стандартной точности ГЛОНАСС составляет не менее 99 % для обслуживания в горизонтальной и вертикальной плоскостях в среднем и не менее 90 % в наихудших местах.

**5. Целостность.** Под целостностью в авиационных приложениях понимают меру доверия, которая может быть отнесена к правильности информации, выдаваемой системой в целом. Целостность включает способность системы обеспечить пользователя своевременными и обоснованными предупреждениями (срабатываниями сигнализации).

Независимо от метода обеспечения контроля целостности бортовое оборудование спутниковой навигации (БОСН) должно обеспечивать контроль целостности по горизонтальным координатам ВС с характеристиками [3]: вероятность невыдачи сигнала предупреждения составляет не более 0.001 на один час полета, вероятность выдачи ложного сигнала предупреждения не более  $10^{-5}$  на один час полета.

Для “безотказного” приемника пользователя в [1] определено, что целостность должна составлять при полете по маршруту и в районе аэродрома не менее  $1 \cdot 10^{-7}$ /час, а при заходе на посадку не менее  $1 \cdot 2 \cdot 10^{-7}$ /за заход.

Анализ приведенных выше требований авиационных потребителей к точности, непрерывности, готовности, целостности и сравнению их с потенциальными возможностями системы ГЛОНАСС показывают, что эти требования могут быть обеспечены с запасом при использовании данных даже от одной из систем – ГЛОНАСС или GPS. Тем более они будут обеспечены в ГНСС, построенной на основе этих двух систем. Однако это не означает, что не требуется применения специальных мер для повышения эксплуатационных характеристик БОСН. Для этого предусмотрены разнообразные функциональные дополнения ГНСС космического, наземного и бортового базирования, позволяющие гарантировано обеспечивать требуемые характеристики БОСН.

Рассмотрим теперь функции БОСН, позволяющие обеспечивать полеты ВС в соответствии с современными требованиями к воздушной навигации [2], основанной на характеристиках.

Рассмотрим условия, при которых БОСН может быть допущено к установке на ВС для обеспечения полетов в соответствии с требованиями к полетам в системе зональной навигации, т.е. с максимальной эффективностью использования как возможностей ВС, так и воздушного пространства.

Выше уже отмечалось, что в настоящее время ГНСС является стандартным средством навигации. БОСН является основным средством навигации, если оно обеспечивает выполнение требований РВН [2] по точности, целостности, непрерывности, готовности и надежности, установленных для конкретных зон воздушного пространства, этапов полета и/или процедур при использовании ВС в контролируемом воздушном пространстве.

Рассмотрим основные функции, которые должно выполнять бортовое оборудование зональной навигации (RNAV). Более подробно эти функции описаны в [2].

**6. Отображение навигационной информации.** Важнейшими функциями БОСН являются индикация навигационных данных, включая индикацию направления полета (к/от), и индикация отказов. Отображение должно осуществляться на графическом (нечисловом) индикаторе бокового отклонения или на навигационном картографическом индикаторе, которые используются в качестве основных пилотажных приборов для навигации ВС, упреждения маневров и для индикации отказов оборудования и целостности данных.

К отображению предъявляются следующие требования:

– пилот должен видеть индикаторы, которые должны находиться в области с границами в пределах  $\pm 15^\circ$ , если смотреть вперед вдоль траектории полета,

– градуировка индикатора бокового отклонения должна быть соразмерна с любыми порогами выдачи предупреждений и срабатывания сигнализации,

– индикатор бокового отклонения должен иметь возможность отображения отклонения на полную шкалу, соответствующую текущему этапу полета,

– градуировка индикатора может устанавливаться автоматически логикой умолчания или устанавливаться на величину, полученную из навигационной базы данных; величина отклонения на полную шкалу должна быть известна или должна индексироваться пилоту в соответствии с этапом полета (маршрут, зона аэродрома, подход, заход на посадку).

Другой важной функцией является возможность постоянной индикации пилоту на основных пилотажно-навигационных приборах заданной траектории (в том числе траектории RNAV) и местоположения ВС относительно этой траектории. Когда для выполнения полетов требуется экипаж из двух пилотов, у пилота, который не пилотирует воздушное судно, также должно быть средство сопоставления заданной траектории и местоположения воздушного судна относительно траектории.

**7. Работа с навигационной базой данных.** БОСН должно поддерживать работу с навигационной базой данных, содержащей текущие навигационные данные, которые официально предоставляются для гражданской авиации и могут обновляться в соответствии с циклом регламентации и контролирования аэронавигационной информации (цикл AIRAC). Из этой базы должны извлекаться маршруты полетов и загружаться в систему RNAV. База данных должна иметь защиту от модификации хранимых данных. В БОСН должны быть средства индикации пилоту периода действительности навигационных данных. Более того, пилот ВС должен иметь возможность извлечения и индикации данных, хранящихся в навигационной базе данных и касающихся отдельных точек пути и навигационных средств, для того чтобы проконтролировать маршрут предстоящего полета.

В БОСН, используемом для полетов в режиме зональной навигации, должна существовать возможность загрузить из базы данных в систему весь участок полета по стандартным процедурам вылета (SID) или прибытия (STAR).

Оборудование должно содержать средства индикации следующих элементов, используемых при выполнении полета (либо в основном в поле зрения пилота, либо на легкодоступной странице индикатора): тип активного навигационного датчика, идентификация активной точки пути, путевая скорость или время до активной точки пути, расстояние и пеленг до активной точки пути.

**8. Выполнение плана полета.** В аппаратуре БОСН должна быть реализована возможность выполнения функции «прямо до», т.е. полет по кратчайшему расстоянию на заданную навигационную точку, и автоматической очередности прохождения участков заданного маршрута с индикацией пилоту этой очередности.

В аппаратуре должна быть предусмотрена возможность выполнения схемы полета в районе аэродрома по требованиям к полетам в режиме RNAV или RNP, которые включены в бортовую базу данных, включая возможность выполнения разворотов, а также различных режимов прохождения заданных точек маршрута.

Воздушное судно, оснащенное БОСН, поддерживающее выполнение полетов в режиме RNAV, должно иметь возможность автоматически выполнять переходы с одного участка на другой и выдерживать линии пути в соответствии с указателями окончания траектории, приведенными в спецификации ARINC 424. При этом должна обеспечиваться возможность автоматически выполнять переходы с одного участка на другой в соответствии с указателями окончания траекторий по спецификации ARINC 424. Также должна быть предусмотрена возможность осуществления полета вручную с путевым углом для выхода на курс или для следования прямо до другой контрольной точки после достижения указанной в схеме абсолютной высоты.

В БОСН, используемом на ВС, осуществляющем полеты в системе RNAV, должна быть возможность загрузки из базы данных необходимой схемы полета с использованием *названия* этой схемы, что существенно ускоряет поиск нужной схемы в базе данных и переход к полету с ее использованием.

Крайне важной является возможность индикации (в пределах основного поля зрения пилота, т.е. на всех отображаемых экранах) признака отказа системы.

Перечисленные выше функции являются необходимыми для любого современного БОСН. Их выполнение обеспечивает ВС возможность осуществлять полеты в условиях RNAV.

**9. Дополнительные функции.** С учетом основных тенденций и принципов развития бортовой авионики современные БОСН являются

многофункциональными устройствами, которые обычно выполняют множество других функций. Так, например, практически все современные БОСН обеспечивают отображение на собственном дисплее топографических масштабируемых карт, на которые накладывается информация из аэронавигационных баз данных, заданная траектория полета и текущее положение ВС.

Одновременно различное БОСН благодаря расширенному интерфейсу при сопряжении с другими бортовыми системами способно отображать множество других видов информации. К такой информации относятся: характеристики рельефа местности в направлении полета, получаемые от систем раннего предупреждения близости земли (типа TAWS), метеорологическая информация от бортовых метеолокаторов или полученная по каналам спутниковой связи, телевизионная информация от бортовых телекамер или от тепловизионных систем или систем ночного видения и др.

Отдельной функцией, которая часто интегрируется в состав современного БОСН, является поддержка режимов точного захода на посадку на аэродромы или посадочные площадки, в районе которых установлены функциональные дополнения ГНСС наземного базирования (GBAS).

Важной функцией является формирование БОСН сигналов для систем автоматического управления ВС и для индикации навигационных параметров на пилотажно-навигационных приборах. В первом случае существенно снижается нагрузка на экипаж ВС при выполнении полета, а во втором обеспечивается преемственность в использовании навигационных индикаторов при модернизации старых типов ВС.

**10. Заключение.** В настоящей статье систематизированы требования и проведен их анализ с точки зрения оснащения современных воздушных судов бортовым оборудованием спутниковой навигации. Определены основные требования к таким характеристикам как точность, целостность, непрерывность, эксплуатационная готовность. Сформулированы требования к отображению навигационной информации и характеристикам бортовой базы данных.

## Литература

1. Авиационная электросвязь. Приложение 10, т.1. Радионавигационные средства. Изд.6. Международная организация гражданской авиации. 2006.
2. Doc 9613, Руководство по навигации, основанной на характеристиках (PBN), издание 3, Международная организация гражданской авиации, 2008.



3. Квалификационные требования. КТ-34-01 «Бортовое оборудование спутниковой навигации», ред.4, Межгосударственный авиационный комитет, Москва, 2010.
4. Квалификационные требования. КТ-253 «Бортовое оборудование ГНСС/ЛККС», ред.1, Межгосударственный авиационный комитет, Москва, 2010.
5. Квалификационные требования. КТ-229 «Бортовое оборудование ГНСС/SBAS», ред.1, Межгосударственный авиационный комитет, Москва, 2007.
6. Интерфейсный контрольный документ ГЛОНАСС, ред.5, Москва, 2005.

**Плясовских Александр Петрович** — доктор технических наук, главный научный сотрудник ОАО "ВНИИРА" Санкт-Петербург, ОАО "Концерн ПВО "Алмаз-Антей". Область научных интересов: радионавигация и управление воздушным движением. Число научных публикаций — 53. Адрес: 199406, Санкт-Петербург, ул. Шкиперский проток, д.19. Тел. р.т. +7(812)335-25-55 (2695).

**Plyasovsky Alexander Petrovitch** — Doctor of Engineering, the main research associate of JSC VNIIRA St. Petersburg, JSC Concern PVO Almaz-Antey. Area of scientific interests: radio navigation and air traffic control. Number of scientific publications — 53. Address: 199406, St. Petersburg, Shkipersky Canal St. 19. Ph.. +7 (812) 335-25-55 (2695). (2878), fax +7 (812) 352-35-08.

**Разумов Александр Владимирович** — д.т.н., профессор; начальник отдела подготовки и аттестации научных кадров ОАО "ВНИИРА" Санкт-Петербург, ОАО "Концерн ПВО "Алмаз-Антей". Область научных интересов: системный анализ сложных динамических структур, радиолокация, радионавигация. Число научных публикаций — 120. Адрес: 199406, Санкт-Петербург, ул. Шкиперский проток, д.19. Тел. р.т. +7(812) 335-25-55 (1517).

**Razumov Alexander Vladimirovich** — Doctor of Engineering, professor; head of department of preparation and certification of scientific staff of JSC VNIIRA St. Petersburg, JSC Concern PVO Almaz-Antey. Area of scientific interests: system analysis of difficult dynamic structures, radar-location, radio navigation. Number of scientific publications — 120. Address: 199406, St. Petersburg, Shkipersky Canal St. 19. Ph. +7 (812) 335-25-55 (1517). (812) 352-35-08.

**Саута Олег Иванович** — к.т.н., начальник сектора ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры», г. Санкт-Петербург. Область научных интересов: радиолокация, радионавигация, управление воздушным движением. Число научных публикаций — 35. Адрес: 199406, Санкт-Петербург, ул. Шкиперский проток, д.19. Тел. р.т. +7(812)335-25-55(3715), факс +7 (812)352-35-08.

**Sauta Oleg Ivanovich** — Candidate of Technical Sciences, the chief of sector of JSC «All-Russia research institute of radio equipment», St. Petersburg. Area of scientific interests: radar-location, radio navigation, air traffic control. Number of scientific publications — 35. Address: 199406, St. Petersburg, Shkipersky Canal St. 19. Ph. +7 (812) 335-25-55 (3738), fax +7 (812) 352-35-08.

Рекомендовано ИГИТО СПИИРАН, рук. ктн, доц. А.В. Тишков.  
Статья поступила в редакцию 09.04.2012.

## РЕФЕРАТ

### ***Плясовских А.П., Разумов А.В., Саута О.И. Требования к функциям и техническим характеристикам бортовых авиационных навигационно-информационных систем.***

В настоящее время глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС), включающая две системы: ГЛОНАСС (Россия) и GPS (США), является международным стандартным средством навигации, используемым авиационными потребителями различных типов и ведомств. Это означает, что, во-первых, ГНСС должна удовлетворять требованиям, указанным в международных Стандартах, а во-вторых, что любые изменения или дополнения к соответствующим Стандартам могут производиться на основе предварительного уведомления, по крайней мере, за шесть лет до их внедрения.

В статье подробно освещаются требования, предъявляемые к основным функциям и техническим характеристикам авиационных бортовых навигационно-информационных систем, использующих данные ГНСС.

В современной концепции навигации, разработанной Международной организацией гражданской авиации и основанной на характеристиках, указывается, что требования к бортовой системе зональной навигации должны определяться в виде точности, целостности, эксплуатационной готовности, непрерывности и функциональных возможностей, необходимых для выполнения предполагаемых полетов в контексте концепции конкретного воздушного пространства. Принятая концепция представляет собой переход от навигации, основанной на использовании конкретных датчиков, к навигации, основанной на характеристиках.

Дополнительно приводятся требования к отображению навигационной информации, работе с навигационной базой данных, выполнению плана полета, а также функциям, которыми должно обладать перспективное бортовое оборудование.

В статье систематизированы требования и проведен их анализ с точки зрения оснащения современных воздушных судов бортовым оборудованием спутниковой навигации. Определены основные требования к таким характеристикам как точность, целостность, непрерывность, эксплуатационная готовность. Сформулированы требования к отображению навигационной информации и характеристикам бортовой базы данных.

## SUMMARY

### *Plyasovskih A.P., Razumov A.V., Sauta O. I.* **Requirements to functions and technical characteristics of airborne information and navigating systems.**

Nowadays the global navigation satellite system (GNSS) including two systems: GLONASS (Russia) and GPS (USA) is the international standard means of navigation used by aviation consumers of various types and departments. It means that, first of all, GNSS should meet the requirements specified in the international Standards, and secondly that any changes or additions to the corresponding Standards can be made on the basis of the prior notification, at least, in six years prior to their introduction.

In the paper the requirements to trial functions and principal specifications of the aviation onboard navigation and information systems using data of GNSS are presented.

In the modern concept of the navigation developed by International Civil Aviation Organization, and based on characteristics, it is specified that requirements to onboard system of zonal navigation should be defined in the form of accuracy, wholeness, operational readiness, continuity and functionality necessary for realization of prospective flights in a context of the concept of the concrete air space. The accepted concept represents transition from the navigation based on the use of concrete sensors to the navigation based on characteristics.

Additionally the requirements for displaying of navigation information, work with navigation database, flight plan performance, and also functions which the perspective onboard inventory should possess are described.

The requirements are systematized and their analysis from the point of view of equipment of the modern aircrafts by onboard inventory of satellite navigation is carried out. The main requirements to such characteristics as accuracy, wholeness, continuity, and operational readiness are defined. Requirements for displaying navigation information and characteristics of an onboard database are formulated.