

УДК 621.396.98.004.1

РАЗВИТИЕ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

А.С. СТЕПАНЕНКО¹

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

В статье рассмотрена история становления навигационных систем, в частности, системы «Цикада», которая на тот момент составляла конкуренцию американскому аналогу «ТРАНЗИТ», ставших платформой для создания современных глобальных навигационных систем ГЛОНАСС, GPS. Рассмотрен процесс внедрения системы ГЛОНАСС в гражданскую авиацию, ее сегменты, функции и особенности. Проанализированы этапы формирования орбитальной группировки спутниковой системы ГЛОНАСС. Проведена аналогия с американской системой GPS, европейской GALILEO, китайской навигационной системой Beidou и японским аналогом Quasi-Zenit.

Приведены подробные данные о совершенствовании американской системы GPS, начиная с 1978 г. и по настоящее время. Дана характеристика системы GPS-III, обладающей рядом дополнительных достоинств. Отмечаются особенности европейского аналога глобальной навигационной системы – GALILEO. Одной из целей данной системы является обеспечение высокоточной позиционной системы, на которую может положиться Европа независимо от российской системы ГЛОНАСС, американской – GPS и китайской Beidou. GALILEO обеспечивает уникальную глобальную функцию поиска и спасания – SAR с важнейшей функцией обратной связи. Излагаются особенности навигационной системы китайских ученых – спутниковой системы Beidou и японской глобальной спутниковой системы – Quasi-Zenith.

Рассмотрены тенденции развития глобальных навигационных систем. Ярким примером одного из путей глобализации мировых спутниковых систем является тенденция к объединению ГЛОНАСС и Beidou. Уделено внимание новейшей разработке российских ученых – автономной навигационной системе БИНС-2015, которая представляет собой бесплатформенную инерциальную навигационную систему и дает возможность осуществлять навигацию воздушного судна без подключения к глобальной спутниковой системе. Определены пути дальнейшего развития навигационных систем в РФ. При этом выделены два противоположных по своей сути направления, связанные, с одной стороны, с симбиозом российской и китайской глобальных навигационных систем, что позволит существенно упростить взаимодействие двух стран, и, с другой стороны, с созданием на каждом борту автономной навигационной системы.

Ключевые слова: развитие навигации, навигационные системы, факторы развития навигации, ГЛОНАСС, GPS, GNSS, GALILEO, Beidou, Quasi-Zenith, ТРАНЗИТ, «Цикада», COMPASS, бесплатформенные инерциальные навигационные системы, автономная навигация объекта, Компас-М1, сегменты навигационной системы.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день технологии навигации находятся на таком уровне развития, который позволяет использовать их в самых различных сферах. Спектр возможного использования навигационных систем очень широк. В мировой практике навигационные системы нашли применение не только в таких сферах, как военная и гражданская авиация, но и в судоходстве, управлении наземным транспортом, а также при выполнении геодезических работ [1–3]. Но независимо от сферы применения все навигационные системы должны отвечать основным требованиям:

- целостность;
- непрерывность работы;
- точность определения скорости передвижения объекта, времени и координат местонахождения;
- организационная, пространственная и временная доступность.

В области авиации применяются различные навигационные системы, в зависимости от целей и направления, в котором используется летательный аппарат.

Развитие средств и методов навигационного обеспечения в последнее время проходит в обстановке постоянно возрастающей интенсивности воздухоплавания, усиления требований к

точности, объему и надежности навигационной информации и оперативности ее обработки. Данные факторы, наряду с обусловленной ими необходимостью обслуживания большого количества сложной, разнотипной аппаратуры, в значительной степени усложняют деятельность пилотов по обеспечению навигационной безопасности. В первую очередь это проявляется в сложных условиях, когда цена последствий от неправильного или несвоевременно принятого решения существенно возрастает [4–7].

Использование искусственных спутников Земли (ИСЗ) для определения координат транспортных средств имеет давнюю историю. Начало разработки первой спутниковой навигационной системы ТРАНЗИТ (США) было положено в 1958 г., а ее эксплуатация началась в 1964 г. Эта система содержала 5 спутников на полярных орбитах и первоначально предназначалась для периодической коррекции систем наведения баллистических ракет морского базирования, а также исправления погрешностей корабельных инерциальных навигационных систем в любых погодных условиях. Данная система имеет погрешность нахождения местоположения объектов около 25 м, период определения координат – 1–3 часа, а время определения координат – 10–16 минут. Система ТРАНЗИТ продолжила свое развитие в GPS [8].

Подобным же образом развивалась спутниковая радионавигация и в СССР. Вначале была создана система «Цикада», развернутая в 1979 г. В ее состав входило 4 навигационных спутника с наклоном 83 градуса и с равномерным распределением плоскости орбит вдоль экватора. Она позволяла потребителю в среднем через каждые полтора-два часа входить в радиокontakt с одним из ИСЗ и определять плановые координаты своего места при продолжительности навигационного сеанса до 5–6 мин.

Дальнейшее развитие «Цикады» – разработка (с середины 70-х гг.) и развертывание системы ГЛОНАСС. Первый навигационный спутник этой системы – «Космос-1413» – был запущен в 1982 г., а в сентябре 1993 г. систему приняли в эксплуатацию. В 1995 г. завершилось развертывание СРНС ГЛОНАСС до ее штатного состава – 24 спутников. В настоящее время система является основой навигационного обеспечения потребителей и элементом Российского радионавигационного плана [9].

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Интегрирование навигационных информационных систем с системами управления открывает еще более широкие возможности по обеспечению безопасности, автоматизации процесса.

В настоящее время главной навигационной системой РФ является ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система), предназначенная для определения местоположения, скорости движения и точного времени морских, воздушных, сухопутных транспортных средств и других видов потребителей. Она разрабатывалась и внедрялась как система двойного назначения, в первую очередь, для обеспечения национальной безопасности России, а также для решения гражданских научных и производственных задач. Система ГЛОНАСС создавалась с начала 70-х гг. большой кооперацией научных гражданских и военных организаций. Первые космические аппараты серии ГЛОНАСС («Космос-1413», «Космос-1414», «Космос-1415») были выведены на орбиты 12 октября 1982 г. Запуск осуществляется ракетносителями «Протон» с космодрома Байконур. В декабре 1995 г. было завершено полное развертывание орбитальной группировки системы ГЛОНАСС, что позволило создать сплошное глобальное навигационное поле вплоть до высот 2000 км. Система ГЛОНАСС одобрена международными организациями морского флота (ИМО) и гражданской авиации (ИКАО) как один из элементов Глобальной навигационной спутниковой системы наряду с американской системой GPS. В 1994 г. система ГЛОНАСС запатентована в США. Задачи, возложенные на систему ГЛОНАСС:

- 1) создание (задание) общеземной геодезической и геоцентрической систем координат;
- 2) распространение единой глобальной высокоточной шкалы времени;

3) создание общеземной сети слежения за современными движениями земной коры;
4) координатно-временное обеспечение:
– операций в космическом пространстве;
– международной службы вращения Земли;
– процесса дистанционного зондирования Земли, осуществляемого в интересах картографирования планеты, мониторинга экологического состояния ее поверхности и атмосферы;
– работ, реализуемых методом спутниковой альтиметрии с целью слежения за уровнем мирового океана, изучения его физической поверхности, в частности, морской топографической поверхности и ее отличий от поверхности геоида (квазигеоида), а также изучения закономерностей глобальной циркуляции водных масс.

Основу системы ГЛОНАСС составляют три сегмента:

- 1) космический сегмент;
- 2) сегмент управления;
- 3) сегмент потребителей.

Космический сегмент включает 24 спутника, излучающих непрерывные радионавигационные сигналы, которые формируют сплошное радионавигационное поле на поверхности Земли и околоземном пространстве. В системе ГЛОНАСС используются навигационные космические аппараты (НКА), вращающиеся по круговой геостационарной орбите на высоте ~ 19100 км. Период обращения спутника вокруг Земли равен в среднем 11 часам 45 минутам. Время эксплуатации спутника – 5 лет; за этот период параметры орбиты спутника не должны отличаться от номинальных значений более чем на 5 %.

Сегмент управления включает наземную подсистему управления, предназначенную для контроля функционирования, подсистему непосредственного управления и подсистему информационного обеспечения сети спутников.

Сегмент наземного комплекса управления системы ГЛОНАСС – это сегмент потребителя, обеспечивающий определение пространственных координат, вектора скорости, текущего времени и других навигационных параметров в результате приема и обработки радиосигналов, принимаемых от спутников. Из этих трех частей последняя, а именно аппаратура пользователей, самая многочисленная. Система ГЛОНАСС является беззапросной, поэтому количество потребителей системы не ограничено. Помимо основной функции – навигационных определений – система позволяет производить высокоточную взаимную синхронизацию стандартов частоты и времени на удаленных наземных объектах и взаимную геодезическую привязку.

Рассматривая навигационные системы, необходимо анализировать мировые аналоги российских разработок. Отдельно стоит уделить внимание глобальной системе позиционирования GPS.

Американская система позиционирования GPS по своим функциональным возможностям аналогична российской системе ГЛОНАСС. Ее основное назначение – высокоточное определение координат потребителя, составляющих вектора скорости, и привязка к системной шкале времени. Аналогично отечественной система GPS разработана для Министерства обороны США и находится под его управлением. Как и система ГЛОНАСС, GPS состоит из космического сегмента, наземного командно-измерительного комплекса и сегмента потребителей. Орбитальная группировка GPS состоит из 28 навигационных космических аппаратов. Все они находятся на круговых орбитах с периодом обращения вокруг Земли равным 12 часам. Высота орбиты каждого спутника примерно равна 20 тыс. км. Эксплуатация навигационных спутниковых систем, в первую очередь GPS, показала неопределимые возможности систем GPS и ГЛОНАСС в определении высокоточных координат для геодезии, геофизики, космоса, авиации и т. д.

С тех пор как первый GPS-спутник был запущен в феврале 1978 г., было запущено более чем 50 спутников, начиная с GPS-I и далее 12 спутников GPS-IIR, 16 – GPS-II/IIA и 2 – GPS-IIR-M. Параметры GPS постепенно улучшались, что видно из табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Динамика параметров системы позиционирования GPS
GPS Properties Dynamics

Тип спутника	GPS-II	GPS-IIA	GPS-IIR	GPS-IIRM	GPS-IIIF
Масса, кг	885	1500	2000	2000	2170
Срок жизни	7,5	7,5	10	10	15
Бортовое время	Cs	Cs	Rb	Rb	Rb &Cs
Межспутниковая связь	Нет	Да	Да	Да	Да
Автономная работа, дней	14	180	180	180	Более 60
Антирадиационная защита	Нет	Нет	Да	Да	Да
Антенна	–	–	Улучшенная	Улучшенная	Улучшенная
Возможность настройки на орбите	Слабая	Слабая	Средняя	Сильная	Повышенная
Навигационный сигнал	L1:C/A+P L2:P	L1:C/A+P L2:P	L1:C/A+P L2:P	L1:C/A+P+M L2:C/A+P+M	L1:C/A+P+M L2:C/A+P+M L5:C
Мощность бортового передатчика	Слабая	Слабая	Средняя	Сильная	Повышенная

В настоящее время сформулированы требования к GPS-III – навигационной системе третьего поколения. Два крупнейших мировых производителя спутников Lockheed Martin и Boeing должны предложить свои варианты построения GPS-III. Первый спутник GPS-III запущен в 2012/2013, а новая спутниковая группировка заработает в новом составе к 2017/2018.

По сравнению с существующей система GPS-III будет иметь следующие особенности:

- ожидаемый срок жизни спутника – 12–18 лет;
- стоимость каждого спутника – 100–120 миллионов долларов;
- запуск двух спутников будет организован одной ракетой;
- способность борьбы с возможными помехами будет существенно усилена и интенсивность сигнала возрастет на 20 дБ;
- точность местоопределения составит 1 м без организации дополнительных мер, а такой недостаток GPS-системы, как уязвимость от внешнего воздействия, будет устранен.

Будут добавлены дополнительные услуги связи, приема и передачи сигналов бедствия и поиска объектов.

Говоря о европейском аналоге глобальной навигационной системы – GALILEO, построенной Европейским союзом и Европейским космическим агентством, стоит уделить внимание ее функциям. Кроме функций, присущих вышеуказанным навигационным спутниковым навигационным системам, одной из целей GALILEO является обеспечение высокоточной позиционной системы, на которую способна положиться Европа, независимой от российской системы ГЛОНАСС, американской системы глобальной навигации GPS и китайской системы Beidou, которые могут быть выведены из службы во время военных действий или политического конфликта.

Проект стоимостью 2 миллиарда долларов назван в честь итальянского астронома Галилео Галилея. Для работы он использует два наземных центра исследований: один в Мюнхене (Германия), второй в Фучино (Италия). В 2010 г. министры ЕС проголосовали за создание штаб-квартиры проекта в Праге (Чешская Республика). В 2011 г. первые два рабочих спутника были запущены для проверки системы. Два следующих запущены в 2012 г., что позволило провести тестирование полного цикла GALILEO. После завершения оценки спутника на орбите было запущено большее количество спутников, которые достигли первоначально способности к эксплуатации в середине десятилетия. Наконец, система GALILEO полностью завершена с за-

пуском 27 рабочих и 3 запасных спутников, и теперь у Европы есть своя независимая система навигации.

Кроме базовых бесплатных услуг навигации (позволяющих получить горизонтальные и вертикальные измерения с точностью до одного метра), GALILEO обеспечивает уникальную глобальную функцию поиска и спасения (SAR). Спутники способны передать сигнал бедствия с передатчика пользователя в Координационный центр обеспечения безопасности, который приступает к поисковым операциям. В это время система передает сигнал пользователю о том, что ситуация под контролем и помощь уже в пути. Данная функция является серьезным улучшением по сравнению с существующими системами GPS и ГЛОНАСС, которые не имеют функции обратной связи. Использование основных (с низкой точностью) услуг GALILEO бесплатно и доступно всем. Услуги уровня высокоточного определения доступны платно частным пользователям и военным.

Говоря о современном развитии навигационных систем, необходимо уделить особое внимание разработке китайских ученых. Китай ввел в эксплуатацию спутниковую систему навигации Beidou – аналог российской ГЛОНАСС и американской GPS. Beidou функционирует в тестовом режиме и предлагает для Китая и «некоторых окружающих его регионов» услуги позиционирования, навигации и определения времени. Чтобы снизить зависимость от зарубежных технологий, в 2000 г. КНР приступила к созданию собственной навигационной системы. Китайская спутниковая система навигации состоит из двух отдельных групп спутников. Первая группа Beidou-1 (рис. 1), официально названная как «Экспериментальная спутниковая навигационная система», была запущена в 2000 г. в ограниченном тестовом режиме и состояла только из трех спутников. Вторая группа Beidou-2, также известная как COMPASS, находится в стадии создания, которое предполагается завершить к 2020 г. В начале 2000-х гг. китайская Beidou-1 отставала от GPS и ГЛОНАСС минимум на поколение. Экспериментальная спутниковая система работала медленнее, давала худшие результаты и была в десятки раз дороже.



Рис. 1. Зона покрытия Beidou-1
Fig. 1. Beidou-1 coverage area

В 2004 г., с началом создания Beidou-2, произошла модернизация технологий и ситуация изменилась в лучшую сторону. В течение семи лет Китай вывел на орбиту четыре экспериментальных спутника, а в 2007-м запустил «Компас-М1» – первый спутник группировки Beidou-2. К 2020 г. Китай хочет сделать систему Beidou глобальной и начать предоставлять услуги высокоточного позиционирования по всему миру. На сентябрь 2016 г. запущено 23 спутника. Ожидается, что полная группировка Beidou будет насчитывать 35 спутников.

Также необходимо рассмотреть японский аналог глобальной спутниковой системы – Quasi-Zenith (рис. 2). Всего в спутниковый сегмент входят 3 спутника, орбиты которых будут выбраны таким образом, чтобы их подспутниковые точки описывали на земной поверхности одну и ту же траекторию с одинаковыми временными интервалами. При этом по крайней мере один спутник будет виден под углом места более 70 градусов в любое время на террито-

рии Японии и Кореи. Эта особенность и определила название навигационной системы – Quasi-Zenith (QZSS). Антенны спутников будут передавать сигналы практически во всей зоне видимости спутников, обеспечивая навигацию и передачу сигналов точного времени. Однако сигналы L1-SAIF, которые включают в себя различные поправки, позволяющие повысить точность измерений с помощью сигналов GPS и, возможно, GALILEO, будут передаваться с помощью параболической антенны только на Японию.

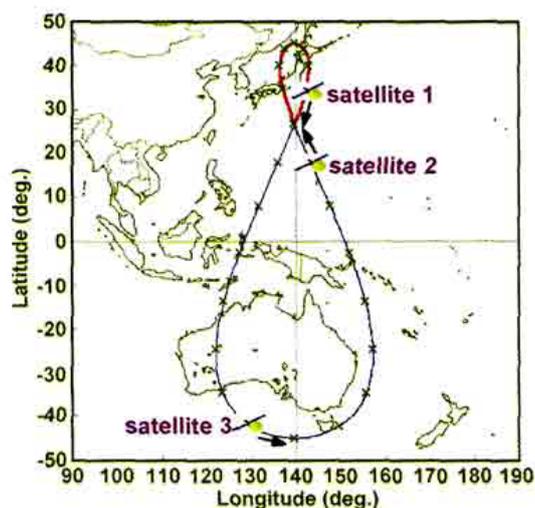


Рис. 2. Глобальная спутниковая система Quasi-Zenith
Fig. 2. Global satellite system Quasi- Zenith

Сигналы, которые будут излучать спутники QZSS, полностью совместимы с сигналами (L1 – 1575.42 МГц; L2 – 1227.60 МГц; L5 – 1176.45 МГц).

Японская QZSS в основном предназначена для улучшения характеристик GPS на национальной и некоторых соседних территориях. Ожидается, что внедрение QZSS позволит существенно повысить эффективность решения навигационных и других задач и придаст ускорение внедрению новых применений для навигации, которые требуют большей точности и надежности.

В 2015 году была разработана инновационная навигационная система российского производства БИНС-2015, которая отличается от аналогов тем, что способна работать без контакта с ГЛОНАСС и GPS.

Как стало известно, разработка уже прошла все необходимые испытания и сейчас идет работа по подготовке к массовому ее производству. Ориентировочно производство будет запущено на Раменском приборостроительном заводе, который ранее уже производил похожие инерциальные системы навигации.

Разработчики системы утверждают, что их творение способно обходиться без обмена данными с ГЛОНАСС или GPS. Российская система ГЛОНАСС так же, как и американская GPS, имеет два режима передачи навигационного сигнала – открытый и закрытый. Однако если уровень помехового сигнала выше 20 дБ, то можно заглушить любой навигационный сигнал – сейчас или в ближайшем будущем. Таким образом, для каждого стратегически важного объекта, а все объекты гражданской авиации таковыми являются, необходима автономная инерциальная навигационная система (ИНС). В силу принципа своего действия ИНС является помехозащищенным, не подверженным действиям средств из арсенала радиоэлектронной борьбы (РЭБ) источником навигационной информации, и в настоящее время одна из ее разновидностей – бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС) – находит наиболее широкое применение. Таким образом, БИНС-2015 становится прекрасным вариантом для использования на специальных бортах, требующих конфиденциальности траектории своего поле-

та. Кроме того, разработка может найти свое применение и в военной авиации. Так, например, летательные аппараты разведывательного назначения были бы гораздо менее заметны противнику с подобной инновацией на борту. И, несмотря на то, что данная система имеет некоторые недостатки, применение ее в военных целях все же вполне оправданно. Но, если верить отчету Московского института электромеханики и автоматики четырехлетней давности, разработка системы велась для гражданской авиации. БИНС-2015 способна определять местоположение летательного аппарата автономно, без использования спутниковой навигации и связи с наземными объектами. Она может в автономном режиме в условиях отсутствия сигналов извне определять координаты и параметры движения объекта, на котором установлена. Использоваться она должна была на самолетах SSJ-100 и MC-21. На данный момент опытный образец новейшей бесплатформенной инерциальной навигационной системы БИНС-2015, способной работать без связи с GPS и ГЛОНАСС, уже готов и прошел все испытания. Соответственно, встает вопрос о массовом внедрении БИНС-2015. Разработка БИНС-2015 велась в рамках опытно-конструкторской работы ИКБО ИМА («Интегрированный комплекс бортового радиоэлектронного оборудования на основе интегрированной модульной авионики»). На этом проекте создаются базовые компоненты и комплектующие бортового оборудования, которые благодаря адаптации могут быть использованы на разных типах отечественных воздушных судов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Следует подтвердить наличие нескольких конкурирующих навигационных систем.
2. Отмечается, что в 2016 г. был заключен договор по совместному функционированию ГЛОНАСС и Beidou-2. В связи с этим можно говорить о тенденциях создания единой глобальной навигационной системы над Россией и Китаем.
3. Рассматривая временные рамки внедрения каждой из вышеуказанных систем, можно говорить о стремительном развитии навигационных систем. Говоря о временных рамках совершенствования каждой из систем, важно определить период с 2018 до 2020 года как период обновления всех глобальных навигационных систем.
4. Наиболее значимой является тенденция перехода объектов гражданской авиации на бесплатформенные инерциальные навигационные системы. Эта инновация, внедренная повсеместно, должна обеспечить для каждого объекта автономность в сфере навигационных систем.
5. Таким образом, рассматривая пути развития навигационных систем в РФ, можно выделить два противоположных по своей сути направления. С одной стороны, развитие в направлении симбиоза с китайской глобальной навигационной системой, что позволит существенно упростить взаимодействие в воздушном пространстве над двумя странами. С другой стороны, упор на создание на каждом борту автономной навигационной системы свидетельствует об обратной тенденции. Однако, разделив сферы влияния взаимоисключающих подходов к формированию глобальной навигационной системы следующего поколения, можно добиться как перехода на новую ступень обеспечения безопасности полетов, так и на путь упрощения системы взаимодействий с китайской навигационной системой Beidou-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логвин А.И., Соломенцев В.В. Спутниковые системы навигации и управления воздушным движением. М.: МГТУ ГА, 2005.
2. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000.
3. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. М.: Издательство: Горячая линия – Телеком, 2005. 272 с.
4. Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации (SARPS). Т. 1 (Радионавигационные средства). ИКАО, 2004.

5. Поправки 76 и 79 к Международным стандартам и Рекомендуемой практике (SARPS). ИКАО, 2001, 2004.

6. Постановление Правительства Российской Федерации от 15 ноября 1997 г. № 1435 «О Федеральной целевой программе по использованию глобальной навигационной спутниковой системы "ГЛОНАСС" в интересах гражданских потребителей».

7. Затучный Д.А., Сладь Ж.В. Использование информации об уровне наземного обеспечения полетов ВС для планирования воздушного движения // Научный Вестник МГТУ ГА. 2016. Т. 19, № 05. С. 104–110.

8. Kaplan D.E., Hegarty C.J. Understanding GPS/ Principles and Applications/ Second Edition, ARTECH HOUSE, INC., 2006, 723 p.

9. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / под ред. В.Н. Харисова и др. М.: ИПРЖР, 1998. 400 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Степаненко Анастасия Сергеевна, старший преподаватель кафедры экономики и управления на воздушном транспорте МГТУ ГА, xumeraass@mail.ru.

THE DEVELOPMENT OF NAVIGATION SYSTEMS IN CIVIL AVIATION

Anastasiya S. Stepanenko¹

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

ABSTRACT

The article describes the history of navigation systems formation, such as "Cicada" system, which at that time could compete with the US "Transit", European, Chinese Beidou navigation system and the Japanese Quasi-Zenit.

The detailed information about improving the American GPS system, launched in 1978 and working till now is provided. The characteristics of GPS-III counterpart "Transit", which became the platform for creating such modern global navigation systems as GLONASS and GPS. The process of implementation of the GLONASS system in civil aviation, its segments, functions and features are considered. The stages of GLONASS satellite system orbital grouping formation are analyzed. The author draws the analogy with the American GPS system, the GALILEO system, which has a number of additional advantages, are given. The author remarks the features of the European counterpart of the GALILEO global navigation system. One of the goals of this system is to provide a high-precision positioning system, which Europe can rely on regardless of the Russian GLONASS system, the US - GPS and the Chinese Beidou. GALILEO offers a unique global search and rescue function called SAR, with an important feedback function. The peculiarities of Chinese scientists' navigation system, the Beidou satellite system, and the Japanese global Quasi-Zenith Satellite System are described.

Global navigation systems development tendencies are considered. The author dwells upon the path to world satellite systems globalization, a good example of which is the trend towards GLONASS and Beidou unification. Most attention was paid to the latest development of Russian scientists' autonomous navigation system SINS 2015, which is a strap-down inertial navigation system and allows you to navigate the aircraft without being connected to a global satellite system. The ways of navigation systems further development in Russia are determined. The two naturally opposite directions are given, which are connected, on the one hand, with the Russian and Chinese symbiosis global navigation system, which will significantly simplify the interaction between the two countries and, on the other hand, with the creation of autonomous navigation system on each aircraft.

Key words: navigation development, navigation systems, factors of navigation development, GLONASS, GPS, GNSS, GALILEO, Beidou, Quasi-Zenith, TRANSIT, Cicada, COMPASS, strap-down inertial navigation systems, autonomous navigation of an object, Kompas-M1, segments of the navigation system.

REFERENCES

1. Logvin A.I., Solomentsev V.V. *Sputnikovyie sistemyi navigatsii i upravleniya vozdushnyim dvizheniem* [Satellite navigation systems and air traffic control]. Moscow, MSTUCA, 2005. (in Russian)

2. **Solovev Yu.A.** *Sistemyi sputnikovoy navigatsii* [Satellite navigation systems]. Moscow, EKO-TRENDZ, 2000. (in Russian)
3. **Yatsenkov V.S.** *Osnovyi sputnikovoy navigatsii. Sistemyi GPS NAVSTAR i GLONASS* [The fundamentals of satellite navigation. Systems GPS NAVSTAR and GLONASS]. Moscow, *Izdatelstvo: Goryachaya liniya* [Publishing house 'Hotline']. Telekom, 2005, 272 p. (in Russian)
4. Appendix 10 to the Convention on International Civil Aviation (SARPS). Vol. 1 (Radio Navigation Aids). ICAO 2004. (in Russian)
5. Amendments 76 and 79 to the International Standards and Recommended Practices (SARPS). ICAO, 2001, 2004.
6. *Postanovlenie Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 15 noyabrya 1997 g. no. 1435 "O Federalnoy tselevoy programme po ispolzovaniyu globalnoy navigatsionnoy sputnikovoy sistemyi "GLONASS" v interesah grazhdanskih potrebiteley"* [Russian Federation Government Resolution on November 15, 1997 № 1435 "On the Federal Target Program for the use of global navigation satellite system" GLONASS "in the interests of civilian users."]. (in Russian)
7. **Zatuchnyiy D.A., Slad Zh.V.** *Ispolzovanie informatsii ob urovne nazemnogo obespecheniya poletov VS dlya planirovaniya vozdushnogo dvizheniya* [Using the information about the level of ground support of the aircraft for planning air traffic]. Civil Aviation High Technologies, 2016, vol. 19, no. 05, pp. 104–110. (in Russian)
8. **Kaplan D.E., Hegarty C.J.** *Understanding GPS/ Principles and Applications/ Second Edition*, ARTECH HOUSE, INC., 2006, 723 p.
9. *Globalnaya sputnikovaya radionavigatsionnaya sistema GLONASS* [The global satellite navigation system GLONASS], Ed. V.N. Harisov, etc. M., IPRZHR, 1998. 400 p. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Stepanenko Anastasiya Sergeyevna, Assistant Professor of Economics and Management in Air Transport Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, xumeraass@mail.ru.