

УДК 629.78

The Modern Development of GNSS GLONASS and GPS

**Evgeny N. Garin, Vladimir A. Kopylov,
Vasily N. Ratushniak and Igor V. Lyutikov***
*Siberian Federal University
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russia*

Received 04.01.2018, received in revised form 17.02.2018, accepted 09.04.2018

The article considers history of development, structure and fundamentals of GNSS GLONASS and GPS. Reflected distinctive characteristics, advantages and disadvantages of GNSS GLONASS and GPS. The presented system is used as a complement to GNSS and ways of further development of GNSS.

Keywords: GNSS, GLONASS, GPS, GPS/GLONASS characteristics.

Citation: Garin E.N., Kopylov V.A., Ratushniak V.N., Lyutikov I.V. The modern development of GNSS GLONASS and GPS, J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol., 2018, 11(3), 313-317. DOI: 10.17516/1999-494X-0043.

Современное развитие ГНСС ГЛОНАСС и GPS

**Е.Н. Гарин, В.А. Копылов,
В.Н. Ратушняк, И.В. Лютиков**
*Сибирский Федеральный университет
Россия, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79*

В статье рассмотрена история развития, структура и основы построения ГНСС ГЛОНАСС, GPS. Отражены ключевые характеристики и тенденции развития новых навигационных сигналов в современных НКА. Приведены отличительные особенности, достоинства и недостатки каждой из ГНСС ГЛОНАСС и GPS, а также пути их дальнейшего развития.

Ключевые слова: ГНСС, ГЛОНАСС, GPS, характеристики НКА ГЛОНАСС/GPS.

В настоящее время для определения положения и пространственной ориентации объектов широко применяются глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС): американская NAVSTAR GPS (Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System) и российская ГЛОНАСС (Глобальная Навигационная Спутниковая Система). Их глобальность

© Siberian Federal University. All rights reserved

* Corresponding author E-mail address: lyutikovigor@mail.ru

обеспечивается функционированием на околоземных орбитах навигационными космическими аппаратами (НКА), которые непрерывно передают высокоточные измерительные сигналы и создают таким образом информационное координатно-временное поле вокруг нашей планеты [1, 2].

Идея создания спутниковой навигации родилась еще в 1950-е гг. в коллективе, возглавляемом проф. В.С. Шебшаевичем, в Ленинградской военно-воздушной инженерной академии им. А.Ф. Можайского при исследовании возможностей применения радиоастрономических методов для самолетовождения. До момента, когда в СССР был запущен первый искусственный спутник Земли, ученые вели исследования по расчету траектории его полета и параметров движения, и именно тогда возник интерес к решению обратной задачи: расчету координат приемника на основании сигналов, принятых со спутника.

В 1973 году ВВС США были утверждены ведущими разработчиками оборонительной системы спутниковой навигации по программе «DNSS», позже переименованной в «NavStar», а начало работ по созданию ГЛОНАСС в СССР официально было положено в декабре 1976 г. специальным постановлением ЦК КПСС. Данный проект являлся продолжением развития отечественной навигационной спутниковой системы, начатой программой «Циклон» в 1971 г. Спутниковая система «Циклон» обеспечивала определение плановых координат местоположения кораблей ВМФ, подводных лодок для подготовки стрельбы ракетным оружием и осуществление связи между собой и с береговыми пунктами управления. Система «Циклон», как и разработанная аналогичная американская система «Транзит», использовала доплеровский метод определения местоположения.

Очевидно, что создаваемые ГНСС развертывались для сугубо военных целей, и в условиях постоянной гонки вооружений ведущих стран мира вооружение и военная техника остро нуждались в высокоточной системе позиционирования, действующей в любом месте земного шара, круглосуточно доступной, всепогодной для любого военного объекта. При этом современное оружие, которое имеет огромную разрушительную силу, требовало высокоточного наведения на цели и объекты противника. Несомненно, что в будущих современных вооруженных конфликтах победит тот, кто первый и с максимальной точностью нанесет упреждающие удары по всей инфраструктуре противника. С конца 80-х гг. прошлого столетия и по сей день системы ГНСС играют первичную роль в проведении военных операций США и стран блока НАТО по всему миру.

Основные технические характеристики существующих и разрабатываемых ГНСС приведены в [1]. В отличие от системы GPS спутники ГЛОНАСС в своем орбитальном движении не имеют резонанса (синхронности) с гравитационным полем Земли и центробежной силой, вызванной ее суточным вращением, что обеспечивает им большую стабильность. Таким образом, группировка НКА ГЛОНАСС не требует дополнительных корректировок в течение всего срока активного существования. Тем не менее срок службы спутников ГЛОНАСС по мере их модернизации меньше на 5–7 лет по сравнению с НКА GPS. Для справки следует упомянуть тот факт, что на 2017 г. введено в эксплуатацию 123 НКА ГЛОНАСС, при этом общее число запущенных спутников NAVSTAR почти в два раза меньше и составляет всего 72.

Различается и структура навигационного сообщения ГЛОНАСС и GPS: благодаря тому, что в ГЛОНАСС длительность суперкадра, состоящего из 5 кадров по 30 с состав-

ляет 2,5 мин, а в GPS суперкадр состоит из 25 кадров по 30 с, и его длительность составляет 12,5 мин, в ГЛОНАСС, в отличие от GPS, происходит более быстрое обновление альманаха.

В ГНСС GPS для разделения навигационных сигналов НКА используется кодовая последовательность Голда в диапазонах: $L1=1575,42$ МГц и $L2=1227,60$ МГц (начиная с Блока PIR-M), а модели ИФ будут излучать также на $L5=1176,45$ МГц. В ГЛОНАСС НКА используют одну и ту же псевдослучайную кодовую последовательность для передачи открытых сигналов, однако каждый спутник передает на разной частоте, используя 15-канальное разделение по частоте (FDMA). Сигнал в диапазоне $L1$ находится на центральной частоте 1602 МГц, а $L2$ – на центральной частоте 1246 МГц.

Сравнивая способы разделения сигналов, к достоинствам кодового разделения сигналов по сравнению с частотным можно отнести отсутствие влияния неравномерности группового времени запаздывания радиочастотного тракта на точность координатных определений, более низкое энергопотребление навигационных приемников. При этом у частотного способа разделения сигналов более высокая степень различимости навигационных сигналов, которая обеспечивает лучшие характеристики их поиска и меньшую уязвимость к узкополосным помехам.

По мере развития и эксплуатации ГНСС совершенствуются многие характеристики запускаемых НКА и вводятся новые навигационные сигналы. Так, начиная с НКА GPS-PIRM, введен в эксплуатацию новый М-код, использование которого позволяет обеспечить функционирование системы в рамках программы навигационная война «Navwar». М-код передается на существующих частотах $L1$ и $L2$ [1, 4]. Данный сигнал обладает повышенной помехоустойчивостью, и еще одной особенностью М-кода станет возможность его передачи для конкретной области диаметром в несколько сотен километров, где мощность сигнала будет выше на 20 децибел. Обычный М-код уже доступен в спутниках PIR-M, а узконаправленный будет доступен только при помощи спутников GPS-III.

В ГЛОНАСС на 2018 г. намечен запуск усовершенствованного НКА «Глонасс-К2», доработанного по результатам испытаний НКА «Глонасс-К1». В дополнение к открытому CDMA сигналу в диапазоне $L3$ появятся два открытых и два шифрованных сигнала в диапазонах $L1$ и $L2$. После полного перехода на CDMA-сигналы предполагается постепенное увеличение количества НКА в группировке с 24 до 30, что, возможно, потребует отключения сигналов FDMA. Рассматриваются варианты с запуском в будущем дополнительных спутников по высокоэллиптической орбите типа «Молния» или «Тундра» либо по геосинхронной или геостационарной орбите, что должно обеспечить более высокую доступность в отдельных регионах за счет дифференциальной коррекции сигналов ГЛОНАСС от основных спутников. В настоящее время проводится ряд ОКР по увеличению срока службы НКА ГЛОНАСС на орбите. Дополнительно следует отметить, что использование в навигационной аппаратуре фазовых режимов обработки сигналов, реализация режимов определения пространственной ориентации объектов, применение фазовых относительных измерений координат и высокоточной частотно-временной синхронизации обеспечивает существенное научно-техническое и эксплуатационное преимущество навигационного оборудования (подчас уникального, не имеющего конкурентных аналогов в мире) [3].

Для повышения точности координатно-временных определений потребителей в GPS широко развита сеть дифференциальных и беззапросных базовых станций GPS, расположенных по всему земному шару, которая позволяет практически в любой точке мира минимизировать эфемеридные, ионосферные и тропосферные погрешности измерений.

На территории США, Канады, Японии, КНР, Европейского Союза и Индии имеются станции WAAS, EGNOS, MSAS, International GNSS Service и т.д., передающие поправки для дифференциального режима, что позволяет снизить погрешность до 1–2 м на территории этих стран, а при использовании более сложных дифференциальных режимов точность определения координат можно довести до 10 см [4]. Всего на июнь 2016 г. по миру насчитывается более 500 действующих базовых станций, из них поддерживают ГЛОНАСС и другие системы 153 станции.

В системе ГЛОНАСС используется система дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ), которая служит функциональным дополнением для повышения точности, обеспечения целостности определения координат потребителей по открытому доступу ГЛОНАСС. Сейчас 22 станции СДКМ в основном располагаются на территории России и полярных станциях Антарктиды.

Эфемериды системы ГЛОНАСС определяются по запросным и беззапросным измерениям дальностей, а положение шкал времени КА – по одномоментным измерениям. Основным элементом беззапросной технологии эфемеридно-временного обеспечения является использование сети беззапросных измерительных станций (БИС). В системе GPS определение эфемерид и временных поправок проводится только по беззапросным измерениям временных задержек и фазы несущей сигналов с использованием БИС. На текущий момент перерыв радионаблюдения за НКА ГЛОНАСС сетью БИС составляет приблизительно 6–7 ч. В системе GPS БИС расположены во всех полушариях Земли, что обеспечивает наблюдение сегментом БИС за НКА GPS практически весь виток. Для полноценной работы БИС ГЛОНАСС целесообразно создавать как минимум еще 15–20 станций, равномерно расположенных в Западном и Южном полушариях Земли.

Необходимо отметить, что в настоящее время разработка и внедрение наземных беззапросных измерительных станций, высокоточной приемной аппаратуры специального назначения, комплексов спутниковой радионавигации с высокими потребительскими характеристиками позволяет использовать ГНСС на качественно новом уровне.

В настоящее время в Военно-инженерном институте Сибирского федерального университета сотрудниками лаборатории радионавигации осуществляется выполнение ОКР «Создание комплекса технических средств обеспечения функционирования измерительной станции сети БИС НКУ», целью которого является разработка, изготовление, размещение и испытания комплекса технических средств обеспечения функционирования измерительной станции БИС сети БИС НКУ. Данные комплексы обеспечивают требуемую эксплуатацию аппаратно-программных средств измерительной станции БИС. В ближайшее время планируется усилить группировку сети БИС еще несколькими опытными образцами измерительных станций.

Таким образом, в результате постоянного противоборства в «навигационной войне» России и США можно выделить следующие тенденции развития ГНСС ГЛОНАСС, GPS: использование новых навигационных криптоустойчивых сигналов; формирование особых помехоустойчивых зон навигации для специальных потребителей; увеличение срока служба НКА на

орбите; внедрение новых бортовых высокостабильных эталонов времени; применение антенн с гибким управлением ее диаграммой направленности; повышение точности определения эфемерид НКА и автономности спутниковой группировки; использование НКА на высокоэллиптических и геостационарных орбитах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в ходе реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, договор № 03.G25.31.0279.

Список литературы

[1] Перов А.И., Харисов В.Н. *ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования*, Изд. 4-е, перераб. М. : Радиотехника, 2010. 800 с. [Perov A.I., Kharisov V.N. *GLONASS. Principles of construction and operation*. Ed. 4th, pererab. M.: radio engineering, 2010. 800 p. (in Russian)].

[2] Шебшаевич В.С., Дмитриев П.П., Иванцевич Н.В. и др. *Сетевые спутниковые радионавигационные системы*, 2-е изд., перераб. и доп. М. : Радио и связь, 1993. 408 с. [Shebshaevich V.S., Dmitriev P., Ivantsevich N.V. et al. *Network satellite radio navigation systems*, 2nd ed., Rev. and extra. M. : Radio and communication, 1993. 408 p. (in Russian)].

[3] Фатеев Ю.Л., Дмитриев Д.Д., Тяпкин В.Н., Кремез Н.С., Ратушняк В.Н. Использование технологий ГНСС для высокоточных навигационных геостационарных космических аппаратов. Международная Сибирская конференция по управлению и связи (СИБКОН–2015), Омск, 2015, С. 7147250. [Fateev Yu.L., Dmitriev D.D., Tyapkin V.N., Kremez N.S., Ratushnyak V.N. The use of GNSS technologies for high-precision navigation geostationary spacecraft. International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON–2015). Proceedings. Omsk, 2015, P. 7147250. (in Russian)]

[4] *ГЛОНАСС, официальный веб-сайт Википедия*. Доступно по адресу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ГЛОНАСС>. [*GLONASS, the official web site Wikipedia*. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ГЛОНАСС>].