

УДК 629.783

DOI: 10.47813/rosnio.2022.3.96-103 EDN: [OCTBBU](#)



## Возможности спутниковых систем навигации с удалением от Земли

**О.В. Кореньков<sup>1</sup>, С.А. Разживайкин<sup>1</sup>, М.Р. Разинькова<sup>1</sup>,  
А.О. Жуков<sup>1,2,\*</sup>, А.А. Рогонова<sup>1</sup>, С.С. Херувимова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГБНУ «Аналитический центр», ул. Талалихина, 33/4, г. Москва, 109316, Россия

<sup>2</sup>ФГБУН «Институт астрономии Российской академии наук», ул. Пятницкая, 48, г. Москва, 119017, Россия

\*E-mail: aozhukov@mail.ru

**Аннотация.** Рассматривается возможность использования спутниковых систем навигации в околоземном пространстве и вырождение с учетом удаления от Земли. Представлены при каких условиях имеется возможность принимать сигналы с навигационных спутников GPS/ГЛОНАСС, космическими аппаратами на высоких орбитах.

**Ключевые слова:** космический аппарат, высота орбиты, навигационные спутники, GPS/ГЛОНАСС

## Capabilities of satellite navigation systems with distance from Earth

**O.V. Korenkov<sup>1</sup>, S.A. Razzhivaykin<sup>1</sup>, M.R. Razinkova<sup>1</sup>, A.O. Zhukov<sup>1,2,\*</sup>,  
A.A. Rogonova<sup>1</sup>, S.S. Kheruvimova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>"Analytical Center", Talalikhina Str., 33, Building 4, Moscow, 109316, Russia

<sup>2</sup>Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences, 48, Pyatnitskaya Str., Moscow, 119017, Russia

\*E-mail: aozhukov@mail.ru

**Abstract.** The possibility of using satellite navigation systems in near-Earth space and degeneracy, taking into account the distance from the Earth is considered. Presented under what conditions it is possible to receive signals from navigation satellites GPS/GLONASS, spacecraft in high orbits.

**Keywords:** satellite, orbital altitude, navigation satellites, GPS/GLONASS

## 1. Введение

На сегодняшний день в мире существуют следующие системы спутниковой навигации: GPS (США), ГЛОНАСС (Россия), Galileo (Евросоюз), Beidou (Китай), IRNSS (Индия) и QZSS (Япония). В настоящее время только две из них обеспечивают полное покрытие и бесперебойную работу для всего земного шара – GPS и ГЛОНАСС [1-8].

Основные клиенты систем спутниковой навигации расположены на поверхности Земли (пешеходы, наземный и морской транспорт) или на небольших высотах от нее (авиация). Но использование некоторых из этих систем (по крайней мере GPS и ГЛОНАСС) возможно и в околоземном космическом пространстве.

Появление такой возможности было связано со следующими причинами. Для нормального функционирования клиентский приемник систем спутниковой навигации должен одновременно принимать сигналы минимум от 4 спутников космической группировки навигационной системы. Высокая точность позиционирования достигается, если все эти спутники расположены выше горизонта не менее, чем на  $25^{\circ}$ – $30^{\circ}$ . В противном случае сигнал от навигационного спутника проходит сквозь большую толщу Земной атмосферы и ионосферы и искажается, что приводит к снижению точности.

## 2. Основная часть

В большинстве мест на Земле условие видимости спутников высоко над горизонтом можно обеспечить, но в приполярных областях (на высоких северных или южных широтах) оно нарушается. Там спутники навигационной системы всегда видны вблизи горизонта. В большей части это касается навигационной системы GPS, спутник космической группировки которой имеют наклонения орбит  $55^{\circ}$ , то также относится и к системе ГЛОНАСС, в которой наклонение орбит спутников больше –  $64,8^{\circ}$ . Для обеспечения глобального функционирования в обеих навигационных системах – и в GPS, и в ГЛОНАСС – было принято техническое решение, что центральный лепесток передающей антенны спутника, направленной на центр Земли, охватывает всю Землю с некоторым избытком.

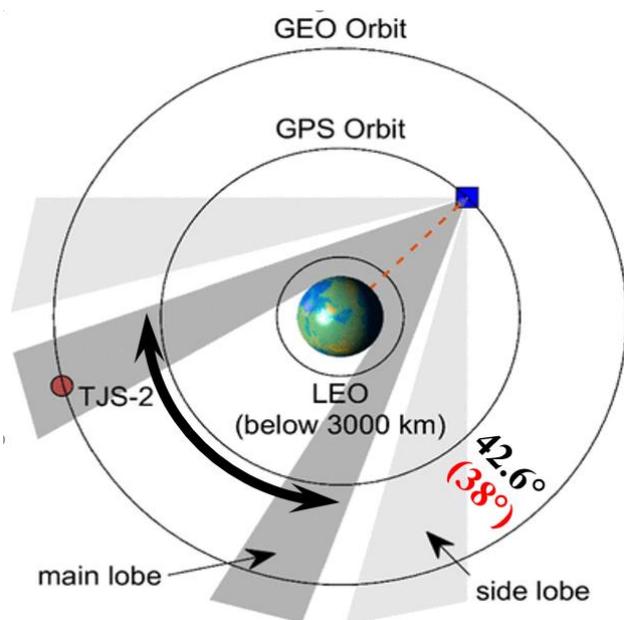
В навигационной спутниковой системе GPS высота орбиты спутников составляет около 20 тыс. км. (рисунок 1). На этой орбите видимый угловой размер Земли равен  $27,8^{\circ}$ . А ширина основной ширины диаграммы направленности передающей антенны (ее центрального лепестка) составляет  $42,6^{\circ}$  (рисунок 2) [9-12].

Любой космический аппарат (КА) на высоте менее 3000 км. над Землей всегда сможет регистрировать сигналы как минимум от 4 спутников GPS и, соответственно, сможет пользоваться навигационной системой GPS.

Все приведенные в настоящем подпункте рассуждения применимы и к спутниковой навигационной системе ГЛОНАСС со следующими поправками. Спутники ГЛОНАСС обращаются по более низким орбитам, чем спутники GPS, с высотами 19 400 км (рисунок 1). С этих орбит Земля имеет несколько больший видимый угловой размер – 29°. У излучающих антенн спутников ГЛОНАСС более узкая диаграмма направленности – ширина ее центрального лепестка составляет 38°. Из-за этого навигационную спутниковую систему ГЛОНАСС непрерывно могут использовать КА на околоземных орбитах с высотами до 2000 км.



Рисунок 1. Орбиты разных спутниковых навигационных систем.



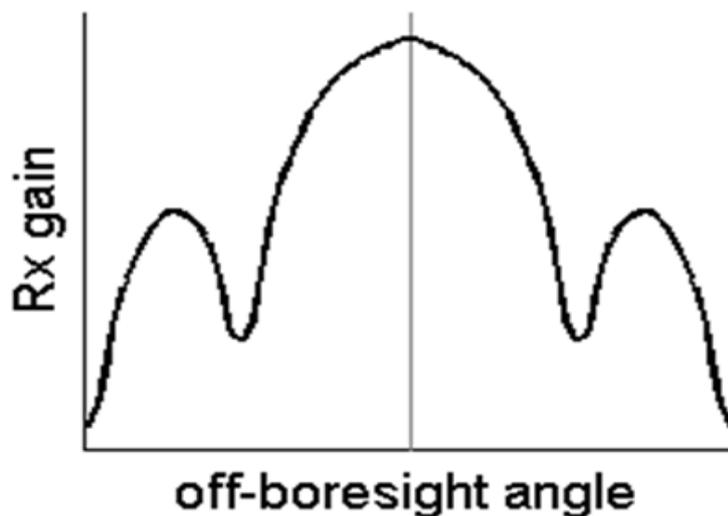
**Рисунок 2.** Иллюстрация охвата Земли сигналами со спутников GPS и ГЛОНАСС.

КА на более высоких орбитах (более 3000 км. для GPS и более 2000 км. для ГЛОНАСС) будут принимать сигналы с навигационного спутника GPS/ГЛОНАСС в следующих случаях:

- Космический аппарат располагается между спутником GPS/ГЛОНАСС и Землей и попадает в диаграмму направленности излучающей антенны (темно-серый цвет на рисунке 2);
- КА находится дальше от спутника GPS/ГЛОНАСС, чем Земля, попадает в диаграмму направленности излучающей антенны, но не перекрывается Землей;
- КА попадает в боковой лепесток излучения антенны спутника GPS/ГЛОНАСС (темно-серый цвет на рисунке 2).

На остальных участках своей орбиты КА не будет регистрировать сигналы от соответствующего спутника GPS/ГЛОНАСС. В первом случае высота КА над Землей не может превышать высоту орбиты спутников GPS/ГЛОНАСС, т.е. 20 тыс. км. или 19 тыс. км., соответственно [13-17]. Во втором и третьем случаях, высота орбит КА может быть и больше, вплоть до геостационарной орбиты, но эти КА должны располагаться по другую сторону Земли от спутника GPS/ГЛОНАСС, следовательно, расстояния между ними будут составлять десятки тысяч километров (например, для КА на геостационарной орбите – около 70 тыс. км.). Сигналы в боковых лепестках излучения антенны (третий случай) на 1-2 порядка величины слабее, чем в центральном лепестке

(рисунок 3), для их регистрации нужно большее усиление и приемные антенны большего размера.



**Рисунок 3.** Диаграмма направленности излучающей антенны навигационных спутников GPS.

КА на высотах более 3000 км. (или 2000 км.) над Землей сможет регистрировать сигналы от 4 спутников GPS/ГЛОНАСС не всегда, соответственно, в функционировании навигационной системы на борту этого КА будут появляться перерывы [18].

### 3. Выводы

По мере удаления от Земли перерывы в работе систем GPS/ГЛОНАСС возрастает, доля времени, в которое положение КА может определяться – сокращается. В промежутках между такими моментами можно интерполировать положение и движение КА, но точность, естественно, будет ниже.

При удалении от Земли на сотни тысяч километров и более геометрия космической группировки любой из околоземных спутниковых навигационных системы вырождается. С борта такого удаленного КА все с навигационные спутники наблюдаются в одной небольшой области неба, угловые расстояния между ними оказываются невелики. Из-за этого точность определения положения КА в направлении на Землю становится существенно хуже, чем в перпендикулярных направлениях.

## Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России по теме «Разработка новых методов автономной навигации космических аппаратов в космическом пространстве» 121102600068-5.

## Список литературы

1. Гамишаев, Р. А. Радионавигационные системы и их классификация / Р. А. Гамишаев, И. Н. Карцан // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2011. – № 1(7). – С. 293-295.
2. Жуков, А. О. Перспективы повышения измерительной информации для определения параметров орбиты космических аппаратов / А. О. Жуков, И. Н. Карцан // В сборнике: Решетневские чтения. Материалы XXIII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева. В 2-х частях. Под редакцией Ю.Ю. Логинова. – 2019. – С. 300-302.
3. Мурзаев, Х. А. Технология GPS и принцип ее работы / Х. А. Мурзаев, И. А. Магомедов // В сборнике: Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности. Сборник научных статей по итогам международной научной конференции. – 2020. – С. 141-143.
4. Карцан, И. Н. Эффективность радионавигационных систем / И. Н. Карцан, К. Г. Охоткин, Р. В. Карцан, Д. Н. Пахоруков // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2013. – № 3(49). – С. 48-50.
5. Жукова, Е. С. Область применения космической навигации / Е. С. Жукова, С. В. Литошик, В. И. Колесник, И. Н. Карцан // Решетневские чтения. – 2010. – № 1. – С. 146-148.
6. Митькин, А. С. Оценка параметров возмущенных орбит навигационных спутников / А. С. Митькин, В. А. Погорелов, С. В. Соколов // В сборнике: Материалы XXX конференции памяти выдающегося конструктора гироскопических приборов Н.Н. Острякова. Сборник докладов конференции. – 2016. – С. 333-338.
7. Kartsan, I. N. Applying filtering for determining the angular orientation of spinning objects during interference / I. N. Kartsan, A. E. Goncharov, P. V. Zelenkov, I. V. Kovalev,

- Y. L. Fateev, V. N., Tyapkin, D. D. Dmitriev // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – С. 012020.
8. Kartsan, I. N. Simulation modeling of functional adaptive interference nulling for multibeam hybrid reflector antenna systems / I. N. Kartsan, A. E. Goncharov, P. V. Zelenkov, I. V. Kovalev, V. N. Tyapkin, D. D. Dmitriev // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – С. 012017.
9. Ряполов, А. В. Комплексная модель цифровой антенной решетки спутниковых радионавигационных систем на корпусе летательного аппарата / А. В. Ряполов, Д. А. Гредяев, О. В. Юрченко, Н. В. Фамбулов // В сборнике: Радиотехника, электроника и связь. Сборник докладов V Международной научно-технической конференции. – 2019. – С. 163-170.
10. Микрин, Е. Ориентация, выведение, сближение и спуск космических аппаратов по измерениям от глобальных спутниковых навигационных систем / Е. Микрин, М. Михайлов. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 44 с.
11. Дворкин, В. В. Российская навигационно-информационная спутниковая система / В. В. Дворкин, Р. В. Бакитько, В. В. Куршин, А. А. Поваляев // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2018. – № 5(3). – С. 3-16
12. Fateev, Y. L. Phase methods for measuring the spatial orientation of objects using satellite navigation equipment / Y. L. Fateev, D. D. Dmitriev, V. N. Tyapkin, I. N. Kartsan, A. E. Goncharov // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Scientific and Research Conference on Topical Issues in Aeronautics and Astronautics (Dedicated to the 55th Anniversary from the Foundation of SibSAU). – 2015. – С. 012022.
13. Карцан, И. Н. Баллистическое и временное обеспечение космических аппаратов на различных орбитах / И. Н. Карцан, Е. С. Жукова, Р. В. Карцан // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2012. – № 2-2(26). – С. 19-24.
14. Карцан, И. Н. Основные качественные показатели радионавигационных систем / И. Н. Карцан, С. В. Ефремова // В сборнике: Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. В 3-х томах. Под общей редакцией Ю.Ю. Логинова. – 2020. – С. 517-519.

15. Микрин, Е. Навигация космических аппаратов по измерениям от глобальных спутниковых навигационных систем / Е. Микрин, М. Михайлов. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 344 с.
16. Суринов, А. С. Оценка точности навигационного обеспечения низкоорбитальных КА различного назначения на основе имитационного моделирования / А. С. Суринов // Информация и космос. – 2017. – № 4. – С. 70-76.
17. Карцан, И. Н. Построение наземных пунктов управления космическими аппаратами с использованием оптимизационно-имитационной модели / И. Н. Карцан // Современные инновации, системы и технологии. – 2021. № 1(2). – С. 64-71. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-2-64-71>.
18. Ковалев, И. В. Обзор III Международной конференции MIST: Aerospace-III-2020: Передовые технологии в аэрокосмической отрасли, машиностроении и автоматизации / И. В. Ковалев, Н. А. Тестоедов, А. А. Ворошилова // Современные инновации, системы и технологии. – 2021. № 1(1). – С. 1-9. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-1-1-9>.