

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

## DESIGN, CONSTRUCTION AND PRODUCTION OF AIRCRAFT

УДК 681.2

doi:10.21685/2307-5538-2021-2-9

### ОБРАЗ НИЗКООРБИТАЛЬНОГО ДОПОЛНЕНИЯ К ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКЕ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС

Н. В. Леонидов<sup>1</sup>, М. В. Митина<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> АО «"Информационные спутниковые системы" имени академика М. Ф. Решетнева», Железногорск, Россия

<sup>1,2</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

<sup>1,2</sup> nleonidov\_isi@inbox.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Цель данной статьи – популяризация идеи внедрения низкоорбитального дополнения к системе ГЛОНАСС и освещение предпосылок для создания и использования малых космических аппаратов, возникших в недавнее время. *Материалы и методы.* Анализ текущего состояния проведен в контакте с ведущими экспертами по данной тематике и на основании зарубежных публичных заявлений, в том числе из материалов международных конференций. *Результаты и выводы.* Освещены назревшие проблемы системы и предложен один из новых вариантов их решения. Можно предположить, что в ближайшие годы малые космические аппараты и низкоорбитальные группировки, состоящие из большого числа таких аппаратов, создадут и займут совершенно новую нишу на рынке спутниковых услуг с возможным постепенным вытеснением своих более крупных собратьев. Условия для этого возникнут естественным путем: экономическая целесообразность, эксплуатационное удобство и т.п. В то же время целесообразность внедрения низкоорбитального дополнения на основе малых космических аппаратов к системе ГЛОНАСС требует дополнительных исследований.

**Ключевые слова:** ГЛОНАСС, малые космические аппараты, низкоорбитальное дополнение, орбитальная группировка, предпосылки, точность

**Для цитирования:** Леонидов Н. В., Митина М. В. Образ низкоорбитального дополнения к орбитальной группировке системы Глонасс // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 2. С. 66–70. doi:10.21685/2307-5538-2021-2-9

### IMAGE OF LOW-ORBITAL ADDITION TO ORBITAL CONSTELLATION GLONASS SYSTEM

N.V. Leonidov<sup>1</sup>, M.V. Mitina<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> JSC "Information Satellite Systems" named after academician M. F. Reshetnev, Zheleznogorsk, Russia

<sup>1,2</sup> Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia

<sup>1,2</sup> nleonidov\_isi@inbox.ru

**Abstract.** *Background.* The purpose of this article is to popularize the idea of introducing a low-orbit supplement to the GLONASS system and to highlight the prerequisites for the creation and use of small spacecraft that have emerged recently. *Materials and methods.* The analysis of the current state was carried out in contact with leading experts on this topic and on the basis of foreign public statements, including from the materials of international conferences. *Results and conclusions.* The text of the article highlights the urgent problems of the system and offers one of the new solutions. It can be assumed that in the coming years, small spacecraft and low-orbit groups consisting of a large number of such vehicles will create and occupy a completely new niche in the market of satellite services with the possible gradual displacement of their larger counterparts. The conditions for this will arise naturally: economic feasibility, operational con-

venience, etc. At the same time, the feasibility of introducing a low-orbit supplement based on small spacecraft to the GLONASS system requires additional research.

**Keywords:** GLONASS, small spacecraft, low-orbit complement, orbital grouping, prerequisites, accuracy

**For citation:** Leonidov N.V., Mitina M.V. Image of low-orbital addition to orbital constellation Glonass system. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control.* 2021;2: 66–70. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2021-2-9

### Введение

По состоянию на сегодняшний день система ГЛОНАСС требует модернизации по многим параметрам:

- половина орбитальных группировок (ОГ) находится за пределами гарантированного срока активного существования (САС);
- точность абсолютного режима навигации ниже, чем у глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) других стран;
- геометрические свойства ОГ (видимость, доступность, PDOP и др.) исчерпали свой потенциал;
- длительность передачи информации целостности (информирование потребителя о непригодности навигационного сигнала космического аппарата (КА) средствами космического комплекса) превышает требуемую ИКАО и др.

Анализ направлений развития зарубежных ГНСС выявил следующие тенденции:

- интеграция различных ГНСС;
- повышение точности абсолютного режима навигации;
- снижение длительности сходимости решения при холодном старте;
- взаимодействие с сервисами высокоточной навигации и корректирующими станциями (PPP, RTK, ABAS...);
- переход на сигналы с кодовым разделением;
- стремление к навигационной независимости, в том числе с поддержкой сугубо национальных интересов;
- повышение эластичности ГНСС (устойчивости к выходу из строя отдельных низкоорбитальных космических аппаратов (НКА));
- внедрение дополнительных функций в систему;
- построение дополнений к среднеорбитальной группировке.

### Низкоорбитальное дополнение

В свете мировых тенденций развития ГНСС и технологий большой интерес представляет возможность построения низкоорбитальной группировки, которая станет дополнением к среднеорбитальной ОГ.

По мнению некоторых экспертов, для системы ГЛОНАСС следует рассматривать вариант построения, подобный китайскому. ГНСС BeiDou введена в штатную эксплуатацию глобально в 2020 г. [1]. Однако уже в 2019 г. Китай официально представил проект низкоорбитального дополнения Centispace к своей ГНСС [2]. Согласно представленным материалам, такое дополнение будет построено на базе 120 малых космических аппаратов (МКА), весом около 100 кг каждый, высота орбиты 975 км и наклонение  $55^\circ$  [2]. У Китая нет необходимости в создании навигационного поля в приполярных регионах, а выбранное наклонение позволяет затронуть ключевые региональные экономические интересы КНР.

Поскольку РФ открыто заявляет об интересах в Арктической зоне [3; 4], низкоорбитальное дополнение к ОГ ГЛОНАСС должно обеспечивать эти территории навигационным полем. Следовательно, требуются наклонения орбит, приближающиеся к  $90^\circ$ .

Из условия сохранения возможности использовать RAIM-алгоритмы на различных углах места было проведено моделирование с целью выяснения облика подобного дополнения. Результаты представлены в табл. 1 [5].

Таблица 1

Показатели	Высота 1000 км			Высота 2000 км вар. 1			Высота 2000 км вар. 2		
	Угол видимости								
	$\alpha = 5^\circ$	$\alpha = 15^\circ$	$\alpha = 25^\circ$	$\alpha = 5^\circ$	$\alpha = 15^\circ$	$\alpha = 25^\circ$	$\alpha = 5^\circ$	$\alpha = 15^\circ$	$\alpha = 25^\circ$
Видимость ГЛОНАСС + МНКА, КА	11	7	5	10	7	5	10	7	5
PDOP <sub>ср.</sub>	1,317	2,084	3,371	1,444	2,217	3,393	1,430	2,170	3,365
$N_{\text{МКА}}$	161			63			60		
$N_{\text{ПЛ}}$	7			7			5		
$i$	90°								

### *Малые космические аппараты*

Из данных табл. 1 видно, что количество НКА в низкоорбитальном дополнении должно быть большим – не менее 60 для высоты орбиты 2000 км и 161 для высоты 1000 км. При классическом способе производства и запуска КА такие количественные показатели недостижимы. Требуется совершенно иной подход к решению данного вопроса.

Для снижения стоимости производства данные аппараты должны выполняться в минимальном исполнении. Это могут быть специализированные аппараты, не несущие специальной и научно-исследовательской аппаратуры и выполняющие только задачи навигации, передачи сообщений и частотно-временных поправок. В совокупности со снижением орбиты потребуются меньшие мощности, массы и габариты относительно традиционных НКА ГЛОНАСС. Такая концепция сама подталкивает к идее разработки малых КА [6].

Малые КА при скромных массово-габаритных характеристиках могут запускаться легкими и средними ракетами-носителями большими группами, что позволит заполнять целую орбитальную плоскость за один пуск. Пополнение низкоорбитальной ОГ возможно с помощью малых РН и даже конверсионными ракетами [7].

Для аппаратов этого типа не потребуется высокий САС (предполагается на уровне 5 лет), что является отдельным свойством подобной группировки – возможность скоротечной модернизации, чего лишены крупные КА из-за своего высокого САС и длительности разработок. Это дает высокую степень гибкости в развитии всей системы. Так как требование по гарантированному САС снижено, возможно использование общедоступных компонентов для производства МКА. Такой подход позволяет нарастить фонд ЗИП на предприятии-производителе для оперативного устранения поломок. Все это позволит организовать поточное производство МКА, которое является необходимым условием для введения ОГ с высокой численностью в строй и своевременным ее поддержанием.

Опыт эскизного проектирования связанных малых аппаратов показывает возможность достижения массы 50 кг (проект Марафон). По оценкам экспертов, занимающихся проектированием космического сегмента ГЛОНАСС, аналогичный навигационный аппарат будет иметь массу около 100 кг и габариты, позволяющие производить групповые запуски в количестве до 11 НКА с помощью РН СОЮЗ-2.1в, Ангара-1.2 [8].

### *Предпосылки для проектирования малых космических аппаратов*

Как ранее не было стремления к построению негерметичных КА, так на сегодняшний день отсутствует стремление к производству малых КА и ОГ с большой численностью. Однако для прогресса назрели многочисленные предпосылки:

- развитие компьютерного программного обеспечения, позволяющего производить различные виды моделирования;
- санкционные ограничения, которые вынуждают переходить на отечественную и общедоступную электронно-компонентную базу;
- стремительное развитие композиционных материалов, позволяющих производить легкие и прочные конструкции космических аппаратов, в том числе с нестандартной конфигурацией;
- сдача строительства монтажно-испытательного корпуса в АО «ИСС» в 2021 г., который позволит организовать поточную линию производства КА с коротким циклом сборки и испытаний [9; 10];
- поиск нестандартных решений по снижению конечной стоимости производства и эксплуатации системы ГЛОНАСС;
- развитие сегмента потребителей навигационных сигналов и, как следствие, рост количества услуг, предоставляемых глобальными спутниковыми навигационными системами, включая сервисы высокоточной навигации в реальном времени;
- введение в 2021 г. новой версии интерфейсного контрольного документа (ИКД), регламентирующего порядок применения НКА с кодовым разделением сигналов и позволяющего снять ограничение в 24 КА для орбитальной группировки;
- необходимость высоких темпов обновления системы и космического сегмента в частности.

### Заклучение

В текущий момент малые КА являются новшеством. И хотя по многочисленным заявлениям и разработкам иностранных коллег [11–13] очевидно, что данные работы перспективны, неповоротливая бюрократическая машина в РФ может начать движение в их сторону слишком поздно, чтобы конкурировать с другими ГНСС.

Низкоорбитальное дополнение на основе МКА способно улучшить точность абсолютного позиционирования до дециметровой, снизить длительность информирования потребителя о целостности системы до 3 с, расширить применение сервисов высокоточной навигации, ускорить сходимость решения при холодном пуске, повысить гибкость космического сегмента, улучшить геометрические характеристики и устойчивость к попыткам выведения системы из строя.

Производство МКА даст практический опыт построения и эксплуатации таких аппаратов, который может лечь в основу многих других проектов, с постепенным уходом от традиционных методов построения спутниковых систем.

### Список литературы

1. BeiDou Navigation Satellite System // Systems. URL: <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/System/> (дата обращения: 01.02.2021)
2. Yang Long. A LEO Satellite-Based Augmentation System : презентация на 14-й встрече международного комитета по глобальным навигационным спутниковым системам. 10.12.2019. 26 с.
3. Чем занимаются в Арктике другие страны // Российская газета. URL: <https://rg.ru/2019/11/25/chem-zanimaiutsia-v-arktike-drugie-strany.html/> (дата обращения: 01.02.2021).
4. Российские владения в Арктике. История и проблемы международного-правового статуса // ТАСС. URL: <https://tass.ru/info/6312329/> (дата обращения: 01.02.2021).
5. Леонидов Н. В. Исследование и разработка перспективных направлений развития орбитальной группировки ГЛОНАСС с использованием новых сигналов CDMA : дис. магистра. СПб : БГТУ, 2020. 120 с.
6. Леонидов Н. В., Рукосуев Д. Л., Артемьев А. М. Мировые тенденции развития малых космических аппаратов // Студенческий вестник. 2020. № 21. URL: <https://studvestnik.ru/journal/stud/herald/119> (дата обращения: 07.08.2020).
7. Леонидов Н. В. Концепция низкоорбитального навигационно-связного дополнения к системе ГЛОНАСС // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки : сб. ст. по материалам ХСII Междунар. студ. науч.-практ. конф. 2020. № 8 (91). URL: [https://sibac.info/archive/technic/8\(91\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/8(91).pdf) (дата обращения: 11.08.2020).
8. Ракеты-носители // Роскосмос. URL: <https://www.roscosmos.ru/33/> (дата обращения: 01.02.2021).
9. В «ИСС» введен в эксплуатацию новый корпус // АО «ИСС». URL: <https://www.iss-reshetnev.ru/media/news/news-100918/> (дата обращения: 01.02.2021).
10. Новый комплекс для испытаний спутников // АО «ИСС». URL: <http://www.iss-reshetnev.ru/media/news/news-211019/> (дата обращения: 01.02.2021).
11. KEPLER 3<sup>rd</sup> generation Global Navigation Satellite System. URL: <https://www.kepler.global/conf/system/> (дата обращения: 02.02.2021).
12. BeiDou Navigation Satellite System. URL: <http://en.beidou.gov.cn/> (дата обращения: 02.02.2021).
13. CubeSat finds its way in space with Galileo receiver // GPS WORLD. URL: <https://www.gpsworld.com/cubesat-finds-its-way-in-space-with-galileo-receiver/> (дата обращения 02.02.2021).

### References

1. BeiDou Navigation Satellite System. *Systems*. Available at: <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/System/> (accessed 01.02.2021)
2. Yang Long. *A LEO Satellite-Based Augmentation System: prezentatsiya na 14-y vstreche mezhdunarodnogo komiteta po global'nyim navigatsionnym sputnikovym sistemam = A LEO Satellite-Based Augmentation System: presentation at the 14th meeting of the International Committee on Global Navigation Satellite Systems*. 2019:26.
3. What are other countries doing in the Arctic. *Rossiyskaya gazeta = Rossiyskaya Gazeta*. (In Russ.). Available at: <https://rg.ru/2019/11/25/chem-zanimaiutsia-v-arktike-drugie-strany.html/> (accessed 01.02.2021).
4. *Rossiyskie vladeniya v Arktike. Istoriya i problemy mezhdunarodno-pravovogo statusa = Russian possessions in the Arctic. History and problems of the international legal status*. (In Russ.). TASS. Available at: <https://tass.ru/info/6312329/> (accessed 01.02.2021).
5. Leonidov N.V. *Issledovanie i razrabotka perspektivnykh napravleniy razvitiya orbital'noy gruppировки GLONASS s ispol'zovaniem novykh signalov CDMA: dis. magistra = Research and development of prom-*

- ising directions for the development of the GLONASS orbital constellation using new CDMA signals: dis. master's degree.* Saint-Petersburg: BGTU, 2020:120. (In Russ.)
6. Leonidov N.V., Rukosuev D.L., Artem'ev A.M. Global trends in the development of small spacecraft. *Studencheskiy vestnik = Student Bulletin.* 2020;21. (In Russ.). Available at: <https://studvestnik.ru/journal/stud/herald/119> (accessed 07.08.2020).
  7. Leonidov N.V. The concept of a low-orbit navigation-connected supplement to the GLONASS system. *Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya. Tekhnicheskie nauki: sb. st. po materialam XCII Mezhdunar. stud. nauch.-prakt. konf. = Scientific community of students of the XXI century. Technical sciences: collection of articles based on the materials of the XCII International Student Scientific and Practical Conference.* 2020;8(91). (In Russ.). Available at: [https://sibac.info/archive/technic/8\(91\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/8(91).pdf) (accessed 11.08.2020).
  8. Launch vehicles. *Roskosmos.* (In Russ.). Available at: <https://www.roscosmos.ru/33/> (accessed 01.02.2021).
  9. *V «ISS» vveden v ekspluatatsiyu novyy korpus = A new building has been put into operation at ISS. AO «ISS».* (In Russ.). Available at: <https://www.iss-reshetnev.ru/media/news/news-100918/> (accessed 01.02.2021).
  10. *Novyy kompleks dlya ispytaniy sputnikov = A new complex for testing satellites. AO «ISS».* (In Russ.). Available at: <http://www.iss-reshetnev.ru/media/news/news-211019/> (accessed 01.02.2021).
  11. *KEPLER 3rd generation Global Navigation Satellite System.* Available at: <https://www.kepler.global/conf/system/> (accessed 02.02.2021).
  12. *BeiDou Navigation Satellite System.* Available at: <http://en.beidou.gov.cn/> (accessed 02.02.2021).
  13. CubeSat finds its way in space with Galileo receiver. *GPS WORLD.* Available at: <https://www.gpsworld.com/cubesat-finds-its-way-in-space-with-galileo-receiver/> (accessed 02.02.2021).

#### **Информация об авторах / Information about the authors**

##### **Николай Владимирович Леонидов**

инженер,  
АО «Информационные спутниковые системы»  
имени академика М. Ф. Решетнева»  
(Россия, Красноярский край, г. Железногорск);  
аспирант,  
Сибирский государственный университет науки  
и технологий имени академика М. Ф. Решетнева  
(Россия, г. Красноярск, проспект имени Газеты  
Красноярский Рабочий, 31)  
E-mail: nleonidov\_isi@inbox.ru

##### **Nikolay V. Leonidov**

Engineer,  
JSC "Information Satellite Systems"  
named after academician M. F. Reshetnev  
(Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, Russia);  
Postgraduate student,  
Siberian State University of Science  
and Technology named after  
academician M. F. Reshetnev  
(31 imeni Gazety Krasnoyarskiy Rabochiy avenue,  
Krasnoyarsk, Russia)

##### **Мария Витальевна Митина**

инженер,  
АО «Информационные спутниковые системы»  
имени академика М. Ф. Решетнева»  
(Россия, Красноярский край, г. Железногорск);  
аспирант,  
Сибирский государственный университет науки  
и технологий имени академика М. Ф. Решетнева  
(Россия, г. Красноярск, проспект имени Газеты  
Красноярский Рабочий, 31)  
E-mail: nleonidov\_isi@inbox.ru

##### **Mariya V. Mitina**

Engineer,  
JSC "Information Satellite Systems"  
named after academician M. F. Reshetnev  
(Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, Russia);  
Postgraduate student,  
Siberian State University of Science  
and Technology named after  
academician M. F. Reshetnev  
(31 imeni Gazety Krasnoyarskiy Rabochiy avenue,  
Krasnoyarsk, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию / Received 29.03.2021**

**Поступила после рецензирования / Revised 05.04.2021**

**Принята к публикации / Accepted 15.04.2021**