

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Е. В. Овчинникова, П. А. Шмачилин, С. Г. Кондратьева,  
Э. В. Гаджиев, А. Ю. Михайлов

**Р**ассматривается состояние развития региональных навигационных спутниковых систем. Показаны применяемые в настоящее время региональные навигационные спутниковые системы. Проводится их сравнительный анализ. Приведены составы орбитальных группировок, наклонения орбитальных плоскостей, параметры навигационных сигналов. Показаны применяемые (действующие) космические аппараты и их характеристики: срок активного существования, масса, габариты. Отмечается востребованность данного типа навигационных спутниковых систем.

**Ключевые слова:** космический аппарат, глобальная навигационная спутниковая система, региональная навигационная спутниковая система, антенно-фидерное устройство.

### Введение

Как известно [1 – 4], в настоящее время существует ряд глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС):

- глобальная позиционирующая система (*Global Positioning System – GPS*; США);
- глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС; СССР, РФ);
- «Галилео» (*Galileo*; Европейское космическое агентство);
- «Бэйдоу» (*Beidou*; КНР).

ГНСС – это система, предназначенная для определения местоположения наземных, водных и воздушных объектов, а также низкоорбитальных космических аппаратов (КА). Спутниковые системы навигации также позволяют получить скорость и направление приема сигнала. Кроме того, они могут использоваться для получения точного времени распространяющегося сигнала. Подобные системы позволяют определять координаты пользователя в любой точке земной или околоземной поверхности.

В [5] показаны следующие данные каждой из четырех ГНСС:

- параметры орбит;
- параметры действующих КА;
- параметры навигационных сигналов;
- параметры эллипсоидов (систем WGS 84, ГЛОНАСС, CGCS2000);
- виды и типы применяемых КА (различных поколений).

Также в [5] проведен анализ текущего состояния и определены дальнейшие перспективные направления развития ГНСС.

В ходе развития ГНСС появились страны, которые хотели бы получить независимость в применении навигационных данных с известных ГНСС.

Данный подход более дешевый в экономическом плане, чем развертывание полноценной глобальной навигационной системы, ввиду малого количества необходимых для работы КА. Системы такого плана носят название региональные навигационные спутниковые системы (РНСС).

Для создания зоны покрытия навигационной системой регионов в северных и южных широтах

были спроектированы квазизенитные и квазистационарные орбиты типов «Молния» и «Тундра». Преимущество данных орбит перед геостационарными системами заключается в меньшем числе спутников и меньшей мощности их передатчика для поддержания стабильного сеанса связи.

Основными пользователями данных систем являются Япония и Индия.

Также активным развитием региональной навигационной системы занимается Южная Корея.

Целью работы является сравнительный анализ существующих РНСС в части определения текущего состояния и перспектив дальнейшего развития.

### Обзор региональных навигационных спутниковых систем

В настоящее время существуют следующие РНСС: индийская навигационная спутниковая система *Navigation with Indian Constellation* (NavIC) и японская квазизенитная спутниковая система *Quazi-Zenith Satellite System* (QZSS).

### Региональная навигационная спутниковая система NavIC

В мае 2006 года Индия утвердила программу по созданию региональной навигационной спутниковой системы – *Indian Regional Navigation Satellite System* (IRNSS), которая должна обеспечить автономное навигационно-временное обеспечение на индийском полуострове [6, 7].

Первый навигационный КА IRNSS-1A был запущен 1 июля 2013 года. Формирование штатной орбитальной группировки из семи КА было завершено в 2016 году и получило новое название – NavIC.

Орбитальная группировка NavIC охватывает всю материковую часть Индии и территорию, простирающуюся на 1500 км за ее переделами, в том числе большую часть бассейна Индийского океана.

На рис. 1 представлена орбитальная группировка РНСС NavIC, а на рис. 2 – КА IRNSS-1A.

В табл. 1 – 4 приведены параметры орбитальной группировки, действующих КА, навигационных сигналов и эллипсоида системы NavIC соответственно.

### Региональная навигационная спутниковая система QZSS

Японская квазизенитная спутниковая система QZSS – региональная навигационная система, пред-

назначенная для обслуживания потребителей в Азиатско-Тихоокеанском регионе [8, 9].

Работы по созданию QZSS начались в 2003 году. Первый КА «Митибики» (*Michibiki*) был успешно запущен в сентябре 2010 года. Успешное завершение летных испытаний позволило ввести QZSS в опытную эксплуатацию 22 июня 2011 года.

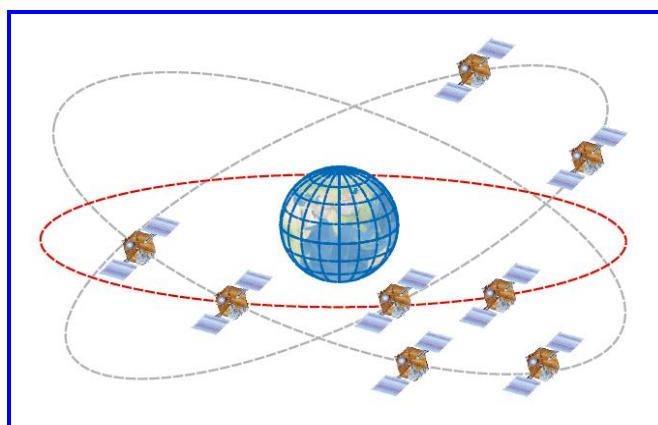


Рис. 1. Орбитальная группировка системы NavIC

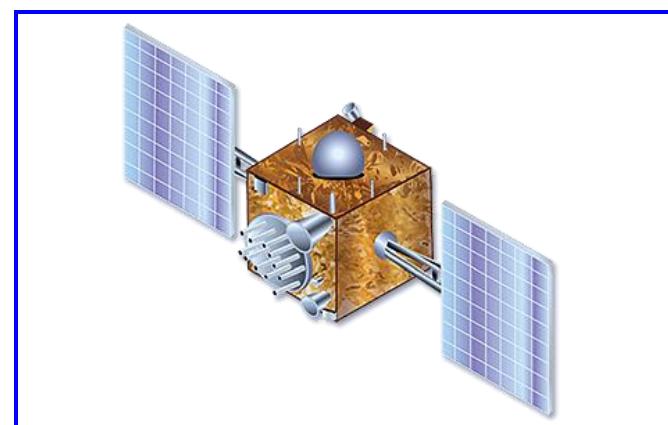


Рис. 2. Космический аппарат IRNSS-1A

Таблица 1

#### Параметры орбит системы NavIC

Тип орбиты	Параметры	Значение
5 КА на геосинхронной орбите	Количество плоскостей	2
	Наклонение	29°
	Пересечение экваториальной плоскости	55°, 111° и 75° в. д.
3 КА на геостационарной орбите	Количество плоскостей	1
	Наклонение	5°
	Пересечение экваториальной плоскости	32,5°, 83° и 129,5° в. д.

Таблица 2

#### Параметры действующих космических аппаратов системы NavIC

Параметр	Значение
Срок активного существования	Свыше 10 лет
Масса, кг	596,09
Габариты, м	1,8 × 1,626 × 1,743
Сигналы	L5, S

Таблица 3

#### Параметры навигационных сигналов системы NavIC

Диапазон	Несущая частота, МГц	Сигнал	Тактовая частота, МГц
L5	1 176,45	SPS	1,023
		RS data	2,046
		RS pilot	2,046
S	2 492,028	SPS	1,023
		RS data	2,046
		RS pilot	2,046

Таблица 4

#### Параметр эллипсоида системы NavIC (WGS 84)

Параметр	Значение
Большая полуось $a$ , м	6 378 137
Параметр сжатия эллипсоида	1/298,257223563
Угловая скорость вращения Земли, рад/с	$7 292\ 115 \times 10^{-11}$
Гравитационная постоянная Земли	$2\ 986\ 004,418 \times 10^{-8}$

Система QZSS предполагает группировку из четырех КА, три из которых на квазизенитных орbitах в трех орбитальных плоскостях. При этом орбитальные плоскости разнесены на  $120^\circ$ .

Таким образом, каждый из КА находится над территорией Японии в течение восьми часов каждые сутки. Один КА размещен на геостационарной орбите. В проект создания системы также заложена возможность последующего расширения группировки до семи КА.

В системе QZSS используется Японская геодезическая система *Japanese Geodetic System* (JGS), близкая по параметрам к Международной земной системе отсчета *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF).

На рис. 3 представлена орбитальная группировка PHCC QZSS, а на рис. 4 КА PHCC QZSS различных поколений [9].

В табл. 7 – 10 приведены параметры орбитальной

группировки, действующих КА, навигационных сигналов и эллипсоида системы NavIC соответственно.

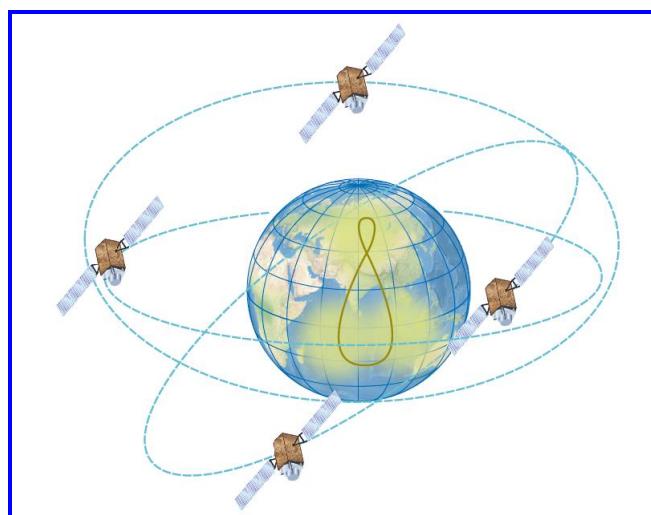


Рис. 3. Орбитальная группировка системы QZSS

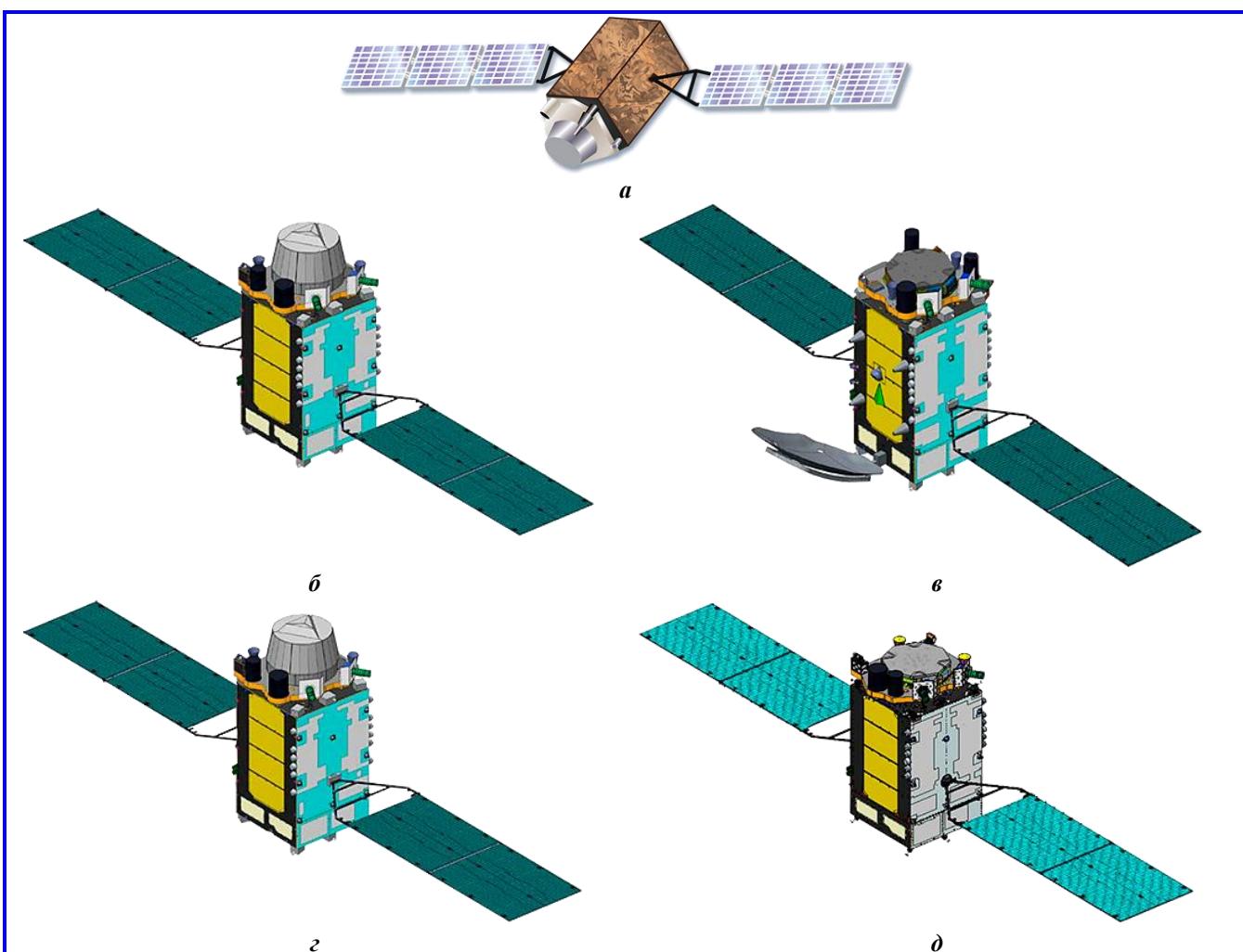


Рис. 4. Космические аппараты различных поколений системы QZSS:  
a – QZS-1; б – QZS-2; в – QZS-3; г – QZS-4; д – QZS-1R

Таблица 7

## Орбитальная группировка системы QZSS

Тип орбиты	Параметры	Значение
Три КА на квазизенитной орбите	Большая полуось	42 164 км
	Высота перигея	32 000 км
	Высота апогея	40 000 км
	Наклонение	40° ÷ 47°
	Количество плоскостей	3
Один КА на геостационарной орбите	Высота	35 786 км

Таблица 8

## Параметры действующих космических аппаратов системы QZSS

Тип аппарата	QZS-1	QZS-2	QZS-3	QZS-4	QZS-1R
Срок активного существования, лет	12	15	15	15	15
Масса, кг	1 800	1 550	1 685	1 550	1 600
Габариты, м	2,35 × 2,35 × 5,70	2,40 × 2,85 × 6,20	2,40 × 2,40 × 5,41	2,40 × 2,85 × 6,20	5,40 × 2,90 × 2,90
Сигналы	L1	L1	L1	L1	L1
	L5	L5	L5	L5	L5
	L5	L5	L5	L5	L5
	L6	L6	L6	L6	L6

Таблица 9

## Параметры навигационных сигналов системы QZSS

Диапазон	Несущая частота, МГц	Сигнал	Тактовая частота, МГц
L1	1 575,45	L1 C/A	1,023
		L1C <sub>D</sub>	1,023
		L1C <sub>P</sub>	1,023
		L1-SAIF	1,023
L2	1 227,5	L2C	1,023
L5	1 176,45	L5I	10,23
		L5Q	10,23
S	1 278,75	LEX	5,115

Таблица 10

## Параметры эллипсоида системы QZSS (JGS)

Параметр	Значение
Большая полуось $a$ , м	6 378 137
Параметр сжатия эллипсоида	1/298,257222101

## Специфика проектирования бортовых антенных систем

Бортовая антенная система является неотъемлемой частью КА любого класса и целевого назначения, в том числе ГНСС и РНСС. Бортовые антенно-фидерные устройства (АФУ), входящие в состав антенной системы КА, состоят из различных типов излучателей, СВЧ-устройств и кабельной сети.

Бортовая антенная система КА IRNSS-1A РНСС NavIC имеет дополнительные возможности, представленные антенной с двумя спиральными решетками диаметром 1,1 м, передающей сигналы в диапазонах L5 и S (см. табл. 2, 3).

Так как КА QZSS обеспечивает передачу сигналов, идентичных сигналам системы GPS, что поз-

воляет повысить доступность навигации для потребителей услуг GPS, особенно на территории с плотной городской застройкой и в гористой местности, то антенная система РНСС QZSS способна передавать сигналы L1C/A, L1C, L2C и L5. Кроме того, потребителю доступна услуга высокоточного позиционирования сантиметровой точности с помощью сигнала LEX (L6) (см. табл. 8, 9).

Более подробно бортовые антенные системы КА РНСС и ГНСС будут рассмотрены и представлены в последующих работах.

Однако при разработке и проектировании бортовых АФУ КА ГНСС и РНСС необходимо учитывать следующие особенности [10]:

1. В формировании диаграммы направленности (ДН) участвует не только собственно антenna, но и часть проводящей поверхности КА. По проводящей поверхности корпуса КА текут поверхностные токи, наводимые электромагнитными полями, создаваемыми самой antennой. Эти высокочастотные токи создают в пространстве, окружающем КА, электромагнитные поля, которые можно назвать вторичными. Вторичные поля взаимодействуют с полями antenn. Вследствие явления интерференции получается суммарное электромагнитное поле. Влияние корпуса КА необходимо всегда принимать во внимание. Это влияние является одним из основных факторов, определяющих специфику работы antenn КА.

2. На поверхности КА заказчиком отводится определенное место для установки antenn. Зачастую этого отведенного места бывает недостаточно для установления того АФУ, которое полностью бы отвечало заданным требованиям. Поэтому приходится использовать выносные элементы (кронштейны, штанги) или другие типы antenn (ленточные, выдвижные).

3. Подвергаются влиянию космического пространства (климатическое воздействие, радиация, вакуум и др.).

4. Подвергаются механическим воздействиям (при старте, в процессе выведения и т. д.).

Указанные выше особенности осложняют работу бортовых АФУ, могут привести к нежелательным явлениям, искажающим характеристики antenn, и, безусловно, создают дополнительные требования в отношении конструкций и параметров класса бортовых antenn.

### **Заключение**

Развитие РНСС имеет ряд преимуществ перед ГНСС:

- малая экономическая стоимость системы;
- развитие спутниковой связи для создания суверенитета страны в данной области;
- полная и/или частичная совместимость с действующими ГНСС, в частности GPS;
- в долгосрочной перспективе адаптивность системы и возможность ее модификации, по сравнению с ГНСС, гораздо выше из-за малого числа КА в группировке.

Из минусов развития РНСС можно отметить большую зависимость работы РНСС от ГНСС. Данный фактор касается ранних этапов развития РНСС, когда они являются системами коррекции сигналов ГНСС.

Поступила в редакцию 25.03.2025

Помимо Индии и Японии, РНСС планирует создать Южная Корея (*Korean Positioning System – KPS*). На текущий момент идет разработка данной системы, первый запуск планируется в 2027 году, а полное развертывание группировки планируется к 2035 году. В планах правительства Южной Кореи запустить восемь спутников, пять из которых будут на наклонных орбитах, с большой долей вероятности на высокоэллиптических, по примеру Японии, оставшиеся три – геостационарные.

### **Литература**

1. GPS: The Global Positioning System : [сайт]. – 2024. – URL : <https://www.gps.gov/> (дата обращения: 03.03.2025).
2. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС // Прикладной потребительский центр Госкорпорации «Роскосмос» : [сайт]. – 2024. – URL : <https://glonass-iac.ru/guide/glonass.php> (дата обращения: 03.03.2025).
3. Глобальная навигационная спутниковая система Galileo // Прикладной потребительский центр Госкорпорации «Роскосмос»: [сайт]. – 2024. – URL : <https://glonass-iac.ru/guide/gnss/galileo.php> (дата обращения: 03.03.2025).
4. Бэйдоу : [сайт]. – 2024. – URL : <http://www.beidou.gov.cn/> (дата обращения: 03.03.2025).
5. Состояние и перспективы развития глобальных навигационных спутниковых систем / Е. В. Овчинникова, П. А. Шмачилин, С. Г. Кондратьева [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2024. – Т. 203. – № 6. – С. 21–30.
6. Региональная навигационная спутниковая система NavIC // Прикладной потребительский центр Госкорпорации «Роскосмос» : [сайт]. – 2025. – URL : [">https://glonass-iac.ru/guide/gnss/navic.php#type\\_ka](https://glonass-iac.ru/guide/gnss/navic.php#type_ka) (дата обращения: 03.03.2025).
7. Indian Space Research Organisation : [сайт]. – 2025. – URL : <https://www.isro.gov.in/> (дата обращения: 03.03.2025).
8. Региональная навигационная спутниковая система QZSS // Прикладной потребительский центр Госкорпорации «Роскосмос» : [сайт]. – 2025. – URL : <https://glonass-iac.ru/guide/gnss/qzss.php> (дата обращения: 03.03.2025).
9. QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) – Cabinet Office (Japan) : [сайт]. – 2025. – URL : <https://qzss.go.jp/en/> (дата обращения: 03.03.2025).
10. Бочаров, В. С. Особенности бортовых antenn-фидерных устройств космических аппаратов / В. С. Бочаров, А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев // Перспективы развития antenn-фидерных устройств летательных аппаратов: Материалы научно-технического семинара, Истра, 25 сентября 2013 года. – Истра : Научно-исследовательский институт электромеханики, 2013. – С. 55–58.

**Елена Викторовна Овчинникова**, доктор технических наук, доцент, профессор,  
т. +7 (915) 323-40-36, e-mail: oea8888@gmail.com.

(Московский авиационный институт; МГТУ им. Н. Э. Баумана).

**Павел Александрович Шмачилин**, кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры радиофизики, антенн и микроволновой техники,  
т. +7 (916) 586-44-32, e-mail: shmachilin@gmail.com.

**Светлана Геннадьевна Кондратьева**, кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры радиофизики, антенн и микроволновой техники,  
т. +7 (915) 042-94-22, e-mail: kondratieff89@ya.ru.  
(Московский авиационный институт).

**Эльчин Вахидович Гаджиеев**, кандидат технических наук, доцент, ведущий инженер,  
т. 8 (499) 158-47-40, e-mail: gadzhiev\_elchin@mail.ru.

(Московский авиационный институт; АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).

**Артем Юрьевич Михайлов**, студент, т. 8 (499) 158-47-40, e-mail: artem.mihaylov.2024@yandex.ru.  
(Московский авиационный институт).

## STATUS AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF REGIONAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS

**E. V. Ovchinnikova, P. A. Shmachilin, S. G. Kondrateva,  
E. V. Gadzhiev, A. Yu. Mikhailov**

**T**he status of development of the regional navigation satellite systems is considered. Currently used regional navigation satellite systems are shown. Their comparative analysis is in progress. Compositions of orbital constellations, inclinations of orbital planes, and parameters of navigation signals are presented. The spacecraft are in operation and their characteristics are shown, in particular: life-time, mass and overall dimensions. It is observed that there is a demand for this type of navigation satellite systems.

**Key words:** a spacecraft, a global navigation satellite system, a regional navigation satellite system, antenna-feeder devices.

### References

1. GPS: L1 The Global Positioning System : [website]. – 2024. – URL : <https://www.gps.gov/> (date of access: 03.03.2025).
2. GLONASS global navigation satellite system // Application consumer centre of State Corporation Roscosmos : [website]. – 2024. – URL : <https://glonass-iac.ru/guide/glonass.php> (date of access: 03.03.2025).
3. Galileo global navigation satellite system // Application consumer centre of State Corporation Roscosmos : [website]. – 2024. – URL : <https://glonass-iac.ru/guide/gnss/galileo.php> (date of access: 03.03.2025).
4. Beidou : [website]. – 2024. – URL : <http://www.beidou.gov.cn/> (date of access: 03.03.2025).
5. Status and development prospects of global navigation satellite systems / E. V. Ovchinnikova, P. A. Shmachilin, S. G. Kondrateva [et al.] // Electromechanical matters. VNIIEIM studies. – 2024. – Vol. 203. – No. 6. – P. 21–30.
6. NavIC regional navigation satellite system // Application consumer centre of State Corporation Roscosmos : [website]. – 2025. – URL : <https://glonass-iac.ru/guide/gnss/navic.php> (date of access: 03.03.2025).
7. Indian space research organisation : [website]. – 2025. – URL : <https://www.isro.gov.in/> (date of access: 03.03.2025).
8. QZSS regional navigation satellite system // Application consumer centre of State Corporation Roscosmos : [website]. – 2025. – URL : <https://glonass-iac.ru/guide/gnss/qzss.php> (date of access: 03.03.2025).
9. QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) – Cabinet Office (Japan) : [website]. – 2025. – URL : <https://qzss.go.jp/en/> (date of access: 03.03.2025).
10. Bocharov, V. S. Features of onboard antenna-feeder devices of spacecraft / V. S. Bocharov, A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev // Development prospects of antenna-feeder devices for aircraft: proceedings of sci-tech seminar, Istra, September 25, 2013. – Istra : Research institute of electromechanics, 2013. – P. 55–58.

**Elena Viktorovna Ovchinnikova**, doctor of technical sciences, docent, professor,  
т. +7 (915) 323-40-36, e-mail: oea8888@gmail.com.  
(Moscow Aviation Institute; Bauman MGTU).

**Pavel Aleksandrovich Shmachilin**, candidate of technical sciences, docent, docent of the department of radiophysics, antennas and microwave technology, т. +7 (916) 586-44-32, e-mail: shmachilin@gmail.com.

**Svetlana Gennadevna Kondrateva**, candidate of technical sciences, docent, docent of the department of radiophysics, antennas and microwave technology, т. +7 (915) 042-94-22, e-mail: kondratieff89@ya.ru.  
(Moscow Aviation Institute).

**Elchin Vakhidovich Gadzhiev**, candidate of technical sciences, docent, leading engineer,  
т. 8 (499) 158-47-40, e-mail: gadzhiev\_elchin@mail.ru.  
(Moscow Aviation Institute ; JC «VNIIEIM Corporation»).

**Artem Yur'evich Mikhailov**, student, т. 8 (499) 158-47-40, e-mail: artem.mihaylov.2024@yandex.ru.  
(Moscow Aviation Institute).