

Научно-технические проблемы развития системы ГЛОНАСС в современных условиях

© С. Н. Карутин¹, А. Н. Кузенков²

¹АО «Институт навигационных технологий», г. Королев, Россия

²АО «ЦНИИмаш», г. Королев, Россия

Реферат

Рассмотрены вопросы использования услуг системы ГЛОНАСС для решения задач социально-экономического развития и научных исследований в современных условиях. Приведены текущие и перспективные требования потребителей к навигационным услугам. На основе анализа текущего состояния системы ГЛОНАСС и перспектив развития зарубежных глобальных навигационных спутниковых систем предложена стратегия развития национальной навигационной системы. Предложена классификация пространственных и непространственных методов повышения помехоустойчивости навигационной аппаратуры потребителя. Представлены прогноз развития рынка помехоустойчивой аппаратуры и общая стратегия развития ГЛОНАСС на период до 2030 г.

Ключевые слова: глобальные навигационные спутниковые системы, ГНСС, ГЛОНАСС.

Контакты для связи: Муравьев Роман Алексеевич (MuravevRA@tsniimash.ru).

Для цитирования: Карутин С. Н., Кузенков А. Н. Научно-технические проблемы развития системы ГЛОНАСС в современных условиях // Труды ИПА РАН. 2023. Вып. 67. С. 51–54.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.67.51-54>

Scientific and Technical Problems of the GLONASS System Development in Modern Conditions

S. Karutin¹, A. Kuzenkov²

¹Institute of Navigation JSC, Korolev, Russia

²JSC “TsNIIMash”, Korolev, Russia

Abstract

The article discusses the issues of using the GLONASS system to solve problems in socio-economic development and scientific research in modern conditions, and provides current and future user requirements for satellite navigation. Based on the analysis results of the current state of the GLONASS system and the ways of GNSS development, a strategy for the national navigation system progress was proposed. A classification of spatial and non-spatial methods for increasing the noise immunity of user navigation equipment, a forecast for the market development in the field of noise-resistant equipment, and a general strategy for the development of GLONASS for the period up to 2030 are presented.

Keywords: global navigation satellite systems, GNSS, GLONASS.

Contacts: Roman A. Murav`ev (MuravevRA@tsniimash.ru).

For citation: Karutin S., Kuzenkov A. Scientific and technical problems of the GLONASS system development in modern conditions // Transactions of IAA RAS. 2023. Vol. 67. P. 51–54.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.67.51-54>

На сегодняшний день спутниковые навигационные технологии вошли во все сферы экономики и являются основой технологий беспроводной связи и высокоскоростной передачи данных, управления и мониторинга транспорта, строительства и добычи полезных ископаемых, ведения высокоточного земледелия и синхронизации различных источников электроэнергии. Система ГЛОНАСС стала наиболее массовым средством передачи геоцентрической системы координат и национальной шкалы времени.

Подобная распространенность навигационных технологий привела к существенному снижению стоимости приемных устройств сигналов космических аппаратов (КА) ГЛОНАСС и зарубежных глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Доступность навигационных приемников, способных определять координаты со среднеквадратической погрешностью в единицы метров, привели к их активному использованию для террористической деятельности в качестве основного датчика определения местоположения. В резуль-

Таблица

Текущие и перспективные требования потребителей к навигационно-временному обеспечению

Параметр	Текущие характеристики	Перспективные требования
Среднеквадратическая погрешность определения местоположения, м	0.03–9.5	0.03–0.1
Доступность, %	0.95 на открытой местности при углах места КА выше 10°	0.95 в городской застройке при углах места КА выше 25°
Целостность, с	10 (70° ю.ш.; 70° с.ш.) / 2 (в зоне аэропортов)	6 (глобально) / 2 (в зоне аэропортов)
Рабочая зона	глобально	глобально
Помехоустойчивость к маскирующим помехам, дБ	40 дБ	90 дБ

тате для защиты активно развивающихся жилых агломераций, крупных промышленных центров, объектов энергетики и транспорта, а также центров управления государством массово применяются средства радиоэлектронного противодействия, формирующие различные маскирующие и имитационные помехи в диапазонах частот, выделенных для ГНСС на первичной основе. В Российской Федерации это является сложной технической задачей, поскольку Стратегией пространственного развития Российской Федерации до 2030 г. предусмотрены мероприятия по строительству комфортной и безопасной среды проживания в 469 агломерациях, занимающих площадь более 846 тыс. кв. км.

Защита самих агломераций, транспортных артерий, их соединяющих, и связанной с этим инфраструктуры выводит требование к помехоустойчивости навигационной аппаратуры для гражданских потребителей в один ряд с точностью, доступностью, целостностью и размерами рабочей зоны. Изменение требований потребителей приведены в таблице.

С момента создания система ГЛОНАСС прошла несколько этапов развития, и сегодня — это сложная система, объединяющая более 20 составных частей, развернутых в более чем 350 наземных пунктах, и орбитальную группировку из 24 КА на средних орбитах и 3 КА на геостационарной орбите (ГСО).

В совокупности данные технические средства позволяют оказывать потребителям четыре навигационные услуги:

— базовую услугу, обеспечивающую глобальную навигацию на высотах до 2000 км со среднеквадратической погрешностью (СКП) навигационных определений менее 9.5 м и погрешностью передачи времени менее 30 нс (СКП) при использовании наиболее массовой одночастотной навигационной аппаратуры потребителя (НАП), СКП определения координат составляет менее 4.5 м

и времени — менее 15 нс при использовании многочастотной НАП;

— услугу повышенной точности и надежности, которая позволяет потребителям, в первую очередь в сфере транспорта, гарантированно осуществлять навигационные определения с погрешностью менее 1 м (СКП) и предоставлять потребителям информацию о целостности навигационного поля не только ГЛОНАСС, но и зарубежных ГНСС, за время 6 с на территории РФ до 70° с.ш. посредством КА на ГСО и беспроводных каналов передачи информации через сеть Интернет;

— услугу относительной навигации, позволяющую проводить высокоточные определения координат с погрешностью менее 0.03 м (СКП) на удалениях до 20 км от опорных станций наземных локальных и региональных функциональных дополнений при использовании наземных беспроводных каналов передачи информации, преимущественно УКВ или сотовой связи;

— услугу высокой точности для решения задач навигационных определений с погрешностью менее 0.1 м (СКП) в глобальном масштабе при использовании сигналов всех доступных КА ГЛОНАСС и зарубежных ГНСС.

Развитие всех услуг ГЛОНАСС происходит в условиях кардинального изменения условий приема навигационных радиосигналов. Радионавигационное поле, формируемое КА ГЛОНАСС и зарубежными ГНСС, подвергается систематическому воздействию со стороны средств постановки затеняющих и имитационных помех. В результате, если раньше ставился вопрос противодействия индивидуальным средствам постановки помех, которые использовали некоторые грузоперевозчики, мощностью до 0.3 Вт с постановкой затеняющих помех в диапазоне L1 на дальности до нескольких десятков метров, то сегодня помеховое воздействие осуществляется от станций мощности до нескольких кВт.

Подобная ситуация требует новых решений в первую очередь на уровне НАП для сохранения доступа потребителей к привычным навигационным услугам. Основным недостатком средств постановки помех является их направленное действие (Куприянов, 2013). В течение сорокалетней истории развития НАП при создании антенной системы разработчики стремились обеспечить равномерность ее диаграммы направленности в верхней полусфере в целях исключения влияния направления прихода сигнала КА на погрешность измерения текущих навигационных параметров (Caizzone et al., 2017). В результате информация о направлении прихода сигнала конкретного КА перестала быть доступна на последующих этапах обработки сигналов.

Для снижения влияния на НАП многолучевого характера распространения сигналов КА в условиях плотной городской застройки, что соответствует имитационной помехе, проведены работы по внедрению новых радиосигналов с модуляцией меандровой поднесущей (Бакитько и др., 2020). Однако данные меры неэффективны против более мощных помех.

Алгоритмы пространственно-временной обработки сигналов позволяют повысить помехоустойчивость НАП от 20 до 60 дБ и могут применяться для обработки всех типов навигационных сигналов независимо от режима доступа (Карутин и др., 2018). Наименьший выигрыш в помехоустойчивости (до 20 дБ) среди пространственных методов обеспечивает антенный компенсатор помех. Платой за простоту его реализации является погрешность измерения текущих навигационных параметров ~ 1 м (СКП) и искажение фазы. Адаптивный формирователь лучей при средней сложности реализации обеспечивает повышение помехоустойчивости на величину до 25 дБ без искажения фазы и сигнального времени при погрешности измерений текущих навигационных параметров менее 0.1 м. Наибольшую помехоустойчивость (до 60 дБ) обеспечивают антенный компенсатор помех с многоотводными линиями задержки и пространственно-временной фильтр. Оба решения являются сложными в реализации. Антенный компенсатор на практике применять имеет смысл только в условиях, когда погрешность более 10 м (СКП) является допустимой. Данное решение сопровождается искажением при приеме как сигнального времени, так и фазы.

Использование симметричного пространственно-временного фильтра при высокой сложности реализации обеспечивает формирование измерений текущих навигационных параметров с погрешностью менее 0.1 м (СКП) и, также как в случае адаптивного формирователя лучей, сохранение фазы и сигнального времени. Практическая реализация ограничена количеством элемен-

тов многоотводной линии задержки, которые определяют точность воспроизведения импульсной характеристики для снижения до минимума дисперсии помехи в каждом канале.

Безусловно потребителям доступны и непространственные методы повышения помехоустойчивости НАП. В первую очередь это комплексирование с инерциальными акселерометрами, которые в зависимости от выбранной схемы комплексирования позволяют повысить помехоустойчивость на величину до 15 дБ. Аналогичный выигрыш можно получить при спектральном разделении сигналов с различными режимами доступа.

Внедрение пилот-сигналов позволяют повысить помехоустойчивость до 10 дБ, а совместная обработка сигналов от одного КА за счет использования при их формировании общего опорного генератора позволяет на величину порядка N дБ повысить помехоустойчивость НАП ($N = 5$ для КА «Глонасс-М» и $N = 9$ для КА «Глонасс-К2»).

Созданные технические предпосылки для обеспечения всех секторов экономики помехоустойчивой НАП определяют новый этап развития системы ГЛОНАСС, который будет характеризоваться обновлением всего парка потребительских систем и откроет глобальный рынок соответствующей аппаратуры для отечественных производителей. В настоящее время рынок приемных устройств ГНСС превышает 100 млн единиц в год и к 2030 г. очевидно будет достигнут паритет в спросе помехоустойчивых и стандартных навигационных модулей.

В РФ рынок НАП, за исключением мобильных устройств, ежегодно потребляет более 500 тыс. устройств в сфере транспорта и 35 тыс. — для энергетики и связи. Объем рынка превышает 9 млрд рублей в ценах 2022 г.

Анализ технических решений показывает, что для удовлетворения базовых потребностей экономики в гражданских помехоустойчивых решениях необходимо наличие двух помехоустойчивых модулей антенной решеткой:

- широкого применения для базовой услуги и услуги повышенной точности и надежности в сферах транспорта и передачи времени;

- высокой точности для геодезических и кадастровых работ, а также управления сельскохозяйственной и строительной техникой.

Указанные обстоятельства позволяют однозначно определить приоритетными направлениями развития ГЛОНАСС повышение помехоустойчивости национальной инфраструктуры координатно-временного и навигационного обеспечения при сохранении достигнутых характеристик по точности и доступности навигационных услуг.

В научном плане приоритетными являются исследования методов пространственно-временной

обработки сигналов КА в НАП для формирования фазовых измерений без искажений в условиях воздействия всех типов помех.

Литература

Бакитко Р. В., Дворкин В. В., Карутин С. Н. ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития / Под ред. А. И. Перова. М.: Радиотехника, 2020. 1072 с.

Карутин С. Н., Харисов В. Н., Павлов В. С. Оптимальные алгоритмы пространственно-временной обработки сигналов для высокоточных приложений // Радио-

техника. 2018. № 9. С. 131–138. URL: <http://doi.org/10.18127/j00338486-201809-23>.

Куприянов А. И. Радиоэлектронная борьба. М.: Вузовская книга, 2013. 360 с.

Caizzone S., Ciciu M.-S., Elmarissi W., et al. Effect of antenna pattern uniformity on the pseudorange tracking error // Proceedings of the 30th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2017). Portland, Oregon, September 2017. P. 3460–3470. URL: <https://doi.org/10.33012/2017.15340>.