

Научно-технические проблемы развития ГЛОНАСС в современных условиях

© С.Н. Карутин¹, А.Н. Кузенков²

¹АО "Институт навигационных технологий", г. Москва, Россия

²АО "Центральный научно-исследовательский институт машиностроения", г. Королев,
Московская
область, Россия

Реферат

В статье проанализированы требования к навигационно-временному обеспечению потребителей системы ГЛОНАСС, которые помимо повышения точности и доступности навигационных услуг ожидают обеспечения их помехоустойчивости в условиях воздействия маскирующих и имитационных помех. Рассмотрено текущее состояние и ход программ развития составных частей системы ГЛОНАСС и дана оценка уровня их конкурентоспособности в сравнении с зарубежными аналогами. Предложена классификация методов повышения помехоустойчивости и приведена оценка вклада каждого из пространственных методов в общий уровень помехоустойчивости навигационной аппаратуры потребителя (НАП). Проведен анализ вызовов и возможностей отечественного рынка НАП, который позволил сформировать стратегию ее развития для всех секторов рынка, представленную в данной статье. Сделаны выводы о приоритетных направлениях развития системы ГЛОНАСС на период до 2030 года и дальнейшую перспективу.

Ключевые слова: ГЛОНАСС, космический комплекс, помехи, навигационная аппаратура потребителя, пространственно-временная обработка сигналов.

GLONASS development scientific and technical problems in modern conditions

S. N. Karutin¹, A.N. Kuzenkov²

¹IC "Institute of Navigation Technologies", Moscow, Russia

²IC "Central scientific research institute of machine building ", Korolev, Moscow region, Russia

Abstract

The article analyzes the requirements for navigation and timing service for GLONASS users, who, in addition to improving the accuracy and availability of navigation services, expect to ensure their noise immunity under the influence of masking and imitation interference. The current state and course of programs for the development of the components of the GLONASS system are considered and an assessment of the level of their competitiveness in comparison with foreign analogues is given. A classification of methods for improving noise immunity is proposed and an assessment is made of the contribution of each of the spatial methods to the overall level of noise immunity of user navigation equipment. An analysis of the challenges and opportunities of the domestic NAP market was carried out, which made it possible to formulate a strategy for its development for all market sectors, presented in this article. Conclusions are drawn about the priority directions for the development of the GLONASS system for the period up to 2030 and beyond.

Keywords: GLONASS, space complex, jamming, navigation user equipment, spatial and time processing.

Введение

В настоящее время глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) являются самым точным глобальным всепогодным и мгновенным средством определения местоположения и временной синхронизации потребителей. Отечественная система ГЛОНАСС обеспечивает национальную независимость в сфере навигационно-временного обеспечения (НВО) за счет ее использования, во всех секторах экономики, решении задач обороны и безопасности, при проведении научных исследований.

Активное использование средств радиоэлектронной борьбы, формирующих маскирующие и имитационные помехи в частотных диапазонах, выделенных для сигналов ГНСС, привели к существенному изменению условий применения НАП ГЛОНАСС и зарубежных ГНСС. В результате средства постановки помех стали неотъемлемой частью инфраструктуры НВО, что требует адаптации к подобным изменениям всех составных частей ГЛОНАСС, включая орбитальную группировку, наземную инфраструктуру и НАП.

Обобщенные требования потребителей к НВО в части точности, целостности, доступности и помехоустойчивости навигационных услуг приведены в таблице 1. Анализ данных требований показывает востребованность потребителями услуг высокоточной помехоустойчивой навигации в условиях плотной городской застройки.

Таблица 1

Требования потребителей к НВО

Характеристика		Текущая	Целевая
Среднеквадратическая погрешность, м		0,003 -9,5	0.03-0.1
Доступность	На открытой местности (выше 5° над горизонтом), %	100	100
	В плотной городской застройке (выше 25° над горизонтом), %	49.2	65.4 (глобально) 93.5 (РФ)
Целостность	2 с	Локально	
	6 с	от 70° ю.ш до 70° с.ш.	глобально
Помехоустойчивость	Маскирующие помехи, дБ	40	90
	Имитационная помеха, %	0	0,7

Ниже рассматриваются вопросы развития системы ГЛОНАСС в целях удовлетворения целевых требований потребителей.

Текущее состояние программы развития навигационных услуг ГЛОНАСС

Активное развитие системы ГЛОНАСС в последнее десятилетие способствовало развитию ее составных частей, которые обеспечивают предоставление четырех навигационных услуг гражданским потребителям (Карутин С.Н., 2019):

- базовая услуга, которую предоставляет космический комплекс и проектируемый в настоящее время высокоорбитальный космический комплекс;
- услуга повышенной точности и надежности, которую предоставляет система дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ), а также локальные функциональные дополнения, расположенные в объектах транспортной инфраструктуры (морские и речные порты, аэропорты);
- услуга относительной навигации, которую предоставляют локальные и региональные функциональные дополнения;
- услуга высокой точности, которую предоставляет система высокоточного определения эфемеридно-временной информации (СВО ЭВИ),

Использование любой из указанных навигационных услуг обеспечивает потребителю решение его целевой задачи с требуемыми характеристиками, и каждая из отечественных навигационных услуг имеет зарубежный аналог. Самым ярким примером совместного развития является услуга повышенной точности и надежности, которую совместно с СДКМ предоставляют 7 систем, образующих кольцо из 25 космических аппаратов на геостационарной орбите, излучающих на общих частотах в едином формате данные для определения координат со среднеквадратической погрешностью (СКП) менее 1 м.

В различных работах подробно рассматриваются перспективы развития космического комплекса (Бакитыко Р.В., 2020), СДКМ (Сернов В.Г., 2022), СВО ЭВИ (Брагинцев В.Ф., 2020), локальных и региональных систем функциональных дополнений (Стулов А.В., 2020), (Блинов И.Ю., 2022), а также навигационной аппаратуры потребителя (Антонов А.С., 2022). Уже более десяти лет космический комплекс предоставляет базовую услугу непрерывно в глобальном

масштабе на базе которой развиваются три остальные услуги. Орбитальная группировка планомерно обновляется за счет запуска НКА четвертого поколения «Глонасс-К» - на орбите их уже 4. В прошлом году завершена программа запусков НКА «Глонасс-М», запущенный в ноябре 52 НКА данного поколения введен в состав группировки 22 декабря 2022 года. В 2023 году начнутся летные испытания НКА «Глонасс-К2», который предоставит потребителям базовую услугу посредством 5 сигналов в трех частотных диапазонах.

Указанные обстоятельства определяют основные вызовы, с которыми сталкиваются при реализации текущей программы развития услуг ГЛОНАСС - использование новых сигналов в условиях постановки помех с приоритетом на снижение стоимости предоставления услуг. Решение указанных вопросов требует модернизации НКА, всех измерительных средств и центров обработки, а также внедрения помехоустойчивой НАП для гражданского применения включая создания системы управления ими.

Перспективы развития составных частей ГЛОНАСС

В основе НВО по искусственному радионавигационному полю ГЛОНАСС лежат характеристики сигналов НКА, поэтому развитие орбитальной группировки определит основной вектор развития всех составных частей. НКА ГЛОНАСС каждого следующего поколения помимо навигационной полезной нагрузки несут дополнительную аппаратуру для решения различных целевых задач, например, поиск и спасание морских и воздушных судов при чрезвычайных происшествиях. С учетом системного превышения НКА гарантийных сроков активного существования на орбите актуальным становится вопрос о динамичном управлении всем функциональным ресурсом НКА при выходе из строя отдельных составных частей навигационной полезной нагрузки. Одновременно с этим происходит процесс перехода потребителей на использование навигационных сигналов с кодовым разделением в диапазонах L1, L2 и L3, которые можно совместно использовать для высокоточных навигационных определений, в отличие от доступных сейчас только двухчастотных измерений посредством сигналов с частотным разделением в диапазонах L1 и L2.

Достигнутые в настоящее время результаты по оптимизации схемотехнических решений навигационной полезной нагрузки позволяют создать НКА с массой в три раза меньшей массы «Глонасс-К2». Это открывает дополнительные возможности для трансформации стратегии поддержания и развития орбитальной группировки. Во первых, можно вернуться к групповым запускам по 3 КА посредством ракеты-носителя «Союз-2.1б» и разгонного блока «Фрегат», Во-вторых, подобный малый НКА может быть размещен в орбитальной позиции НКА «Глонасс-М», «Глонасс-К» или «Глонасс-К2», на которых характеристики формируемых навигационных сигналов ниже минимально допустимых значений по мощности и точности, и поддерживать непрерывное навигационное поле в условиях, когда многофункциональные НКА продолжают оказывать иные услуги потребителям. В-третьих, цифровая перепрограммируемая навигационная полезная нагрузка обеспечит одномоментный переход от сигналов с частотным разделением к кодовым в момент развертывания не менее 12 НКА «Глонасс-К2» равномерно во всех трех плоскостях и заполнения остальных орбитальных позиций подобными малыми НКА. В-четвертых, малая масса открывает возможность использования для поддержания орбитальной группировки перспективных ракет-носителей легкого класса.

При этом платформа НКА «Глонасс-К», относящаяся к классу аппаратов менее 1000 кг, позволяет создать высокоорбитальный космический комплекс (ВКК) из 6 НКА в 3 плоскостях на высоких наклонных околокруговых орбитах. Данный комплекс обеспечит дополнение навигационного поля сигналов с кодовым разделением во всех диапазонах частот, а также передачу потребителям высокоточной эфемеридно-временной информации в составе цифровой информации сигнала L30C ВКК.

Последнее десятилетие характеризуется взрывным ростом спроса на услуги относительной навигации и высокой точности, которые востребованы в строительстве, в сельском хозяйстве и геодезии, при проведении кадастровых работ, а также управлении беспилотными транспортными средствами.

Услуги различных функциональных дополнений востребованы в первую очередь в обжитых районах с высокой экономической активностью, которые в условиях проведения специальной военной операции требуют дополнительной защиты в том числе средствами радиоэлектронной борьбы, формирующими различные виды маскирующих и имитационных помех для сигналов ГЛОНАСС и зарубежных ГНСС. В этой связи, нарушается работа не только потребительской аппаратуры, но и объектов наземной инфраструктуры ГЛОНАСС - стационарных беззапросных

измерительных станций. Все указанное оборудование построено на основе приемных модулей зарубежного производства, которые также доступны только в режиме параллельного импорта.

В результате развитие инфраструктуры требует обновления за счет установки помехоустойчивых приемных модулей, способных измерять текущие навигационные параметры навигационных радиосигналов НКА по несущим и огибающим колебаниям.

Повышение помехоустойчивости приемных устройств достигается пространственными и непространственными методами (Карутин С.Н., 2020). В беззапросных измерительных станциях из непространственных методов можно использовать совместную обработку всех навигационных сигналов от каждого НКА, включая пилот-сигналы. Возможный выигрыш в помехоустойчивости при их использовании ограничивается 19 дБ, что не обеспечивает достижение требуемого уровня. Пространственные методы характеризуются высокой сложностью реализации и могут искажать измерения текущих навигационных параметров (ИТНП) по несущим и огибающим колебаниям (таблица 2).

Таблица 2

Пространственные методы повышения помехоустойчивости приемных устройств

Наименование	Выигрыш в помехоустойчивости, дБ	Искажение сигнального времени	Искажение фазы
Пространственный антенный компенсатор помех	до 20	нет	да
Адаптивный формирователь лучей	до 25	нет	нет
Антенный компенсатор помех с многоотводными линиями задержки	до 60	да	да
Пространственно-временной фильтр	до 60	нет	нет

Выигрыш, который предоставляют пространственные методы, обеспечивает появление приемных устройств, решающих весь спектр практических задач в условиях системной постановки помех. Указанная ситуация требует государственного регулирования свободного оборота гражданской помехоустойчивой НАП путем создания новой составной части ГЛОНАСС - комплекса средств управления доступом гражданских потребителей к навигационным услугам. Данный комплекс объединит сеть станций постановки маскирующих и имитационных помех сигналам ГЛОНАСС с открытым доступом и всем типам сигналов зарубежных ГНСС и помехоустойчивую НАП для гражданских потребителей.

Государственное регулирование помехоустойчивой НАП для гражданских потребителей требует системы обязательной ее сертификации, создаваемой на основе развития системы добровольной сертификации ГЛОНАСС, а также определения федерального сетевого оператора в сфере навигационной деятельности. Сетевой оператор обеспечит государственную регистрацию помехоустойчивой НАП и во взаимодействии с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти будет регулировать возможность осуществлять НВО различных НАП данного вида на всей территории Российской Федерации в любой момент времени в течении срока эксплуатации.

Анализ тенденций развития рынка навигационной аппаратуры потребителя

Сложившиеся в настоящее время условия определяют начало третьего этапа развития рынка НАП. Начавшийся в конце 90-х годов 20 века процесс широкомасштабного внедрения навигационных технологий был поддержан активным развитием микроэлектроники, связанным с переходом от микросхем с технологией изготовления 350 нм в 1997 году к 65 нм в 2004, что позволило серийно производить компактные приемные устройства для базовой услуги. В этот же период началось внедрение многочастотных приемных устройств в геодезию и создание сетей станций для оказания услуг относительной навигации и высокой точности. На рубеже 2010 года спутниковая НАП стала основой высокоточного земледелия и строительства.

Одновременно с развитием и внедрением НАП активно создавались разнообразные средства постановки помех. Портативные устройства мощностью 0.1 Вт обеспечивают подавление НАП в радиусе до 5 м, устройства мощностью более 1 кВт имеют дальность действия более 200 км. Начиная с 2014 года развернулась активная дискуссия по вопросам защиты искусственного

радионавигационного поля от преднамеренных помех.

По настоящему поворотным в процессе эволюции НАП следует считать 2022 год. Системная защита обширных территории средствами постановки помех сместила спрос на НАП для всех услуг ГЛОНАСС в сторону помехоустойчивых решений. Новое измерение требует адекватной реакции системы и создания нового комплекса средств управления доступом гражданских потребителей к навигационным услугам, объединяющего сети станций постановки маскирующих и имитационных помех и информационную систему регистрации и учета помехоустойчивой НАП гражданских потребителей.

Заключение

Система ГЛОНАСС является основной национальной системы НВО, предоставляет все виды навигационных услуг и находится в состоянии постоянного развития. Современный этап развития ГЛОНАСС направлен на сохранение лидирующих позиций Российской Федерации в мире и предусматривает обновление орбитальной группировки новыми поколениями НКА, совершенствования системы навигационных сигналов, модернизацию наземной инфраструктуры и НАП, создание нового комплекса средств управления доступом помехоустойчивой НАП к навигационным услугам.

Литература

Карутин С.Н., Панов С.Л., Болкунов А.И., Можаров И.В., Каплев С.Л., Игнатович Е.И., Яремчук В.И. Стратегия развития системы ГЛОНАСС. Полет, Общероссийский научно-технический журнал. 2019. № 10. С. 7-20.

Бакитько Р.В., Дворкин В.В., Карутин С.Н., Корогодин И.В., Нагин И.А., Поваляев А.А., Фаткулин Р.Ф., Шатилов А.Ю. ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития. Радиотехника. 2020. С. 1072.

Сернов В.Г., Курашин В.В., Исаев Ю.В., Филимонова Д.В., Российское широкозонное функциональное дополнение СДКМ и возможности его развития // Системный анализ, управление и навигация : Тезисы докладов XXVI международной научной конференции, Евпатория, 03-10 июля 2022 года. - Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2022. - С. 48-50.

Стулов А.В., Кириков Ю.И., Карасев К.В. Проблемы внедрения и использования спутниковых навигационных технологий в гражданской авиации России // Научный вестник ГосНИИ ГА. - 2020. - № 30. - С. 158-166.

Блинов И.Ю., Бандура А.С., Батура А.С., Белов Л.Я., Дружин В.Е., Крупская А.В., Скобелкин А.А., Тюляков А.Е. Система единого времени Российской Федерации - преодоление новых вызовов // Радионавигация и время: труды СЗРЦ Концерна ВКО "Алмаз - Антей". 2022. № 10(18). С. 8-19.

Брагинец В.Ф., Сухой Ю.Г., Рындин С.П., Бунин Д.Н. Экспериментальная оценка точности определения местоположения потребителей в режиме высокоточной навигации // Журнал "Двойные технологии". 2020. №2 (91). с. 15-20.

Антонов А.С., Голубев С.С. Помехоустойчивая навигационная аппаратура, потребителя ГЛОНАСС для гражданского применения // Будущее предприятия — в творчестве молодых: сборник докладов Пятой научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 28 мая 2022 года / АО "Научно-производственное предприятие "Радар ммс"; Балтийский государственный технический университет "Военмех" им. Д. Ф. Устинова. Санкт-Петербург: СИНЭЛ, 2022, С. 11-20.

Карутин С.Н., Харисов В.Н., Павлов В.С. Синтез помехоустойчивого пространственно-временного фильтра для высокоточных измерений навигационных параметров по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем // Измерительная техника. 2020. № 6. С. 52-60.