

УДК 621.396

Перспективы использования в России глобальных навигационных спутниковых систем гражданскими потребителями

А. И. Жодзишский¹, М. М. Березенцев, О. В. Нестеров

¹д. т. н.

АО «Российские космические системы»

e-mail: ntcs mou@rniikp.ru, oleg.nesterov@mail.ru, m.spacecorp@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена анализу использования гражданскими потребителями глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Особое внимание уделено высокоточному позиционированию с использованием функциональных дополнений ГНСС и фазовых измерений. Приводятся обобщенные требования крупных российских компаний к высокоточной навигационной аппаратуре потребителя (НАП) ГНСС. Проведено сравнение навигационных приемников, способных выдавать «сырые» фазовые измерения. Отмечены основные тенденции в развитии современной НАП. Предложен концептуальный подход к разработке высокоточной отечественной НАП.

Ключевые слова: глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), навигационный приемник, «сырые» фазовые измерения

Current Issues of GNSS Civilian Usage in Russia

A. I. Zhodzishskiy¹, M. M. Berezentsev, O. V. Nesterov

¹doctor of engineering science

Joint Stock Company "Russian Space Systems"

e-mail: ntcs mou@rniikp.ru, oleg.nesterov@mail.ru, m.spacecorp@gmail.com

Abstract. The analysis of using global navigation satellite systems (GNSS) for civilian purposes is described in this article. High-precision positioning using augmentation systems for GNSS and raw phase measurement are specially noted. The general requirements of large Russian companies to the high-precision consumer navigation equipment (CNE) are given. Moreover, comparison of the navigation receivers providing raw phase measurements is carried out. The current tendencies in development of the modern CNE are considered. The conceptual approach to the development of the Russian high-precision navigation equipment is proposed.

Keywords: global navigation satellite system (GNSS), navigation receiver, raw phase measurement

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) используются сегодня во всем мире гражданскими потребителями для решения самых различных задач: определение местоположения, скорости движения и пространственной ориентации объектов, синхронизации территориально разнесенных объектов и обеспечение их работы в системе единого времени и т. д. В табл. 1 приведены основные области применения ГНСС гражданскими потребителями при решении задач определения местоположения и указана реализованная в настоящее время точность (по уровню вероятности $0,68\% - \sigma$). Определение местоположения с сантиметровой и миллиметровой погрешностями ниже будем называть высокоточными.

Самым массовым является использование ГНСС индивидуальными пользователями: сотовые телефоны, бытовые навигаторы и т. п. Очень широко применяются ГНСС для навигации и контроля различных транспортных средств (самолетов, кораблей, автотранспорта, железнодорожной техники и т. п.) как в пути следования, так и во время маневров (при заходе на посадку, прохождении фарватеров, движении локомотивов на разъездах и т. д.). Все большее распространение находят ГНСС для управления беспилотными летательными аппаратами (ЛА), в «точном земледелии», управлении транспортом и специальной техникой и при выполнении других задач [1–3]. Для этого требуется местоопределение в реальном времени.

Определение относительных координат объектов с сантиметровой погрешностью может быть получено в навигационной аппаратуре потребителя (НАП) только при использовании фазовых измерений и наличии дополнительной (измерительной или корректирующей) информации от референционных станций или от спутниковых систем функциональных дополнений (SBAS). В России такой системой является система дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ), передающая корректирующую информацию через Интернет либо через спутник «Луч».

Прием НАП корректирующей информации через спутник является предпочтительным с точки зрения эксплуатации, поскольку обеспечивает автономную работу НАП — требуется связь только со спутниками в L-диапазоне частот, в то время

как в других случаях должен быть дополнительный наземный канал связи.

Решение геодезических задач, как правило, производится в режиме постобработки с погрешностью не более 1 см. Самая высокая точность определения координат в реальном времени (миллиметры) требуется для мониторинга смещений инженерных сооружений.

В АО «Российские космические системы» в кооперации с филиалом ОАО «ОРКК»–«НИИ КП» создана система высокоточного мониторинга смещений инженерных сооружений (ВМСИС), использующая сигналы ГНСС [3]. Система ВМСИС предназначена для контроля смещений и колебаний конструкций мостов, башен, высотных и большепролетных зданий и сооружений, трубопроводов и т. п. В настоящее время она эксплуатируется на железнодорожном мосту через реку Обь в г. Новосибирске и ряде других объектов.

Система ВМСИС позволяет:

- определять в реальном времени пространственные смещения контролируемых точек по трем взаимно перпендикулярным осям с миллиметровой погрешностью;
- определять текущие спектры колебаний контролируемых точек в диапазоне частот 0,1–10 Гц по сигналам ГНСС;
- автоматически формировать сигналы «Внимание» и «Тревога» при превышении контролируемыми параметрами заранее выставленных пороговых значений;
- в режиме постобработки на любом заданном интервале времени (почасовом, суточном, сезонном, годовом и т. п.) оценивать изменения пространственных координат контролируемых точек.

Система ВМСИС состоит из:

- комплекта модулей измерительных (МИ) по числу контролируемых и опорных точек, принимающих сигналы со всех видимых спутников ГНСС;
- автоматизированного рабочего места (АРМ) на базе промышленного компьютера с предустановленным СПО;
- информационно-телекоммуникационной аппаратуры передачи данных от МИ к АРМ (могут

Таблица 1. Основные области применения ГНСС гражданскими потребителями

Область применения	Режим навигации	Измеряемые параметры	Реализованная точность, σ , м		Привлекаемые доп. средства
			в плане	по высоте	
Навигация индивидуальных потребителей (мобильные телефоны, бытовые навигаторы и т. п.)	Реальное время, абсолютные координаты	Кодовые	2–3	3–4,5	Нет
Мониторинг транспортных средств (ТС) в пути (самолеты, корабли, автомобили)	Реальное время, абсолютные координаты	Кодовые	2–5	3–7	Нет
Навигация и контроль ТС при маневрах (движение локомотивов на разъездах, прохождение фарватера и т. п.), управление беспилотными ЛА	Реальное время, относительные координаты	Кодовые	0,3	0,5	Рефер. станции/ SBAS
Управление ТС (работа в карьерах, точное земледелие и т. п.)	Реальное время, относительные координаты	Кодовые и фазовые	0,01–0,03	0,05	Рефер. станции
Геодетическое обеспечение (межевание территорий, строительные работы и т. п.)	Постобработка, относительные координаты	Кодовые и фазовые	0,01	0,02	Рефер. станции
Мониторинг смещений инженерных сооружений, подвижек земной поверхности и т. п.	Реальное время, постобработка, относительные координаты	Кодовые и фазовые	0,002*	0,003*	Рефер. станции

* На коротких (не более 3 км) базовых линиях

использоваться ВОЛС, Wi-Fi, УКВ и другие каналы).

Достоинством системы ВМСИС является интегральная оценка устойчивости конструкции сооружения по наблюдаемым смещениям контролируемых точек и изменению резонансных частот. Кроме того, система позволяет исследовать зависимость смещений от внешних воздействий: скорости ветра, снежной нагрузки на крышу и т. д. Система ВМСИС легко комплексируется с акселерометрами, инклинометрами, тензометрами и другими датчиками, существенно улучшая эффективность системы мониторинга инженерных конструкций (СМИК), обязательность применения которой на уникальных и технически сложных объектах определена документами [4, 5].

Активно внедряют спутниковые навигационные технологии ОАО «РЖД», ПАО «Транснефть». Функциональные требования к НАП со стороны ОАО «РЖД» приведены в табл. 2. Наиболее актуальным здесь является местоопределение в реаль-

ном времени железнодорожного средства с точностью до пути его нахождения ($2\sigma \leq 1$ м). Это возможно сделать с использованием корректирующей информации СДКМ или (с более высокой точностью) с помощью сети референчных станций.

АО «РКС» выступило с инициативой создания в России навигационной сети высокоточного спутникового позиционирования (НСВП). НСВП — это интегрированная сеть референчных станций различных производителей, владельцев и операторов. Таких станций на территории России имеется более 1 200.

Концепция создания НСВП предусматривает:

- объединение имеющихся сетей и отдельных референчных станций в единую сеть;
- увеличение зоны покрытия НСВП путем оптимизации размещения существующих станций и строительства новых;
- создание нормативно-правовой базы, регулирующей приобретение, установку, регистрацию

Таблица 2. Функциональные требования к НАП ЖД

№ п/п	Назначение НАП ЖД	Оперативность обновления данных	Источники навигационной информации	Погрешности определения (при доверительной вероятности 0,95)				Точность привязки измерений к шкале UTC, с	Примечание
				Координаты		Скорость, м/с			
				в плане, м	по высоте, м				
1	Контроль местоположения состава	Реальное время, 1 с	ГЛОНАСС/GPS, ГЛОНАСС	15	20	0,1	1	На перегонах $V \leq 600$ км/ч	
				1	5	0,1	1	При маневрах $V \leq 30$ км/ч	
2	Управление движением составов	Реальное время, 0,05 с	ГЛОНАСС/GPS, ГЛОНАСС, рефер. станции, СДКМ	15	20	0,1	10^{-6}	На перегонах $V \leq 600$ км/ч	
				1	5	0,1	10^{-6}	При маневрах $V \leq 30$ км/ч	
3	Навигационное обеспечение эксплуатирующего персонала	Реальное время, 1 с	ГЛОНАСС/GPS, ГЛОНАСС, рефер. станции, СДКМ	15	20	–	1	Абсолютные координаты	
				3	5	–	1	Диф. режим	
4	Мониторинг и диагностика пути	Реальное время, 1 с, постобработка	ГЛОНАСС/GPS, ГЛОНАСС, рефер. станции, СДКМ	15	20	0,2	10^{-3}	Автономный режим	
				3	5	0,2	10^{-3}	Кодовый диф. режим	
				0,5	1	0,2	10^{-3}	Фазовый диф. режим	
5	Мониторинг и диа- гностика объектов инфраструктуры	Реальное время, 0,05 с, постобработка	ГЛОНАСС/GPS, ГЛОНАСС, локальные рефер. станции	0,01	0,02	–	10^{-3}	Фазовый диф. режим	

станций, доступ к корректирующей информации;

- создание компании оператора, отвечающего за надежность и качество предоставляемых услуг высокоточного позиционирования.

В табл. 3 сведены справочные данные основных навигационных спутниковых группировок различных стран.

В 1995 г. на средневысотных круговых орбитах были сформированы штатные группировки из 24 спутников российской системы ГЛОНАСС и американской GPS. Проектирование этих систем проводилось в США и СССР практически одновременно и в интересах главным образом военных потребителей для навигации морских и воздушных объектов. Погрешности определения координат составляли десятки метров [1].

Для повышения помехозащищенности (увеличения используемого диапазона частот) в ГЛОНАСС было применено частотное разделение сигналов, излучаемых разными спутниками. Для определения орбиты навигационных спутников использовались (как более точные) запросные методы измерения дальности и скорости. Выбор баллистического построения орбитальной группировки производился с учетом приоритетного обслуживания территорий, представляющих наибольший интерес для обороны страны. Для GPS наклонение орбиты было выбрано 55° , а для России, как более северной страны, почти на 10° больше — $64,8^\circ$.

В конце 1990-х–начале 2000 гг. в результате возникших политических и экономических проблем в нашей стране произошла существенная деградация системы ГЛОНАСС.

Начался массовый уход высококвалифицированных специалистов с государственных предприятий-разработчиков в бизнес или в иностранные фирмы, в том числе образованные на территории России. Открытие широкого доступа к электронной компонентной базе (ЭКБ) зарубежного производства обнажило неконкурентоспособность ЭКБ собственного производства. Это, в свою очередь, еще больше способствовало отставанию нашей страны в области технологий микроэлектроники. Вся НАП гражданского назначения производилась иностранными компаниями. Орбитальная группировка ГЛОНАСС сократилась к 2002 г. до 7 спутников.

Возросло отставание от GPS в части эфемеридного и частотно-временного обеспечения.

Понимая значимость навигационных спутниковых систем и технологий, Правительством Российской Федерации в 2001 г. была утверждена Федеральная целевая программа (ФЦП) «ГЛОНАСС» на 2001–2011 гг. [6]. Целью ФЦП было дальнейшее развитие и эффективное использование ГЛОНАСС в интересах социально-экономического развития страны, обеспечения национальной безопасности, сохранения Россией лидирующих позиций в области спутниковой навигации за счет гарантированного предоставления навигационных сигналов отечественным и зарубежным потребителям. Количество спутников в орбитальной группировке было доведено до требуемого значения, точность навигации за счет космического сегмента составила единицы метров, на ряде предприятий было налажено производство НАП ГЛОНАСС/GPS, работающей по кодовым измерениям. Однако из-за существенного снижения интеллектуального потенциала в космической отрасли, низкого качества отечественной ЭКБ и ряда других объективных и субъективных причин не удалось создать конкурентоспособную высокоточную отечественную НАП, использующую фазовые измерения; разработанная в России СДКМ на базе геостационарных спутников «Луч», копирующая аналогичные западные решения, до сих пор не сдана в штатную эксплуатацию. Следует отметить, что выбор для передачи корректирующей информации спутников «Луч» явно неудачен. Россия — северная страна и геостационарные спутники «Луч» (16° з. д. и 95° в. д.) видны, например, из Москвы под малыми углами места (несколько больше 10°). Это допустимо для самолетов. Однако из-за затенений рельефом местности, постройками уверенный прием сигналов с этих спутников подвижными наземными потребителями (железнодорожными, автомобильными) оказывается затруднительным. В результате СДКМ до сих пор работает в тестовом режиме и нет ни одного штатного потребителя этой системы.

В настоящее время в нашей стране проводятся работы по использованию в СДКМ высокоорбитальных спутников (типа QZSS). Это позволит устранить имеющиеся недостатки существующей СДКМ и значительно повысит ее эффективность.

Таблица 3. Основные навигационные спутниковые группировки

ГЛОНАСС, Россия	GPS, США	Galileo, Евросоюз	BeiDou, Китай	QZSS, Япония	SBAS
1995 г. — штатная группировка	1995 г. — штатная группировка	2005 г. — запуск первого спутника	2000 г. — запуск первого спутника	2010 г. — запуск первого спутника	Геостационарные спутники, точки стояния
Характеристики орбит					
Средневысотная круговая орбита 24 спутника 3 плоскости Наклонение 64,8° Высота 19 100 км Период 11 ч 15 м	Средневысотная круговая орбита 24 спутника (+ активный резерв) 6 плоскостей Наклонение 55° Высота 20 145 км Период 11 ч 58 м	Средневысотная круговая орбита 30 спутников 3 плоскости Наклонение 56° Высота 29 222 км Период 14 ч 4 м	Средневысотная круговая орбита 27 спутников 3 плоскости Наклонение 55° Высота 27 500 км Период 13 ч Геостационарная орбита 5 спутников Точки стояния: 158,75° в. д., 180° в. д., 210,5° в. д., 240° в. д., 260° в. д. Геосинхронная круговая орбита 3 спутника 3 плоскости Наклонение 55° Долгота восходящего узла 218° в. д., 98° в. д., 338° в. д.	Квазизенитная орбита 3 спутника Наклонение 43° Высота в апогее 42 164 км Высота в перигее 36 000 км Средняя долгота пересечения экватора 135° Период 24 ч Геостационарная орбита 1 спутник	Геостационарная орбита EGNOS Евросоюз Inmarsat AOR-E — 15,5° з. д. Inmarsat IOR-E — 25° в. д. ESA-Artemis — 21,5° в. д. WAAS США Inmarsat 4F3 — 98° з. д. Galaxy15 — 133° з. д. Telesat ANIK FIR — 107,3° з. д. GAGAN Индия GSAT-8 — 55° в. д. GSAT-10 — 83° в. д. GSAT-15 — 93,5° в. д. СДКМ Россия «Луч 5А» — 167° в. д. «Луч 5Б» — 16° з. д. «Луч 5В» — 95° в. д.
Несущие частоты радиосигналов, МГц					
L1 = 1602,5625 1615,5 L2 = 1246,4375 1256,5	L1 = 1575,42 L2 = 1227,60 L5 = 1176,45	E1 = 1575,42 E5 = 1191,795 E5A = 1176,45 E5B = 1207,14 E6 = 1278,75	B1 = 1559,052–1591,788 B2 = 1166,22–1217,37 B3 = 1250,618–1280,423	L1 – C/A = 1575,42 L1C = 1575,42 L2C = 1227,6 L5 = 1176,45 LEX = 1278,75	L1 = 1575,42 L5 = 1176,45

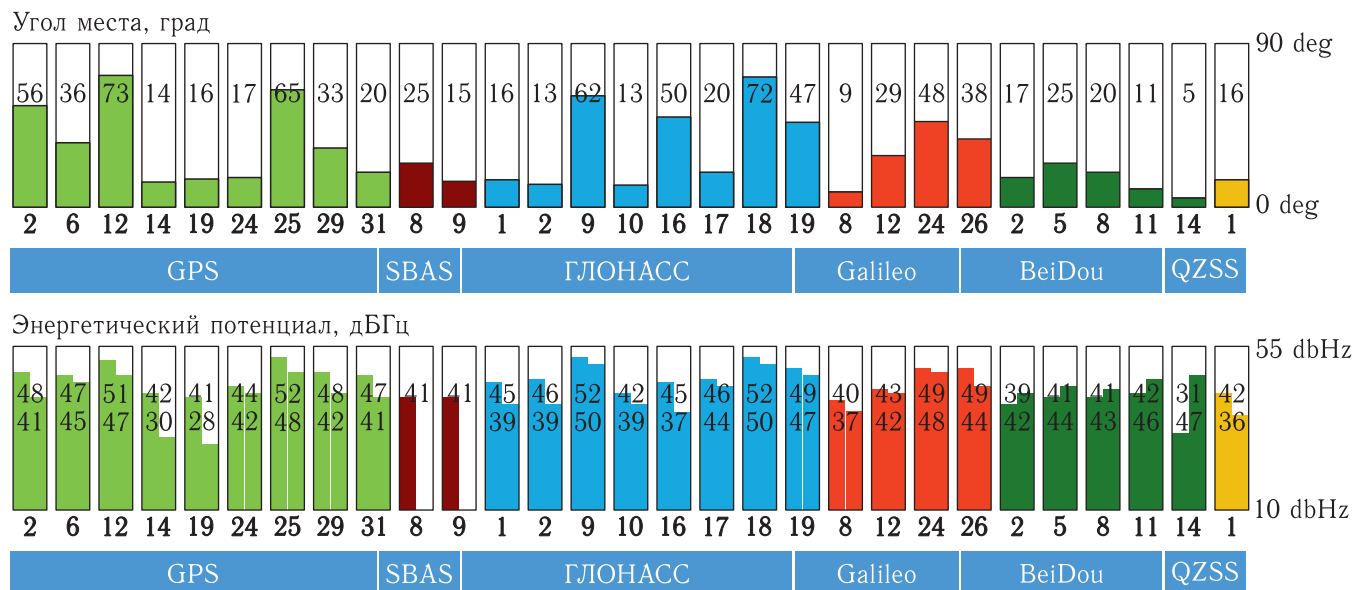


Рис. 1. Навигационные спутники, видимые из г. Москвы (18.05.2016, UTC 13:00)

На рис. 1 в качестве иллюстрации приведены углы места (в град) и энергетические потенциалы (в дБГц) принятых сигналов от различных навигационных спутников. Запись сделана в г. Москве 18.05.2016 в 13:00 UTC. На горизонтальной оси в верхней и нижней частях рисунка указаны системные номера навигационных спутников и наименования спутниковых группировок. В нижней части рисунка в столбцах даны значения энергетических потенциалов принимаемых навигационных сигналов для диапазонов L1 (верхнее значение) и L2 (нижнее значение).

НАП ведущих мировых производителей (NovAtel, Trimble, Topcon, Javad и др.) обеспечивают одновременный прием всех этих сигналов.

В АО «РКС» были выполнены экспериментальные оценки улучшения точности местоопределения за счет использования корректирующей информации СДКМ, передаваемой через спутники «Луч». В табл. 4 приведены погрешности местоопределения в плоскости (по уровню 0,95% — 2σ), полученные в Москве приемником Trimble M8-TWO при работе в диапазоне L1, и выигрыш от СДКМ (отношение погрешностей местоопределения без СДКМ и с учетом данных СДКМ).

Из таблицы видно, что точность местоопределения в режиме «только ГЛОНАСС» в 2,8 раза хуже, чем в режиме «только GPS». Использо-

Таблица 4. Выигрыш в точности местоопределения от использования СДКМ

Режим работы приемника		Погрешность 2σ , м (0,95 %)	Выигрыш от СДКМ
Только ГЛОНАСС	без СДКМ	5,4	3,2
	с СДКМ	1,7	
Только GPS	без СДКМ	1,9	2,4
	с СДКМ	0,8	
ГЛОНАСС + GPS	без СДКМ	1,8	2,2
	с СДКМ	0,8	

вание корректирующей информации СДКМ дает выигрыш в точности для ГЛОНАСС в 3,2 раза, а для GPS — в 2,4 раза. Отметим, что проведенные эксперименты с использованием корректирующей информации, передаваемой через спутник Egnos 8, показали снижение точности местоопределения по сигналам GPS (выигрыш ~ 0,7). Это объясняется работой за пределами штатной зоны обслуживания. (Корректирующая информация для спутников ГЛОНАСС через EGNOS не передается.)

Введение санкций и ограничение доступа к современной ЭКБ и перспективным западным технологиям привели к осознанию необходимости

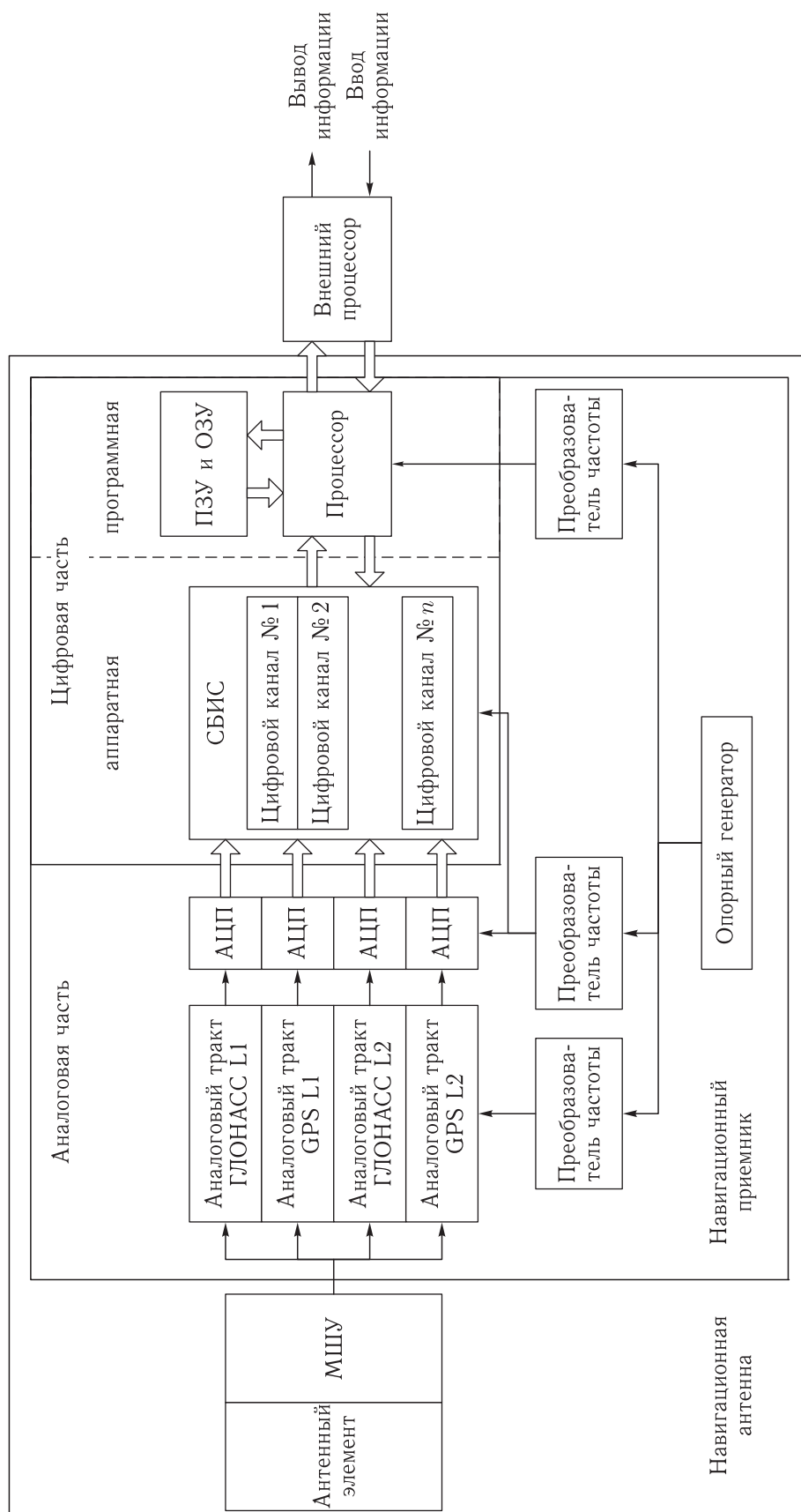


Рис. 2. Типовая блок-схема НАП

обеспечения импортонезависимости в космической отрасли. Стратегически значимые российские компании нефтегазовой и транспортной отраслей при внедрении в свою деятельность технологий ГНСС стали выдвигать следующие требования:

1. Используемая НАП должна иметь возможность функционировать в режиме «только ГЛОНАСС». Учитывая растущее сотрудничество с Китаем и другими не входящими в НАТО странами, целесообразно дополнить это требование: «НАП должна обеспечивать решение целевой задачи при отсутствии сигналов GPS и Galileo».

2. Все программное обеспечение должно быть российской разработки.

3. Доля импортного оборудования должна быть минимальной (например, по требованию ПАО «Транснефть» — не более 30 %).

Остановимся на высокоточной НАП и навигационных приемниках. Типовая блок-схема НАП ГНСС ГЛОНАСС и GPS приведена на рис. 2 [7]. Ее основными элементами являются:

- навигационная антенна,
- навигационный приемник,
- процессор.

В высокоточной НАП используется многдиапазонная активная (содержащая МШУ) антенна.

Навигационный приемник включает аналоговую и цифровую части. В первой из них производится усиление, преобразование частоты и фильтрация по диапазонам частот принимаемых сигналов. Аналоговая часть заканчивается аналого-цифровыми преобразователями (АЦП). Дальнейшая обработка производится в цифровой части — в специализированной большой интегральной схеме (СБИС) или в программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС). Каждому спутниковому сигналу соответствует свой цифровой канал, в котором производится формирование измерений псевдодальности по измерениям фазы принимаемой псевдослучайной последовательности (кодовые измерения), определение полной фазы псевдодоплеровского смещения частоты несущих колебаний спутниковых сигналов (фазовые измерения) относительно некоторого начального значения и выделение информационных символов.

В АО «РКС» были проведены тестовые испытания некоторых навигационных приемников (ОЕМ-плат) гражданского назначения как зарубежной, так и отечественной разработки. Результаты приведены в табл. 5. Выбранные приемники объединяет способность выдавать «сырые» фазовые измерения, по которым возможно высокоточное определение относительных координат объектов. Использование приемников для высокоточного определения в реальном времени абсолютных координат (режим PPP — Precise Point Positioning) выходит за рамки настоящей статьи. Условно тестируемые приемники можно разбить на две группы:

1 группа — мультисистемные многоканальные двухдиапазонные приемники;

2 группа — альтернативные приемники, разработанные на территории СНГ.

Приемники NovAtel и Trimble среди тестируемых являются наилучшими и при сравнении могут рассматриваться как эталонные. Приемник ComNav — китайская копия приемника NovAtel (его стоимость на российском рынке в несколько раз меньше), но в настоящее время существенно уступает последнему по надежности и стабильности работы в условиях сложной помеховой обстановки. Все приемники 2 группы имеют меньшее количество каналов, уступают эталонным по качеству измерений и нуждаются в доработках. В основном это связано с конструктивными и алгоритмическими особенностями, которые ограничивают их применение в задачах высокоточной спутниковой навигации.

В настоящее время прослеживаются следующие тенденции развития НАП:

1. Специализация аппаратуры потребителя в зависимости от назначения и условий эксплуатации.

2. Универсализация навигационных приемников (ОЕМ-плат) в части многосистемности и многдиапазонности и, как следствие, создание приемников с большим числом каналов, способных одновременно функционировать практически со всеми орбитальными группировками ГНСС.

3. Обеспечение устойчивой работы в сложных условиях:

- при слабом входном сигнале;
- в условиях сложной электромагнитной обстановки (при действии разного рода помех);

Таблица 5. Сравнительные параметры тестируемых навигационных приемников для высокоточного определения координат

		1 группа				2 группа		
		NovAtel OEM617	Trimble MB-TWO	ComNav K501/501G	НТЛаб «Глонаша 2В-РТК»	КБ «Навис» NV08C-РТК	КБ «ГеоСтар навигация» ГеоС-3R	Приемник МАИ
Количество каналов		120	240	120	64	32	32	80
Принимаемые сигналы		GPS L1/L2 ГЛОНАСС L1/L2 Galileo E1/E5b BeiDou B1/B2 SBAS QZSS	GPS L1/L2 ГЛОНАСС L1/L2 Galileo E1/E5b BeiDou B1/B2 SBAS QZSS	GPS L1/L2 ГЛОНАСС L1/L2 BeiDou B1/B2 SBAS	GPS L1 ГЛОНАСС L1/L2	GPS L1 ГЛОНАСС L1 Galileo E1 SBAS	GPS L1 ГЛОНАСС L1 Galileo E1 SBAS	GPS L1/L2C/L2P ГЛОНАСС L1/L2 Galileo E1/E5b BeiDou B1/B2 SBAS
Максимальный темп выдачи «сырых» измерений, Гц		50	50	20	20	10	10	20
Встроенный РТК		+	+	+	+	+	–	–
Работа с СДКМ		+	+	–	–	–	+	+
	Прием сигнала							
	Использование в решении	–	+	–	–	–	+	+
Устойчивая работа при помехах		Хорошая	Хорошая	Плохая в L1 ГЛОНАСС, удовлетворит. в L2	Удовлетворит.	Удовлетворит.	Удовлетворит.	Удовлетворит.
Применимость в аппаратуре высокоточной навигации		Без ограничений	Без ограничений	С ограничениями	–	С ограничениями (только на коротких базовых линиях)	С ограничениями (только на коротких базовых линиях)	–
Интерфейсы		3 LVTTL (UART) 1 USB 2 CAN	3 LVTTL (UART) 1 USB 2 CAN 1 Ethernet	3 LVTTL (UART)	2 LVTTL (UART) 1 USB	2 LVTTL (UART) 1 USB	2 LVTTL (UART)	2 LVTTL (UART)
Размеры (Д×Ш×В), мм		46 × 71 × 11	46 × 71 × 11	46 × 71 × 13	46 × 71 × 10	46 × 71 × 8	OEM-платы нет	45 × 75 × 8
Энергопотребление, Вт		< 1,2	< 1,2	< 1,0	< 1,5	< 0,5	< 0,3	< 4,0 (2,5*)
Серийное производство		+	+	+	–	+	+	–

* Для работы в режиме только GPS + ГЛОНАСС L1/L2

- в условиях сильной многолучевости;
- при наличии затенений;
- при быстрой динамике объектов.

4. Интеграция НАП ГНСС с другими системами и/или включение в состав НАП дополнительных датчиков (акселерометров, гироскопов и т. п.).

5. Уменьшение потребления и улучшение эксплуатационных параметров.

Для нашей страны актуальными являются следующие задачи:

- расширение области применения ГЛОНАСС;
- обеспечение импортонезависимости в части высокоточной НАП.

При решении указанных задач не следует сразу стремиться воспроизводить на отечественной элементной базе мультисистемные с большим числом каналов навигационные приемники ведущих зарубежных производителей. Это нереально. Возможно достичь поставленные цели в ближайшее время, если объединить усилия разработчиков, имеющих существенные достижения в части:

- создания многочастотных активных антенн с отсечкой многолучевости [8];
- создания навигационного приемника с ограниченным числом каналов, обеспечивающего с высоким темпом выдачи (не менее 20 Гц) качественные «сырые» измерения при решении целевых задач потребителя на внешнем процессоре [7, 9];
- разработки собственных алгоритмов обработки «сырых» фазовых измерений [10].

Список литературы

1. ГЛОНАСС. Принцип построения и функционирования. Под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. Изд. 3-е. М., 2005.
2. Аппаратура высокоточного позиционирования по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем: приемники-потребители навигационной информации. Под ред. М. И. Жодзишского. М.: МАИ-Принт, 2010.
3. Жодзишский А. И., Нестеров О. В. Высокоточное определение в реальном времени относительного положения объектов по сигналам ГНСС. Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. Вып. 1. С. 27–33.
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 26 декабря 2014 г. № 1521 «Об утверждении перечня национальных стандартов и свода правил...».
5. ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».
6. ФЦП «Глобальная навигационная система» ГЛОНАСС 2001–2011, утверждена Постановлением Правительства Российской Федерации 20 августа 2001 г. № 587.
7. Вейцель В. А., Вейцель А. В. Радиоприемники спутниковых систем определения координат. М.: Вузовская книга, 2013.
8. Бойко С. М., Исаев А. В., Косякин С. В., Яскин Ю. С. Навигационные модули аппаратуры потребителей ГНСС // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016. Вып. 3. С. 4–11.
9. Патент RU 2 551 805 H04B 1/00. Фридман А. Е. 2012131922.08. Способ многопараметрического слежения за навигационными сигналами и приемник спутниковой навигации с многопараметрическим устройством слежения за слабыми сигналами в условиях сверхвысокой динамики объектов.
10. Заявка на патент 2016135147 от 30.08.16. Способ определения взаимного положения объектов по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем АО «РКС».