

## СОЗДАНИЕ ГНСС-ПРИЕМНИКА ДЛЯ РЕШЕНИЯ НАУЧНЫХ ЗАДАЧ

### *Станислав Олегович Шевчук*

Российский институт радионавигации и времени, 192012, Россия, г. Санкт-Петербург, пр. Обуховской Обороны, 120ЕЦ, кандидат технических наук, руководитель проектного направления, тел. (903)936-78-53, e-mail: staspp@211.ru

### *Вадим Николаевич Пономарев*

Российский институт радионавигации и времени, 192012, Россия, г. Санкт-Петербург, пр. Обуховской Обороны, 120ЕЦ, руководитель проектного направления, тел. (965)816-65-50, e-mail: v8166550@yandex.ru

### *Елена Сергеевна Черемисина*

Российский институт радионавигации и времени, 192012, Россия, г. Санкт-Петербург, пр. Обуховской Обороны, 120ЕЦ, ведущий инженер, тел. (911)255-65-58, e-mail: escheremisina@gmail.com

В статье описана концепция ГНСС-приемника геодезического класса точности для нужд научного потребителя. Приведены тенденции развития рынка ГНСС-технологий. Выполнен обзор актуальных задач, требующих наличия специализированной ГНСС-аппаратуры.

**Ключевые слова:** ГНСС, навигация, аппаратура, конструирование, научное применение, фазовые измерения, свободное ПО.

## DEVELOPING GNSS-RECEIVER FOR SCIENTIFIC APPLICATIONS

### *Stanislav O. Shevchuk*

Russian Institute of Radionavigation and Time, 120EC, Prospect Obukhovskoy Oborony St., Saint-Petersburg, 192012, Russia, Ph. D., Project Manager, phone: (903)936-78-53, e-mail: staspp@211.ru

### *Vadim N. Ponomarev*

Russian Institute of Radionavigation and Time, 120EC, Prospect Obukhovskoy Oborony St., Saint-Petersburg, 192012, Russia, Project Manager, phone: (965)816-65-50, e-mail: v8166550@yandex.ru

### *Elena S. Cheremisina*

Russian Institute of Radionavigation and Time, 120EC, Prospect Obukhovskoy Oborony St., Saint-Petersburg, 192012, Russia, Leading Engineer, phone: (911)255-65-58, e-mail: escheremisina@gmail.com

In article the concept of geodetic GNSS-receiver adopted for scientific consumer's purposes is given. Main trends of GNSS technologies and market are considered. Scientific aims which require specialized GNSS-receivers are overviewed.

**Key words:** GNSS, geodetic instruments, device construction, scientific applications, phase measurements, open-source software.

## Введение

В настоящее время гражданская аппаратура пользователя ГНСС широко представлена на рынке и может быть классифицирована исходя из различных критериев. Наиболее распространенной классификацией навигационной аппаратуры потребителя (НАП) ГНСС является классификация по классу точности:

- навигационные (кодовые) приемники – ГНСС-аппаратура, принцип измерений которой основан на использовании информации, содержащейся в дальномерном коде, передаваемом спутниками. Приемники данного класса обеспечивают точность позиционирования (СКП) на уровне нескольких метров [1–4];

- геодезические (фазовые) ГНСС-приемники выполняют измерения посредством анализа фазы несущей спутниковых сигналов на одной (L1), двух (L1+L2) и более частотах. Точность (СКП) – до единиц миллиметров (в зависимости от метода позиционирования).

Указанная классификация взята из научной литературы [1–8], однако важно отметить, что она не соответствует действующему стандарту [9].

Следует упомянуть и некоторые другие классификации. Так, по используемым системам можно выделить:

- односистемные ГНСС приемники (принимающие сигналы только одной ГНСС, как правило GPS) [10, 11];

- мультисистемные ГНСС-приемники (принимающие сигналы двух и более систем в различных комбинациях).

Большую часть рынка занимают ГНСС-приемники, принимающие только GPS, а также мультисистемные приемники (рис. 1) [10, 11].

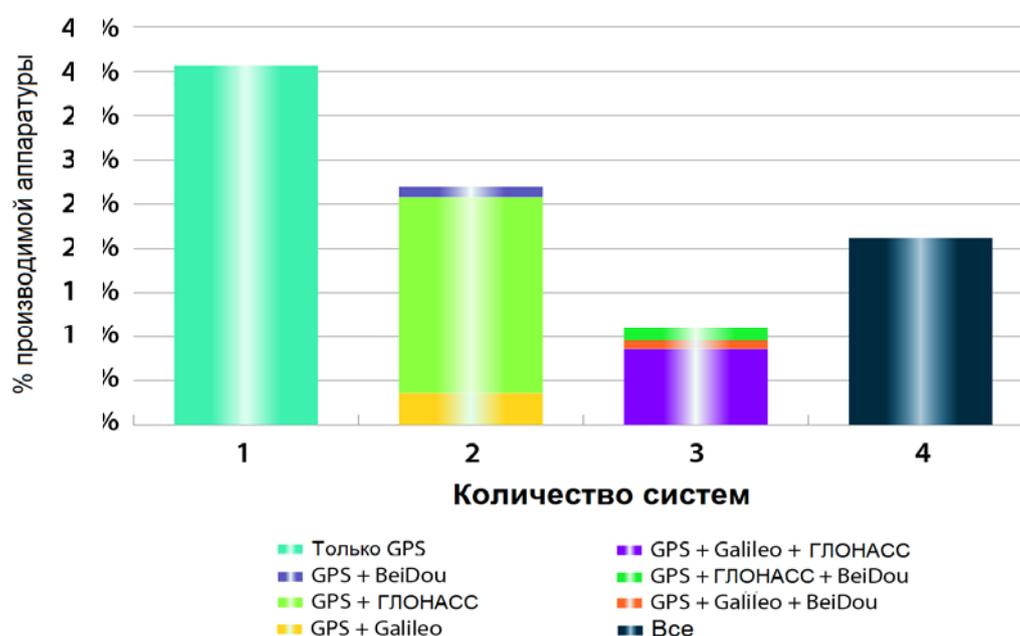


Рис. 1. Сигналы ГНСС, поддерживаемые гражданской аппаратурой потребителя (в процентах от общего числа производимых единиц) [10]

Система GPS в настоящее время используется в абсолютном большинстве устройств, а при отсутствии сигналов данной системы, функционирование части мультисистемных ГНСС-приемников невозможно.

Другой важный критерий классификации – сфера применения аппаратуры. В соответствии со стандартом [6] ГНСС-приемники применяют:

- на летательных аппаратах (воздушных судах);
- на морских (речных) судах;
- на космических объектах, ракетах-носителях, разгонных блоках, космических аппаратах и станциях и т. д.;
- на наземных подвижных объектах (автомобильный, железнодорожный транспорт);
- для решения задач мониторинга;
- для целей геодезического обеспечения задач различных потребителей.

Чтобы представить долю различной аппаратуры можно воспользоваться классификацией, предложенной Европейским космическим агентством в 2017 г. [10] (рис. 2).

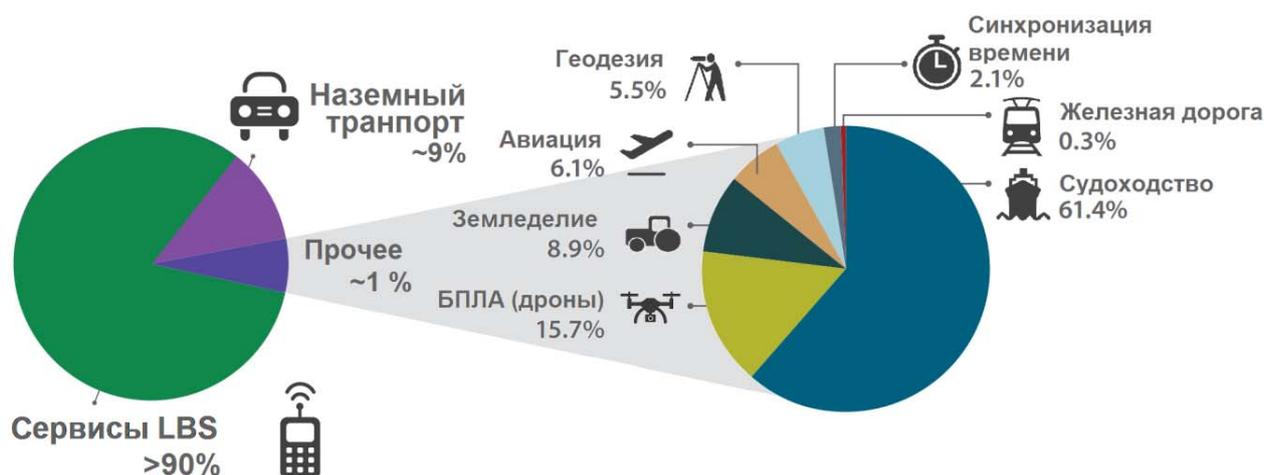


Рис. 2. Количественное распределение производимых ГНСС-приемников по сфере их применения

Приведенные данные позволяют увидеть масштаб распределения сегментов рынка [10, 11]. В том же отчете даны прогнозы развития рынка (объемы суммарного дохода) (рис. 3).

Исходя из данного прогноза, рынок дополнительных услуг (ПО и вспомогательные технологии) будет значительно превышать рынок непосредственно устройств. Стоит отметить, что данные на рис. 2 и 3 представлены в разных единицах (в одном случае – в количестве производимых устройств, во втором – в денежном эквиваленте).

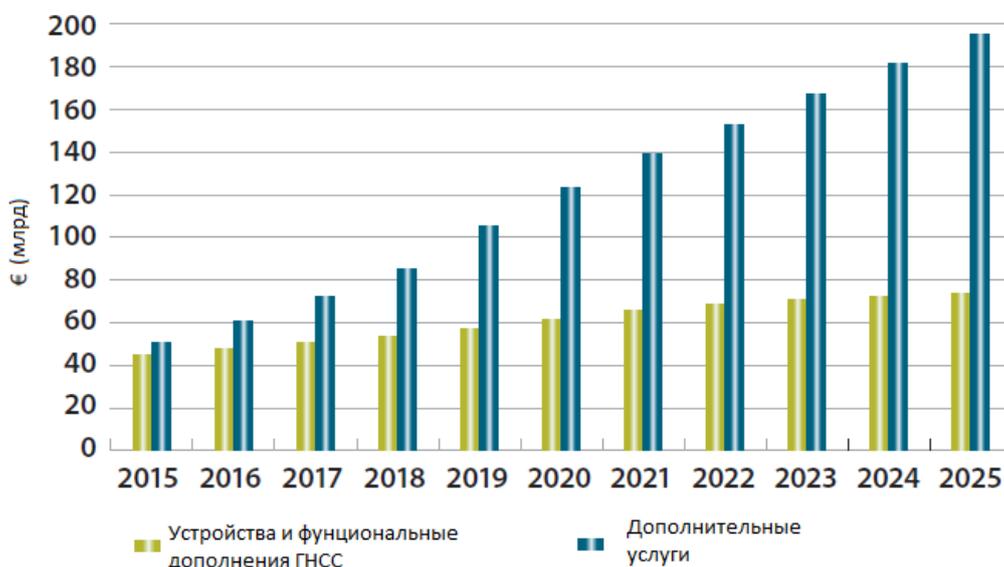
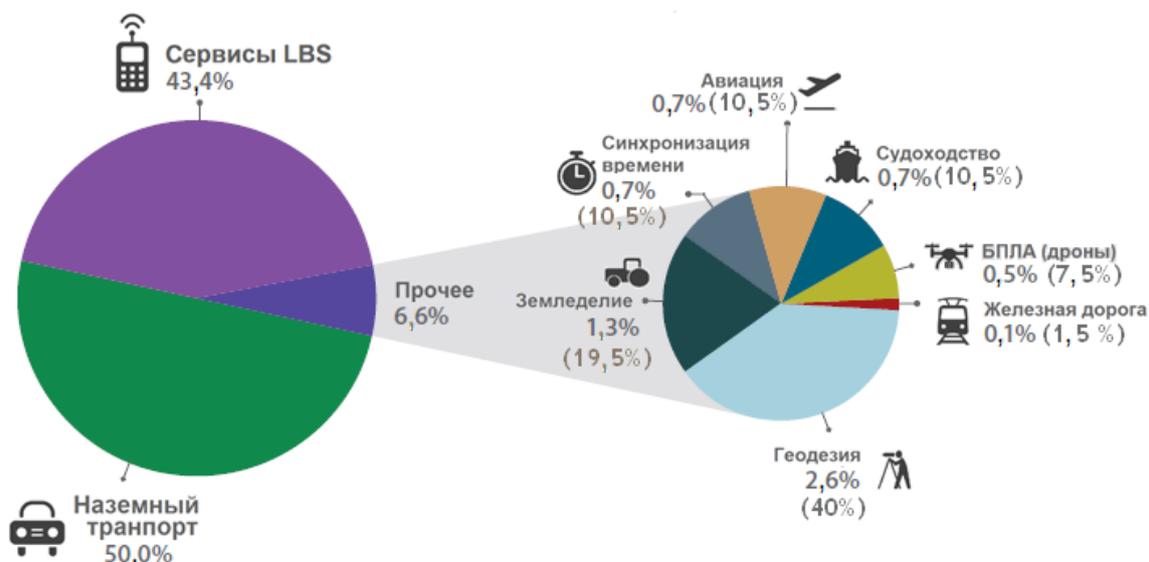


Рис. 3. Прогноз суммарного дохода за 2015–2025 гг. [10]

Кроме приведенных сегментов рынка стоит выделить еще один вид аппаратуры, который, в силу узкой специализации, как правило, не выделяют отдельно – аппаратура ГНСС для научного потребителя.

Несмотря на малый размер фокус-групп такой продукции, есть все основания полагать, что разработка аппаратуры данной специализации с учетом пожеланий потребителя, может принести значительную пользу для развития как технологий ГНСС, так и для смежных научных дисциплин.

Одним из перспективных направлений развития производства ГНСС-аппаратуры АО «РИРВ» является разработка аппаратуры гражданского потребителя. В настоящее время идет подготовка аппаратуры нового поколения, разработка опций к которой под нужды различных потребителей является отдельной важной задачей.

В рамках данной публикации рассмотрена концепция ГНСС-аппаратуры геодезического класса точности, адаптированная под нужды научного потребителя в виде набора опций для геодезической профессиональной аппаратуры.

### *Задачи и тенденции научного применения ГНСС*

Применение ГНСС научными организациями, как правило, связано с решением следующих задач:

- совершенствование существующей геодезической основы, развитие государственных геодезических сетей, в частности, фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС);

- применение ГНСС-аппаратуры для геодезического обеспечения различных специфических научных объектов, в том числе аэрокосмического базирования;

- исследование различных аспектов практического применения ГНСС-технологий в различных отраслях, разработка программно-аппаратных и методических решений для адаптации технологий к различным специфическим условиям и задачам;

- детальный анализ ГНСС-измерений в рамках наук о Земле: изучение атмосферы, движения тектонических плит, параметров гравитационного поля, а также в сейсмологии, метеорологии, океанографии и других науках;

- обучение профильных специалистов.

Как правило, перечисленные задачи решаются в рамках научных организаций и высших учебных заведений геодезического и смежного профилей, а также в инженерных организациях, внутри которых существует необходимость адаптации ГНСС-технологий для обслуживания уникальных конструкций и разработок.

Кроме того, внедрение ГНСС в новые области деятельности человека сопряжены с необходимостью научных исследований и разработок, связанных с адаптацией и усовершенствованием ГНСС технологий. К таким направлениям можно отнести [12–15], например:

- развитие беспилотного наземного, авиационного и морского транспорта;

- интеллектуальные системы контроля дорожного движения (в частности: контроль и оптимизация трафика, информационные услуги, «умное» страхование, коммерческие сервисы аренды транспорта/предоставления транспортных услуг, сервисы TRANTEL [12] в целом);

- совершенствование систем высокоточного кинематического позиционирования (точный автоматизированный заход на посадку, в морские/речные порты, отслеживание перемещения людей и животных);

- системы дополненной реальности (в том числе их применение в строительстве, моделировании и т. п.);

- глобальная синхронизация IT-систем (в банковском секторе, сетях телематики, в комплексах измерительной аппаратуры и пр.);

- различные гражданские приложения (LBS, спорт, страхование и пр.).

## *Требования к опциям приемника ГНСС для научного пользователя*

Научное применение аппаратуры определяет необходимость более гибкого функционала и широких возможностей в настройке приемника. Кроме того, научный пользователь должен иметь расширенный доступ к данным на различных стадиях их обработки.

В целом, основным опциональным отличием ГНСС-аппаратуры для научного потребителя относительно стандартной является наличие следующих возможностей:

– обязательное наличие интерфейсов связи с различными внешними устройствами, такими как:

- внешние стандарты частоты;
- анализаторы сигнала;
- метеодатчики;
- командные приборы/источники «событий»;

– настраиваемый формат и протокол приема поправок для реализации RTK и RTPPP;

– настраиваемый формат сохранения сырых измерений;

– прием и хранение дополнительных данных по протоколам TCP/IP и FTP;

– вывод в реальном времени сырых данных, в том числе, первичных или разной стадии обработки;

– программируемый интерфейс внутреннего ПО на базе открытых ОС (например, ОС семейства Linux);

– возможность адаптации к работе с open-source приложениями (например, RTKLib), в том числе, в реальном времени;

– расширенный доступ к настройке модулей аппаратуры.

Таким образом, предложенная аппаратура сможет иметь максимальную гибкость и широкие возможности для контроля, исследований и адаптации под решение нестандартных научных и инженерных задач.

Кроме того, необходимо учитывать общие тенденции в развитии ГНСС-технологий:

– уменьшение габаритных размеров аппаратуры, энергопотребления, цены;

– многосистемность и увеличение количества частот приема спутниковых сигналов;

– расширение рынка и стандартизация OEM-поставок;

– повсеместная поддержка SBAS, в том числе, QZSS и СДКМ;

– повсеместное развитие наземной инфраструктуры ГНСС наземного и космического базирования;

– развитие решений для навигации в помещении (indoor);

– интеграция с другими сенсорами (например, датчиками инерциальных навигационных систем);

- применение сигналов других систем (псевдоспутников, систем сотовой связи и координированных Wi-Fi-точек и пр.) для компенсации срывов спутниковых наблюдений;
- обязательная поддержка передачи данных и определения местоположения в реальном времени;
- повышение вычислительной мощности встроенных микропроцессоров, переход к программируемым микрокомпьютерам;
- развитие алгоритмов работы с большими объемами данных (Big Data);
- встраивание ГНСС-приемников в мобильные устройства и многоцелевые чипы.

### ***Проблемы, ограничивающие возможности научного потребителя***

При разработке приемника, ориентированного на научного потребителя, могут иметь место сложности как технического, так и юридического характера.

Так, большинство чипов ГНСС-приемников не имеют возможности вывода необработанных первичных данных (в частности, сигналов, поступающих на корреляторы и на геопроцессор), что требует разработки собственной платы с такими функциями.

Для реализации доступа пользователя к данным и управления аппаратурой на низком уровне требуется создание проприетарного интерфейсного языка программирования или набора функций для доступа к функциям аппаратуры с подробной документацией.

Юридические сложности заключаются в том, что при внесении пользователями функциональных изменений в работу аппаратуры, очевидно изменяются ее характеристики, что станет проблемой при ее сертификации как средства измерения.

Кроме того, существует вероятность появления и других юридических сложностей, не прописанных в существующем законодательстве, возможных из-за изменения пользователем технических характеристик.

### ***Выводы***

Разработка ГНСС-аппаратуры, имеющей возможность опциональной адаптации под нужды ученых, на первый взгляд, едва ли может быть экономически эффективным направлением для предприятия-производителя. Вместе с тем такая аппаратура, при грамотной реализации, может собрать вокруг себя профессиональное и научное сообщество, способствующее как развитию самой аппаратуры, так и отрасли в целом.

По убеждению авторов, при разработке отечественной ГНСС-аппаратуры в АО «РИРВ» и других научно-производственных предприятиях, должны быть учтены как существующие тенденции классического потребительского рынка, так и потребности узкоспециализированных потребителей.

Указанные предложения требуют широкого обсуждения в научных кругах. Имеющиеся вопросы, препятствующие реализации необходимого функционала, также должны быть решены на уровне ответственных структур.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии : монография. В 2 т. Т. 1. – М. : Картгеоцентр, 2005. – 334 с.
2. Hofmann-Wellenhof, B. GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo and more / B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, E. Wasle – Wien, New-York: Springer. – 2008. – 516 p. – Англ.
3. Leick, A. GPS Satellite Surveying / A. Leick. – New York: A Willey-Interscience Publication. – 1995. – 560 p. – Англ.
4. Соловьев Ю. А. Спутниковая навигация и ее приложения. – М. : Эко-Трендз, 2003. – 326 с.
5. Куприянов А. О., Майоров А.А. Современное состояние и перспективы развития применения ГЛОНАСС/ГНСС в Российской Федерации / CLGE: Documents [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.clge.eu/documents/events/154/kupriyanov.pdf>.
6. GPS-технология геодезического обеспечения геологоразведочных работ : метод. рекомендации / А. Г. Прихода, А. П. Лапко, Г. И. Мальцев, И. А. Бунцев ; науч. ред. А. Г. Прихода. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 2008. – 274 с.
7. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии : монография. В 2 т. Т. 2. – М. : Картгеоцентр, 2006. – 360 с.
8. Серапинас Б. Б. Глобальные системы позиционирования : учеб. пособие. – М. : ИКФ Каталог, 2002. – 106 с.
9. ГОСТ 31380–2009. Глобальные навигационные спутниковые системы. Аппаратура потребителей. Классификация. – М. : Стандартинформ, 2012. – 4 с.
10. GNSS Market report / GSA Europe [Electronic resource]. – Режим доступа: [https://www.gsa.europa.eu/system/files/reports/gnss\\_mr\\_2017.pdf](https://www.gsa.europa.eu/system/files/reports/gnss_mr_2017.pdf) – Англ.
11. GSA's 2015 Report Drives Deep into Global GNSS Market / GPS World [Electronic resource]. – Режим доступа: <http://gpsworld.com/gsas-2015-report-dives-deep-into-global-gnss-market/> – Англ.
12. Rizos, Ch. Trends in GPS Technology & Applications / ResearchGate [Electronic Resource]. – Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/267254924>
13. Вейцель А. В. Улучшение характеристик навигационной аппаратуры с использованием будущих перспективных сигналов ГНСС // Вестник СибГАУ. – 2013. – № 6. – С. 42–49.
14. Математические модели и техническая реализация GOCA – онлайн-системы геодезического мониторинга и оповещения о деформациях природных и техногенных объектов, основанной на точных спутниковых (GNSS) и наземных геодезических наблюдениях (LPS/LS) / Р. Ягер, П. Шпон, Т. Шайхутдинов, Т. И. Горохова, А. Ю. Янкуш // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Пленарное заседание : сб. материалов (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. – С. 9–32.
15. Cefalo R. The Actual Perspectives of GNSS Multi-constellatio Services and Receivers for Kinematic Application / R. Cefalo, M. Calderan, F. Filippi [et al.] // New Advanced GNSS and 3D Spatial Techniques. – Springer. – 2018. – P. 45–58.

© С. О. Шевчук, В. Н. Пономарев, Е. С. Черемисина, 2019