

3. Nazarenko A. I., Skrebushevsky B. S. *Evolyutsiya i ustoychivost' sputnikovoykh sistem* (Evolution and stability of satellite systems). Moscow, Mashinostroyeniye, 1981.

4. *Kontseptsiya Federal'noy tselevoy programmy "Podderzhaniye, razvitiye i ispol'zovaniye sistemy GLONASS" na 2012–2020 gody* (Concept of the "Maintenance, development, and exploitation of the GLONASS system in 2012–2020"). Federal Program, Draft, 6 of July 2011.

5. GPS World Magazine, 01/2007-04/2012.

6. Revnivykh S. G. *Sputnikovyye sistemy. Tendentsii razvitiya global'noy sputnikovoy navigatsii, doklad na 19 mezhdunar. konf. po integrirrovannym navigatsionnym sistemam v TSNII Elektropribor* (Satellite systems, tendencies of the global satellite navigation development, Report at the 19-th Int. Conf. devoted to integrated navigation systems, the "Electropribor" Central Research Institute), St. Petersburg, May, 2012.

© Ступак Г. Г., Ревнивых С. Г., Игнатович Е. И., Куршин В. В., Бетанов В. В., Панов С. С., Бондарев Н. З., Чеботарев В. Е., Балашова Н. Н., Сердюков А. И., Синцова Л. Н., 2013

УДК 621.396.99

АППАРАТУРА КОНТРОЛЯ НАВИГАЦИОННОГО ПОЛЯ ГНСС

М. К. Головин, О. Е. Лопатко, В. В. Тюбалин, Ю. С. Яскин

ОАО «Научно-исследовательский институт космического приборостроения»

Россия, 111250, г. Москва, ул. Авиамоторная, 53

E-mail: mihailgolovin@bk.ru, olopatko@rambler.ru, v.tyubalin@mail.ru, oaoniikp@mail.ru

Рассматриваются основные характеристики разработанной в ОАО «НИИ КП» аппаратуры контроля навигационных сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).

Аппаратура разработана в 2-х вариантах: мобильном и стационарном. Мобильный вариант позволяет контролировать открытые навигационные сигналы систем ГЛОНАСС и GPS.

Стационарный вариант рассчитан на контроль навигационных сигналов всех известных в настоящее время ГНСС и их функциональных дополнений. В состав стационарного варианта помимо основных приемников сигналов ГНСС входит специализированный приемник с остронаправленной антенной, что позволяет дополнительно оценивать энергетические, спектральные характеристики навигационных сигналов, а также их искажения.

Ключевые слова: ГНСС, ГЛОНАСС, GPS, навигационные сигналы, аппаратура контроля.

GNSS NAVIGATION SIGNALS MONITORING EQUIPMENT

M. K. Golovin, O. E. Lopatko, V. V. Tyubalin, Yu. S. Yaskin

Joint-Stock Company "Institute of Space Device Engineering"

53 Aviamotornaya str., Moscow, 111250, Russia

E-mail: mihailgolovin@bk.ru, olopatko@rambler.ru, v.tyubalin@mail.ru, oaoniikp@mail.ru

The report reviews the key features of GNSS navigation signals monitoring equipment.

The monitoring equipment was developed in two design options: mobile and stationary. The mobile option allows to control the open GLONASS/GPS navigation signals.

The stationary option was designed to control the navigation signals of all GNSS and their augmentations known at present time. The stationary design option contains a special-purpose receiver equipped with a narrow-beam aerial which allows to estimate the power, spectral characteristics of navigation signals, as well as their distortions.

Keywords: GNSS, GLONASS, GPS, navigation signals, monitoring equipment.

Для большинства пользователей глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) обеспечивают адекватные характеристики и точность. Ситуация изменяется, когда появляется потребность использовать ГНСС для применений, связанных с безопасностью жизни, таких, например, как посадка самолета.

В этом случае такие характеристики ГНСС как точность, доступность, целостность и непрерывность должны быть гарантированы с высокой вероятностью. Эти характеристики определяются в основном параметрами навигационных сигналов, что определяет необходимость их контроля.

Кроме того, контроль навигационных сигналов необходим при анализе конфликтных ситуаций, связанных с использованием спутниковой навигации.

Наиболее прямой путь, гарантирующий характеристики ГНСС для точных или связанных с безопасностью жизни применений, состоит в том, чтобы использовать специализированную аппаратуру контроля навигационных сигналов. Результаты контроля информируют пользователей о параметрах навигационных сигналов НКА, что позволяет пользователям выбирать оптимальную обработку сигналов или вообще исключить некоторые сигналы из обработки.

Навигационные сигналы всех НКА орбитальной группировки ГНСС образуют навигационное поле ГНСС. Различают контроль навигационного поля ГНСС в целом и контроль характеристик навигационного сигнала отдельного НКА.

Контроль навигационного поля в целом предусматривает контроль следующих основных характеристик:

- целостность навигационного поля, создаваемого НКА;
- доступность ГНСС;
- точностные характеристики навигационного поля.

Контроль характеристик навигационного сигнала отдельного НКА включает в себя:

- контроль эфемеридной информации;
- контроль частотно-временной информации;
- контроль информации альманаха системы;
- прием информации «Вызов НКУ»;
- контроль энергетических характеристик;
- контроль спектральных характеристик;
- контроль временных характеристик.

Последние три параметра определяют радиотехническое качество излучаемого сигнала.

Для решения вышеперечисленных задач была разработана аппаратура контроля навигационных полей ГНСС. Разработаны три варианта аппаратуры: мобильный, стационарный и аппаратура контроля качества навигационных сигналов.

В состав разработанной мобильной аппаратуры навигационных сигналов вошли следующие блоки:

- блок антенный;
- блок навигационного приемника;

- устройство обработки и визуализации на базе специализированной ПЭВМ;

- общее и специальное программно-математическое обеспечение;

- блок питания с возможностью работы от сети постоянного тока напряжением 9–30 В и от сети переменного тока напряжением 220 В;

- комплект кабелей;

- комплект эксплуатационной документации;

- упаковочный комплект.

Внешний вид мобильной аппаратуры представлен на рис. 1.

Аппаратура может работать в реальном времени и в режиме прогноза характеристик навигационного поля для любой точки земной поверхности и приземного космического пространства до высот 7000 км.

В реальном времени возможны следующие режимы работы мобильной аппаратуры: «Движение»; «Останов»; «Контроль поля».

Во всех перечисленных режимах возможна работа со следующими сигналами орбитальных группировок ГЛОНАСС и GPS:

- ГЛОНАСС (СТ, L1, L2) + GPS (C/A L1, L2C);

- ГЛОНАСС (СТ, ВТ, L1, L2);

- GPS (C/A L1, L2C).

Во всех режимах работы на экране специализированной ПЭВМ отображается:

- контроль состояния каналов приемника (энергетический потенциал канала L1/L2, поиск/прием) (рис. 2);

- позиция (текущее время, координаты в заданной системе, номера НКА в решении, оценка точности по координатам и скоростям (плановым и высоте), высота, курс (рис. 3);

- расположение НКА на небесной сфере (азимут и угол места) (рис. 4);

- непрерывность измерений в диапазонах L1 и L2;

- сообщения о принятой информации (рис. 5).

В режимах «Останов» и «Контроль поля» отображается дополнительная информация:

- «мишень» точности плановых координат;

- дифференциальные режимы работы (выработка/прием дифпоправок и обработка дифпоправок в соответствии со стандартом RTCM 104).

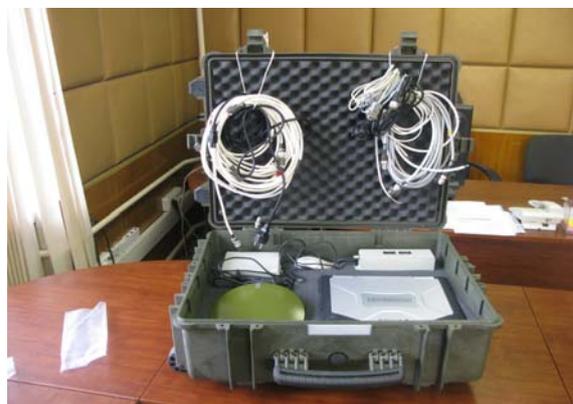


Рис. 1. Внешний вид мобильной аппаратуры контроля навигационных сигналов (справа в стандартной упаковке)



Рис. 2. Контроль состояния каналов приемника

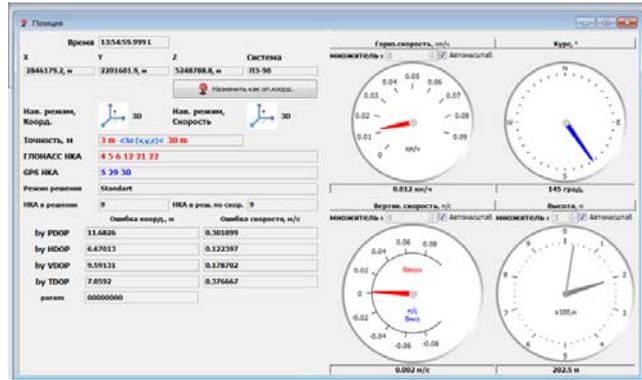


Рис. 3. Отображение текущего времени, координат, номеров НКА в решении, оценка точности по координатам и скоростям, высота, курс

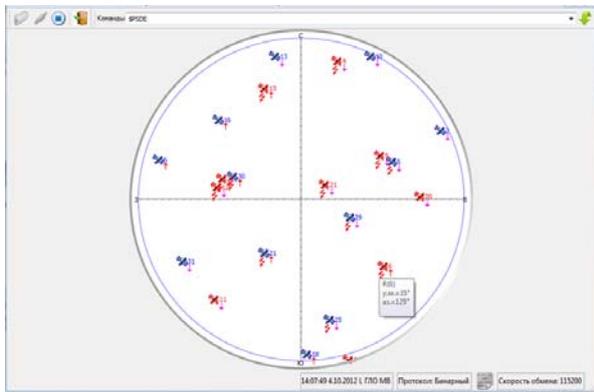


Рис. 4. Расположение НКА на небесной сфере (азимут и угол места)

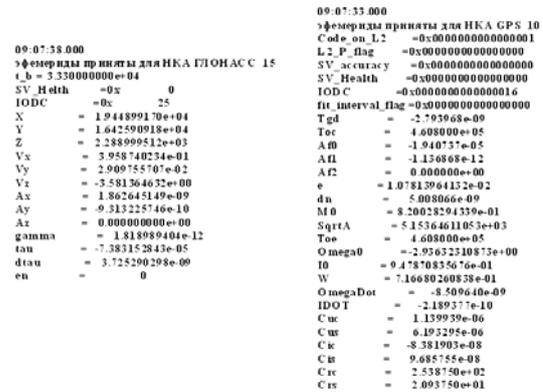


Рис. 5. Пример записи цифровой информации

В режиме «Контроль поля» отображается дополнительная информация:

- отбраковка по RAIM алгоритму НКА систем ГЛОНАСС и GPS;
- пороги RAIM могут устанавливаться оператором с учетом информации SBAS или без учета этой информации.

Вся цифровая информация документируется в десятичном и бинарном виде. Сеанс связи может быть запомнен и проигран апостериорно. «Глубина» архива – 30 суток.

Прогноз характеристик орбитальной группировки осуществляется на основе альманахов ГЛОНАСС и GPS. На карте мира можно поставить любую точку (рис. 6) – прогноз характеристик будет осуществляться именно на нее.

Прогноз осуществляется для различной «маски» антенны пользователя с учетом возможных секторов затенения. Высота потребителя может быть до 7000 км. Возможен взаимный пересчет различных систем координат.

Прогнозируются следующие характеристики:

- зоны видимости каждого НКА группировки в заданной точке;
- положение НКА на небесной сфере: угол места, азимут;

- коэффициенты геометрии: HDOP, VDOP, PDOP, TDOP, GDOP (рис. 7);
- доступность за интервал времени по 2-м критериям: гарантированное количество видимых НКА и гарантированный коэффициент геометрии;
- интегральные характеристики точности навигации на карте мира;
- интегральные характеристики точности спутникового покрытия на карте мира.

В качестве примера на рис. 8 приведены на определенную дату интегральные характеристики спутникового покрытия и точности на карте мира.

Стационарная аппаратура включает в себя 15 одинаковых навигационных приемников, перепрограммируемых под различные ГНСС. Приемники объединены в евростойку.

Навигационные приемники позволяют принимать сигналы следующих ГНСС:

- ГЛОНАСС (L1, L2, L3/L5, СТ, ВТ, FDMA, CDMA);
- GPS (L1 C/A, L1C, L2C, L5);
- GALILEO (L1 E1, E5a, E5b);
- COMPASS (L1 BOC 1,1);
- QZSS (L1 BOC 1,1; L5 BPSK 10);
- а также сигналы SBAS (L1, L5).

Структурная схема стационарной аппаратуры контроля навигационных сигналов ГНСС приведена на рис. 9.

В состав стационарной аппаратуры (рис. 10) также включены всенаправленная и направленная (рис. 11) антенны, комплект кабелей, промышленный Notebook, источники питания.

Программно-математическое обеспечение стационарной аппаратуры контроля включает в себя:

- программу прогноза характеристик орбитальных группировок ГНСС и их функциональных дополнений (построение программы аналогично построению программы прогноза характеристик орбитальных группировок ГЛОНАСС и GPS для мобильной аппаратуры);

- программу реального времени (по идеологии аналогичную программе реального времени для систем ГЛОНАСС и GPS в мобильной аппаратуре).

Разработка программ под различные сигналы ГНСС сильно зависит от готовности интерфейсных контрольных документов на эти сигналы.

Стационарная аппаратура контроля навигационных сигналов в настоящее время находится в стадии производства:

- разработана и изготовлена евростойка;
- разработаны и изготовлены приемники;
- разработано и отлажено ПМО для ГЛОНАСС (L1, L2, СТ, ВТ) и GPS (L1 C/A, L2C).

Система контроля качества навигационных сигналов ГНСС [1–4] позволяет в диапазонах L1, L2 и L3/L5:

- оценивать искажение длительности импульса псевдослучайной последовательности (ПСП) модулирующего сигнала;
- определять наличие переходного процесса при формировании импульса ПСП;
- оценивать уровень мощности навигационного сигнала у поверхности Земли;
- оценивать спектральные характеристики сигналов;
- оценивать помеховую обстановку в точке приема навигационных сигналов.

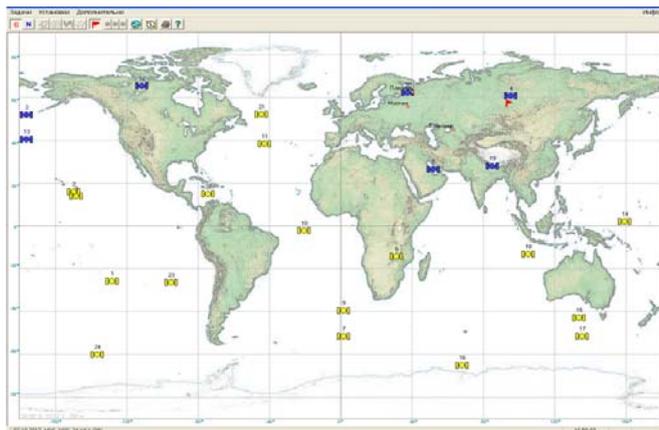


Рис. 6. Выбор точки прогноза

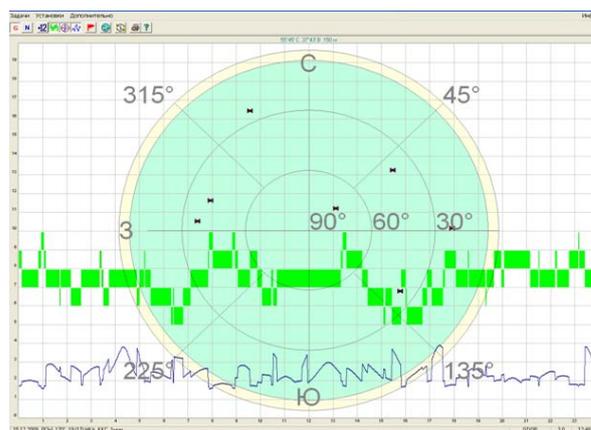


Рис. 7. Количество видимых НКА и их положение на небесной сфере, величина GDOP

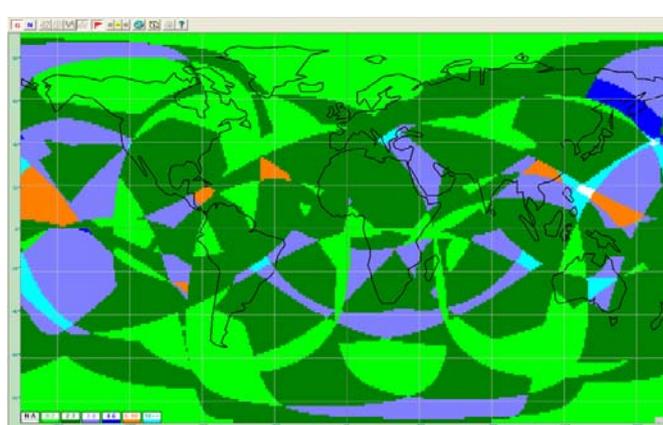
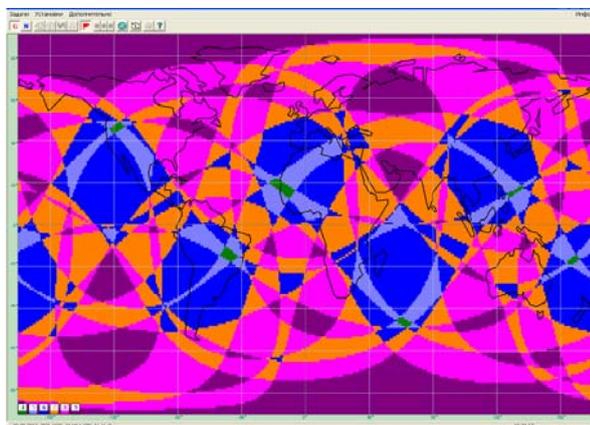


Рис. 8. Интегральные характеристики спутникового покрытия (слева) и точности

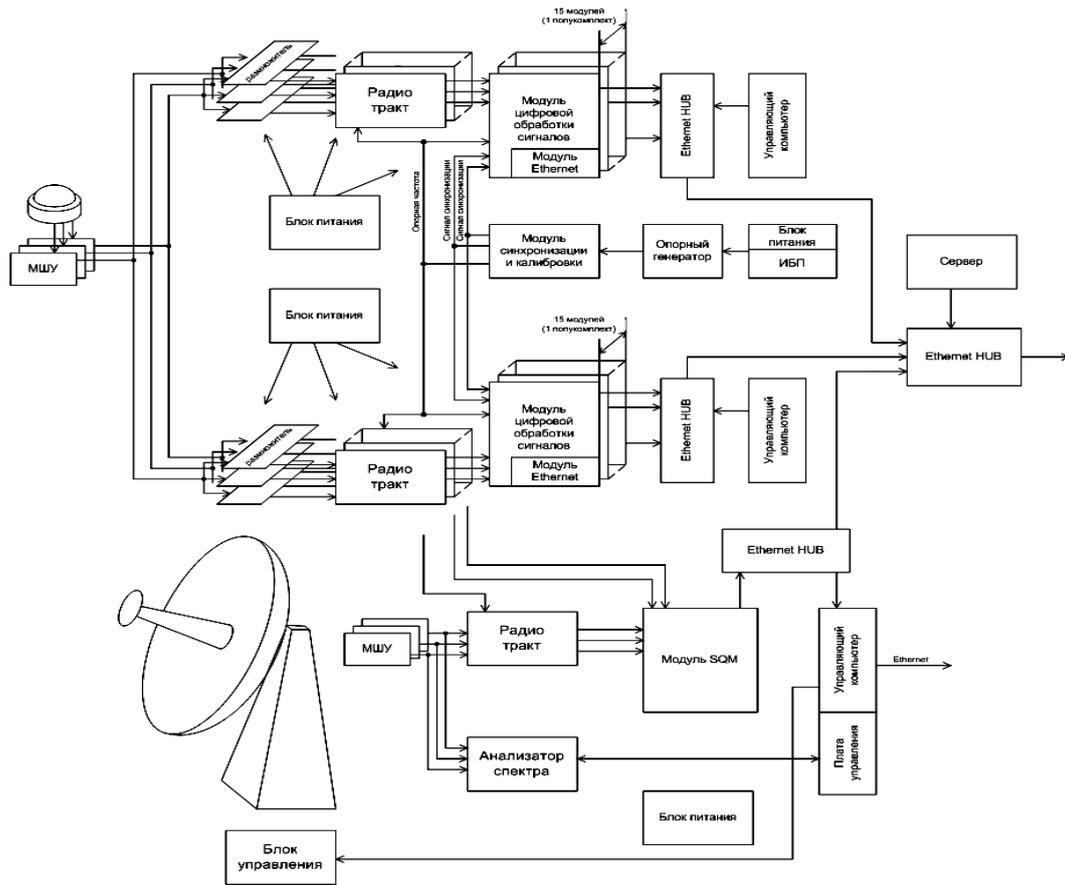


Рис. 9. Структурная схема стационарной аппаратуры контроля навигационных сигналов ГНСС



Рис. 10. Внешний вид стационарной аппаратуры



Рис. 11. Направленная антенна

В состав аппаратуры контроля качества навигационных сигналов ГНСС входят:

- остронаправленная антенна диаметром $d = 3,7$ м с коэффициентом усиления $K_y = 33$ дБ;
- система управления антенной;
- система наблюдения за ориентацией антенны;
- специализированный приемник;
- высококачественный спектроанализатор;

- специализированное ПМО;
- промышленный Note-book.

Искажения длительности импульса ПСП, а также наличие переходного процесса при его формировании определяется по искажению автокорреляционной функции (АКФ) сигнала в специализированном приемнике. Последний позволяет анализировать АКФ в большом количестве точек (более 100). Рис. 12 иллю-

стрирует результаты моделирования искажений импульсов ПСП и соответствующие им АКФ.

В 2012 г. в ОАО «НИИ КП» с помощью аппаратуры контроля качества сигналов были проведены экспериментальные исследования спектров сигналов в диапазонах L1, L2, L3 НКА «Глонасс-К». Контроль осуществлялся путем сравнения со спектрами сигналов НКА «Глонасс-М» в диапазонах L1, L2, а в диапазоне L3 с сигналом L5 системы GPS. Искажений спектра выявлено не было. Уровень принимаемого сигнала НКА «Глонасс-К» соответствовал уровню принимаемых сигналов НКА «Глонасс-М» в диапазонах L1, L2. В диапазоне L3 сравнение осуществлялось с сигналом L5 НКА GPS № 25. Уровни сигналов были эквивалентны. Исследовались также временные ис-

кажения импульсов ПСП некоторых сигналов НКА систем ГЛОНАСС и GPS. Искажений формы импульсов обнаружено не было. Экспериментальные результаты иллюстрируют рис. 13–16.

Стационарная аппаратура контроля навигационных сигналов может принимать и обрабатывать открытые сигналы всех известных в настоящее время ГНСС и их функциональных дополнений. Это позволяет сравнивать и оценивать параметры различных ГНСС. Аппаратура построена таким образом, что при изменении структуры сигнала какой-либо ГНСС, достаточно произвести перепрограммирование параметров приемника, не изменяя аппаратной части. Аппаратура изготовлена, идет ее отладка и доработка ПМО.

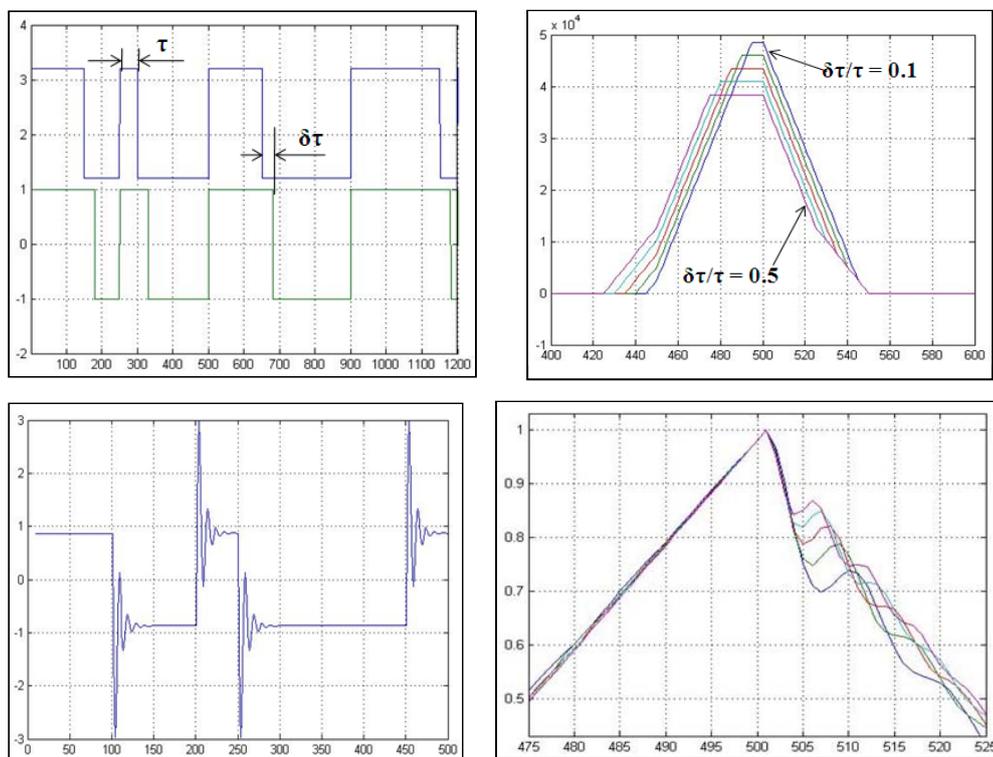


Рис. 12. Искажения сигнала во временной области. АКФ

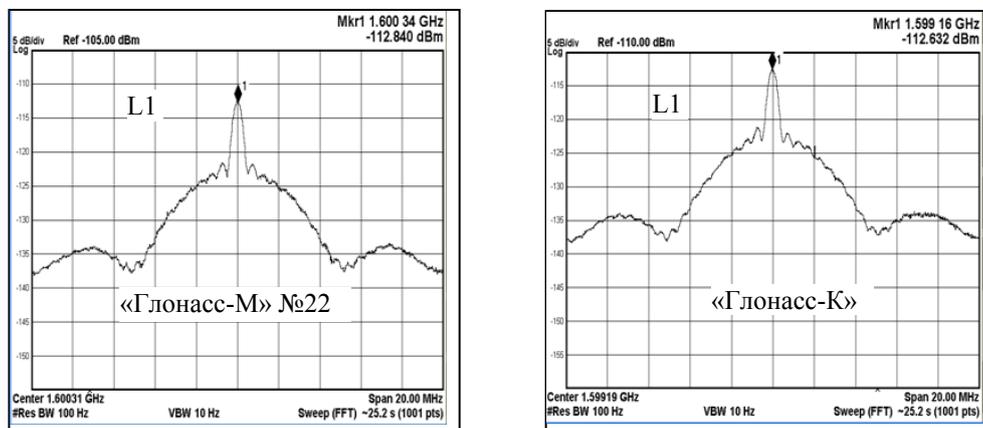


Рис. 13. Исследование спектров навигационных сигналов. Диапазон L1

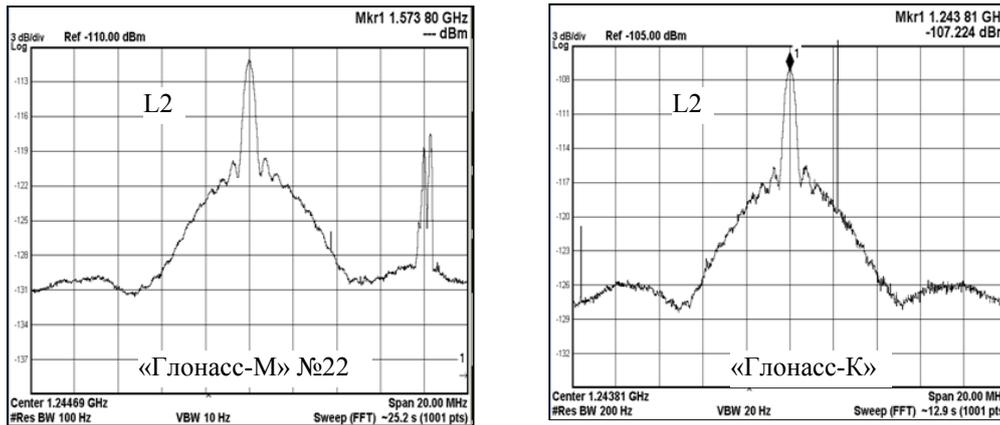


Рис. 14. Исследование спектров навигационных сигналов. Диапазон L2

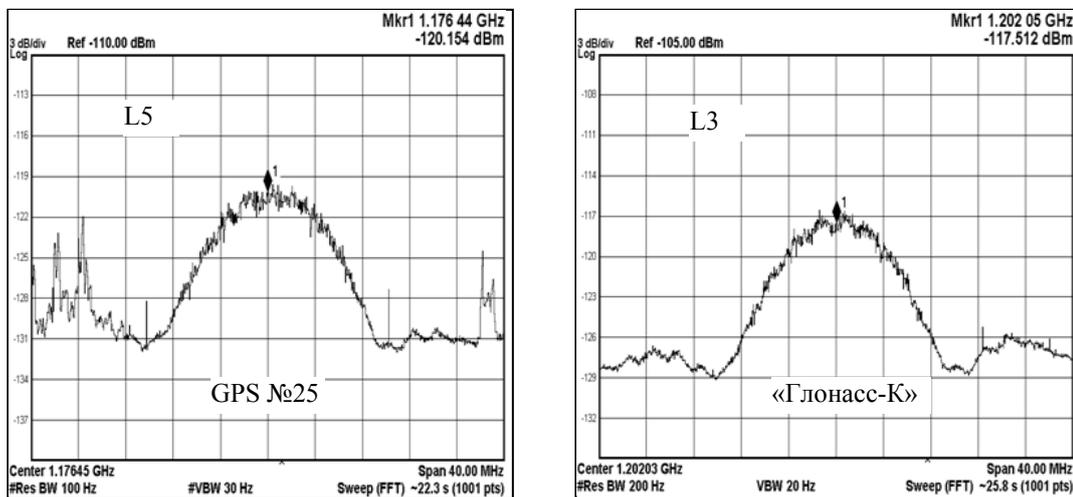


Рис. 15. Исследование спектров навигационных сигналов. Диапазон L3/L5

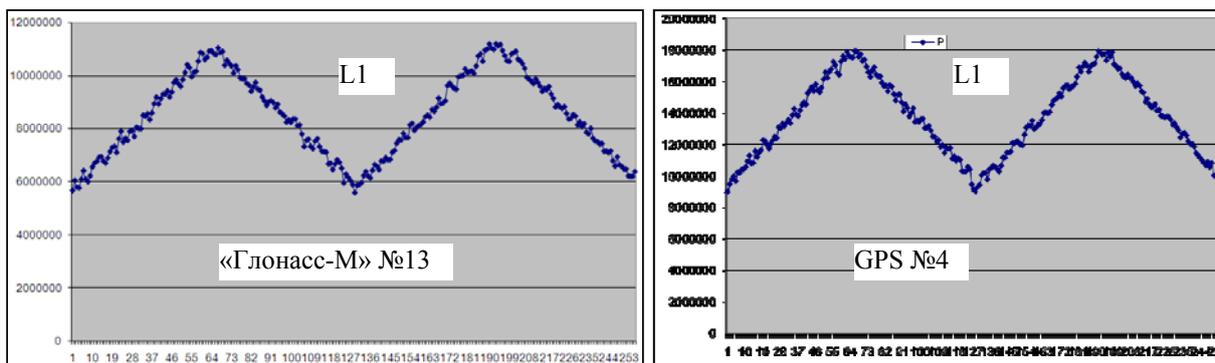


Рис. 16. Исследование искажений навигационных сигналов

В системе контроля качества сигналов изготовлена аппаратная часть, идет отладка ПМО и монтаж юстировочного оборудования для направленной антенны.

Таким образом, в настоящее время в ОАО «НИИ КП» разработана, изготовлена и эксплуатируется

компактная (мобильная) 64-канальная аппаратура контроля навигационных сигналов систем ГЛОНАСС и GPS в диапазонах L1 и L2.

Такая аппаратура особенно полезна в районах испытаний мобильной техники, использующей

ГЛОНАСС/GPS приборы спутниковой навигации. Она позволяет оптимальным образом планировать испытания и служить «арбитром» в конфликтных ситуациях.

References

1. Enge P., Phelts R. E., Mitelman A. M. *Detecting Anomalous Signals from GPS Satellites*, Stanford University, 5 October 1999.

2. Edgar C., Czopek F., Barker B. *A Co-operative Anomaly Resolution on PRN-19*. ION GPS-99, pp 2269–2271.

3. Phelts R. E., Akos D., Enge P. *Robust Signal Quality Monitoring and Detection of Evil Waveforms*. ION GPS-2000, pp 1180–1190.

4. Jakab A. *Quality Monitoring of GPS Signals*. Department of Geomagnetism Engineering, Reports. University of Calgary, July 2001.

© Головин М. К., Лопатко О. Е., Тюбалин В. В., Яскин Ю. С., 2013

УДК 621.396

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГНСС ГЛОНАСС

П. П. Богданов, В. Е. Дружин, О. Е. Нечаева, А. Е. Тюляков, А. Ю. Феоктистов, К. Г. Шупен

ОАО «Российский институт радионавигации и времени»
Россия, 191124, Санкт-Петербург, пл. Растрелли, 2
E-mail: bogdanov_pp@irt.ru

Работа посвящена вопросам организации частотно-временного обеспечения (ЧВО) глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) ГЛОНАСС. Рассмотрены основные задачи ЧВО ГНСС ГЛОНАСС, приведено краткое описание реализованной в настоящее время в центре управления системой ГЛОНАСС технологии ЧВО, представлены основные результаты анализа функционирования комплекса технических и программных средств ЧВО, достигнутые точностные характеристики ЧВО и основные направления их совершенствования.

Ключевые слова: навигационная спутниковая система, ГЛОНАСС.

PRINCIPAL DIRECTIONS OF THE FURTHER UPDATE OF THE GLONASS TIME-AND-FREQUENCY SUPPORT

P. P. Bogdanov, V. E. Druzhin, O. E. Nechaeva, A. E. Tyulyakov, A. Y. Feoktistov, K. G. Shupen

JSC “Russian Institute of Radionavigation and Time”
2 Rastrelli place, St. Petersburg, 191124, Russia
E-mail: bogdanov_pp@irt.ru

The paper presents the time-and-frequency support (TFS) of Global Navigation Satellite System (GNSS) of GLONASS. The basic functions of GNSS GLONASS TFS are considered, the TFS technology realized nowadays in GLONASS System Control Center is briefly described, the analysis of TFS hardware/software complex operation and its results are introduced, TFS accuracy characteristics and the main ways of their update are presented.

Keywords: global navigation satellite system, GLONASS.

Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) ГЛОНАСС предназначена для высокоточного координатно-временного и навигационного обеспечения морских, воздушных, сухопутных и других видов потребителей.

Для достижения этого в системе реализуется синхронизация бортовых шкал времени (БШВ) всех космических аппаратов (КА) ГНСС относительно шкалы времени системы (ШВС) и синхронизации ШВС относительно принятой опорной шкалы времени (ШВ).

Данные задачи решаются в ГНСС ГЛОНАСС отдельным комплексом технических и программных

средств, получившим название системы синхронизации или частотно-временного обеспечения (ЧВО).

Система синхронизации ГНСС ГЛОНАСС совместно со средствами наземного комплекса управления (НКУ) и другими привлекаемыми средствами и комплексами реализует решение следующих основных задач ЧВО:

– формирование и хранение шкалы времени системы (ШВС) ГЛОНАСС;

– определение и прогнозирование расхождений бортовых шкал времени (БШВ) КА относительно ШВС, формирование для закладки на борт КА час-