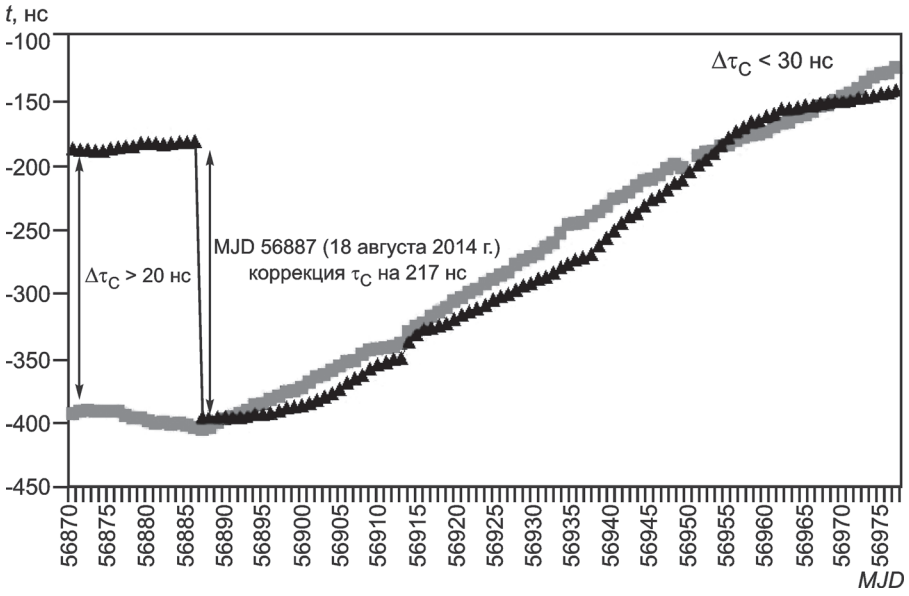


Рис. 3. Результаты оценки поправок по измерениям ГЛОНАСС:
1 — L3P; *2* — τ_C

Литература

1. **Федеральная** целевая программа «Поддержание, развитие и использование ГЛОНАСС на 2012—2020 годы» (ГЛОНАСС-2020). [Электрон. версия]. http://fcp.economy.gov.ru/cgi-bin/cis/fcp.cgi/Fcp/ViewFcp/View/2012/396 (дата обращения 24.09.2014 г.).

2. **Федеральный** закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».

3. **ГОСТ Р 52928—2010.** Система спутниковая навигационная глобальная. Термины и определения.

4. **ГОСТ Р 8.750—2011.** ГСИ. Государственная поверочная схема для координатно-временных средств измерений.

5. **Перов А. И., Харисов В. Н.** ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. М.: Радиотехника, 2010.

6. **Федотов В. Н.** Оценка погрешностей беззапросных средств измерений ГЛОНАСС // Измерительная техника. 2009. № 1. С. 25—28; **Fedotov V. N.** Estimation of the errors of query-free measuring instruments used in GLONASS // Measurement Techniques. 2009. V. 52. N. 1. P. 37—41.

7. **Глобальная** навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Версия 5.1. М.: 2008. [Электрон. ресурс]. http://www.aggf.ru/gnss/glon/ikd51ru.pdf (дата обращения 09.09.2014 г.).

Дата принятия 10.11.2014 г.

621.3.088

Метод измерения мощности ортогональных составляющих сигналов глобальных навигационных спутниковых систем

А. С. ЗАВГОРОДНИЙ, Д. С. ПЕЧЕРИЦА

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, Менделеево, Россия, e-mail: zavgor@vniiftri.ru

Рассмотрен метод измерения мощности ортогональных составляющих навигационного сигнала. Отмечено основное отличие предложенного метода от существующих, заключающееся в математической обработке демодулированного навигационного сигнала, которая позволяет измерять мощность при любой разности частот источника навигационного сигнала и демодулятора.

Ключевые слова: *глобальные навигационные системы, ГЛОНАСС, GPS, мощность, квадратура.*

A method of measuring the power of navigation signals orthogonal components is considered. The main feature of the proposed method is a mathematical processing after GNSS signals demodulation. The method allows to measure the power at any difference of values of frequencies of navigation signal source and of demodulator.

Key words: *global navigation system, GLONASS, GPS, power, quadrature.*

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) находят все более широкое применение. В настоящее время технологии спутниковой навигации используют в системах контроля транспортного потока и обеспечения безопасности, авиации, геодезии, а также при исследовании атмосферы и в других областях. Мировая практика построения систем спутниковой навигации (ГЛОНАСС, GPS, Galileo) подразумевает применение сигналов, обеспечивающих различный доступ пользователей к системам [1]. В ГНСС предусмотрены сигналы с открытым доступом, описание которых приведено в интерфейсных контрольных документах, и сигналы, предназначенные для специализированного применения, т. е. доступ к ним ограничен. В большинстве случаев сигналы с открытым и ограниченным доступом излучаются

космическим аппаратом на одной несущей частоте. В последнее время область применения ГНСС существенно расширяется, так как для большинства гражданских потребителей точность навигации по открытым сигналам является достаточной, прием и обработка таких сигналов относительно просты, а санкционированный доступ не требуется.

На метрологические характеристики навигационных измерений большое влияние оказывают радиотехнические характеристики сигналов и, прежде всего, их мощность. Роль метрологического обеспечения энергетических характеристик открытых навигационных сигналов возрастает одновременно с расширением перечня аппаратуры, предназначенной для работы с этими сигналами. Для решения задач метрологического обеспечения бортовых радиотехнических средств навигационных космических аппаратов во ВНИИФТРИ создан стационарный комплекс, основу которого составляет система измерений радиотехнических параметров сигналов ГНСС на базе направленной антенной системы.

Расположение спектров сигналов с открытым и ограниченным доступом на одной несущей частоте [2] позволяет измерять их мощности по отдельности классическими методами. Для решения задачи измерений мощности сигнала с открытым доступом в НИО-8 были разработаны несколько методов, основанных на последующей цифровой обработке и демодуляции принимаемого сигнала, и предполагающих использование направленной антенной системы, а также высокочастотного тракта со значительным коэффициентом усиления (порядка 90 дБ). В настоящее время наиболее проработан и освоен метод измерений канальной мощности по результатам цифровой демодуляции навигационных сигналов. Он подразумевает измерение суммарной мощности навигационных сигналов в занимаемой полосе частот P_Σ, а также соотношения их мощностей k. Таким образом, мощности навигационных сигналов с открытым и ограниченным доступом можно рассчитать при решении системы уравнений

$$\begin{cases} P_\Sigma = P_1 + P_2; \\ k = P_1/P_2, \end{cases}$$

где P_1, P_2 — мощности навигационных сигналов с открытым и ограниченным доступом, соответственно; k — коэффициент пропорциональности.

Суммарная мощность навигационных сигналов с общей несущей частотой измеряется классическим методом с помощью ваттметра. Коэффициент k рассчитывается по формуле:

$$k = P_1/P_2 = \left(A_1(t)^2/(2Z)\right)\left((2Z)/A_2(t)^2\right) = \left[\left|A_1(t)\right|/\left|A_2(t)\right|\right]^2,$$

где $A_1(t)$, $A_2(t)$ — результаты демодуляции навигационных сигналов с открытым и ограниченным доступом, соответственно, т. е. импульсные последовательности, модулирующие навигационные сигналы.

Раздельная демодуляция навигационных сигналов возможна при сдвиге фаз $\pi/2$ несущих частот этих сигналов. Сигналы можно разделить путем их умножения на синфазные гармонические колебания, ортогональные друг другу [3]. На рис. 1 показано расположение комплексных амплитуд ансамбля сигналов (сигнальное созвездие) на комплексной плоскости, которое представляет крест с углом раствора 90°. Запишем выражение, описывающее временную зависимость действительной $I(t)$ и мнимой $Q(t)$ частей вектора, соответствующего демодулированному навигационному сигналу после фильтрации. И мнимая, и действительная части зависят от временных реализаций модулирующих импульсных последовательностей, а также от полного набега фазы:

$$\left.\begin{aligned} I(t) &= A_1(t)\frac{\cos[\varphi_0 + \varphi_д(t)]}{2} - A_2(t)\frac{\sin[\varphi_0 + \varphi_д(t)]}{2}; \\ Q(t) &= A_1(t)\frac{\sin[\varphi_0 + \varphi_д(t)]}{2} + A_2(t)\frac{\cos[\varphi_0 + \varphi_д(t)]}{2}, \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

где $A_1(t)$, $A_2(t)$ — искомые временные зависимости модулирующих навигационные сигналы импульсных последовательностей; φ_0 — начальная фаза несущей частоты сигналов; $\varphi_д(t)$ — набег фазы, обусловленный разницей частот (доплеровским смещением и разностью частот опорных генераторов).

Для подтверждения на практике полученных теоретических результатов, а также опробования предложенной методики измерений мощностей квадратурных составляющих навигационных сигналов была проведена серия лабораторных и натурных экспериментов. В настоящее время демодуляция осуществляется с помощью анализатора сигналов N9030A с установленным специализированным программным обеспечением векторной обработки сигналов 89601B. При проведении лабораторных экспериментов во ВНИИФТРИ аппаратура имитации навигационных сигналов и анализатор сигналов управлялись сигналами одного опорного генератора, что позволило синхронизировать по начальной фазе опорный генератор анализатора и несущую частоту навигационных сигналов, т. е. фазовые слагаемые φ_0, $\varphi_д(t)$ были выставлены в нуль и не изменялись во времени. Результаты цифровой демодуляции сигналов, приведенные в [3, 4], подтверждают корректность предложенной математической модели (1). В ходе лабораторных экспериментов были получены неискаженные импульсные последовательности $A_1(t)$, $A_2(t)$.

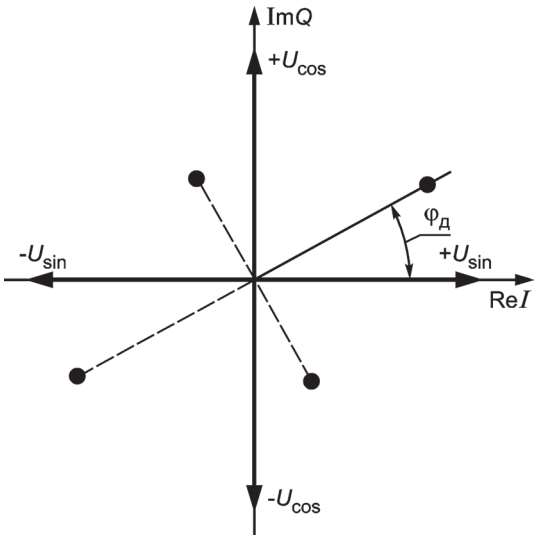


Рис. 1. Сигнальное созвездие навигационного сигнала на комплексной плоскости

При проведении натурных экспериментов с использованием высоконаправленной антенной системы в результате демодуляции принимаемого навигационного сигнала были получены временные реализации, являющиеся суммой последовательностей $A_1(t)$, $A_2(t)$ с весовыми коэффициентами, изменяющимися со временем [4, 5]. Такое поведение демодулированного сигнала полностью описывается моделью (1) в условиях ненулевого набега фазы $\varphi_д(t)$. В геометрической интерпретации на фазовой плоскости это выглядит как вращение креста сигнального созвездия относительно осей фазовой плоскости, задаваемых анализатором, угол поворота креста относительно начального положения $\varphi_д(t)$ является набегом фазы на этот момент времени. Для получения временных реализаций модулирующих импульсных последовательностей необходимо компенсировать этот набег для каждого момента времени.

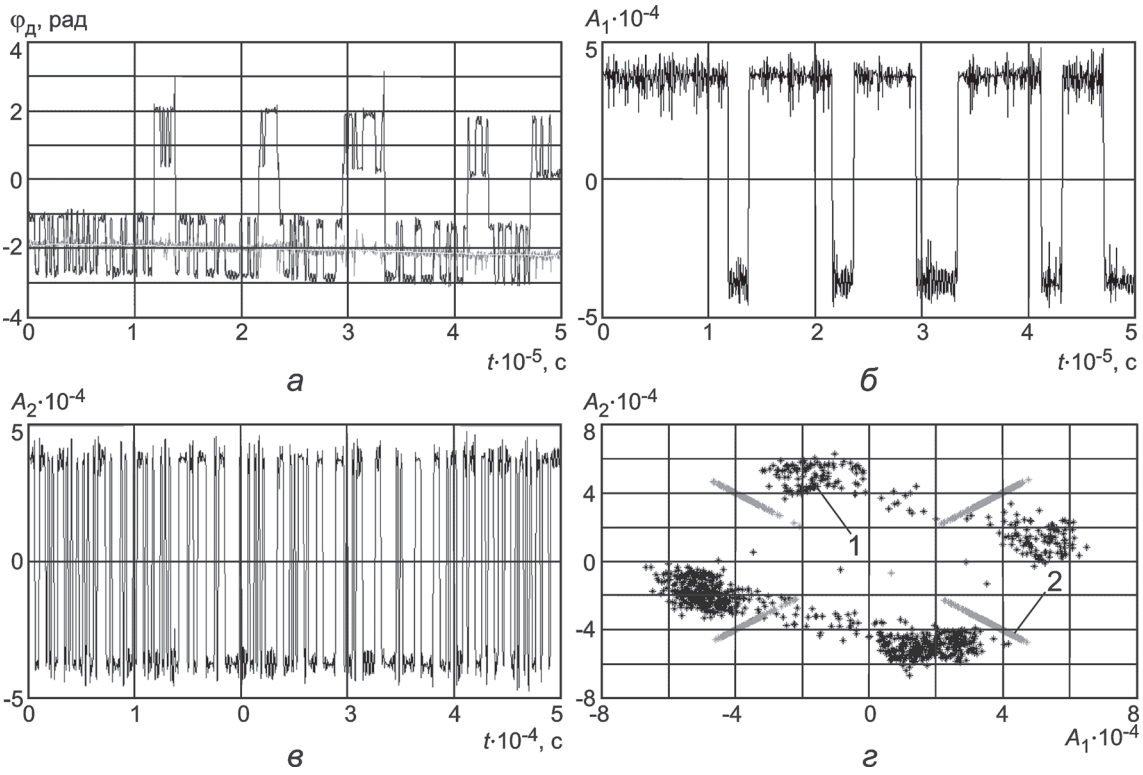


Рис. 2. Результат работы алгоритма компенсации:

а — временная зависимость полной фазы демодулированного сигнала и рассчитанного значения паразитного набега фазы; *б*, *в* — временные реализации модулирующих импульсных последовательностей разных тактовых частот; *г* — сигнальное созвездие на фазовой плоскости:

1 — демодулированный сигнал; *2* — скомпенсированный результат демодуляции

Перепишем систему уравнений (1) в векторном виде

$$\begin{pmatrix} I(t) \\ Q(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos[\varphi_0 + \varphi_д(t)] & -\sin[\varphi_0 + \varphi_д(t)] \\ \sin[\varphi_0 + \varphi_д(t)] & \cos[\varphi_0 + \varphi_д(t)] \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} A_1(t) \\ A_2(t) \end{pmatrix}$$

или в сокращенном виде

$$\mathbf{S}(t) = C(t) \times \mathbf{A}(t),$$

где $\mathbf{S}(t)$, $\mathbf{A}(t)$ — комплексные векторы демодулированного и исходного сигналов, соответственно; $C(t)$ — матрица поворота на угол φ_0.

При набеге фазы $\varphi_д(t)$ матрица $C(t)$ изменяется вместе с ним и соответствует матрице поворота на угол $\varphi = [\varphi_0 + \varphi_д(t)]$. Следовательно, скомпенсировав этот поворот, можно однозначно восстановить временную реализацию $\mathbf{A}(t)$.

Таким образом, для компенсации паразитного набега фазы сигнала необходимо провести следующие действия:

получить вектор **S**, соответствующий текущему такту измерений;

определить угол поворота этого вектора относительно полученного на предыдущем такте измерений, т. е. полное приращение фазы вектора **S**;

вычислить приращение фазы $\varphi(t)$ за один такт работы анализатора, обусловленное разностью частот навигационного и опорного сигналов;

из набега фазы вычислить матрицу поворота $C(t)$:

$$C(t) = \begin{bmatrix} \cos(\varphi(t)) & -\sin(\varphi(t)) \\ \sin(\varphi(t)) & \cos(\varphi(t)) \end{bmatrix};$$

определить вектор $\mathbf{A}(t)$, соответствующий текущему такту измерений: $\mathbf{A}(t) = C^{-1} \times \mathbf{S}$.

Проведение подобных операций в режиме реального времени потребует значительных вычислительных ресурсов, поэтому такие расчеты выполняют с последующей обработкой после завершения сеанса измерений.

На рис. 2 показаны результаты работы алгоритма компенсации. На рис 2, *а* приведена временная зависимость полной фазы демодулированного сигнала и рассчитанного значения паразитного набега фазы, а на рис. 2, *б*, *в* — временные реализации модулирующих импульсных последовательностей разных тактовых частот, по которым приведенным выше способом рассчитывают соотношение мощностей двух ортогональных составляющих навигационного сигнала. На рис. 2, *г* показано сигнальное созвездие на фазовой плоскости: группы точек *1* — демодулированный сигнал, полученный с анализатора, а точки, образующие прямые линии *2*, — скомпенсированный результат демодуляции.

В таблице приведены результаты оценки погрешности метода. Измеренные значения погрешности, полученные методом векторной демодуляции с компенсацией доплеровского сдвига, не превосходят погрешностей участвовавших в проведении эксперимента средств измерений 0,15—0,18 дБ. Контрольные значения погрешности определены методом прямых измерений.

Результаты измерений отношения мощностей квадратурных составляющих навигационного сигнала

Доплеровский сдвиг, кГц (м/с)	Разность мощностей сигналов *I*/*Q*, дБ	
	измеренная	контрольная
1	менее 0,18	менее 0,18
~1 (200)	менее 0,18	менее 0,18
~5,4 (1000)	менее 0,18	менее 0,18
~54 (10000)	менее 0,18	менее 0,18
~1 (200)	8,0 ± 0,2	8,0 ± 0,2

Таким образом, метод цифровой демодуляции при адаптации к реальным условиям измерений (компенсация в постобработке разности частот демодулируемого сигнала и анализатора) позволяет оценить мощности ортогональных составляющих навигационного сигнала по отдельности. По точности метод цифровой демодуляции не уступает методу прямых измерений, неприменимому в реальных условиях.

Литература

1. **Глобальная** навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Версия 5.1. [Электрон. ресурс]. http://www.aggf.ru/gnss/glon/ikd51ru.pdf (дата обращения 20.08.2014 г.).

2. **Перов А. И., Харисов В. Н. ГЛОНАСС.** Принципы построения и функционирования. М.: Радиотехника, 2010.

3. **Завгородний А. С., Каверин А. М., Федотов В. Н.** Оценка энергетических характеристик. Анализ структуры навигационных сигналов системы ГЛОНАСС // Научно-технические серии. Сер. Радиосвязь и радионавигация. Выпуск 3. Радионавигационные технологии / Коллективная монография. М.: Радиотехника, 2013. С. 136—139.

4. **Завгородний А. С.** Измерение канальной мощности сигналов глобальных навигационных спутниковых систем // Тез. докл. Науч. сессии «НИЯУ МИФИ-2014». М.: НИЯУ МИФИ, 2014. Т. 2. С. 185.

5. **Завгородний А. С., Печерица Д. С.** Метод измерения мощности ортогональных составляющих сигналов ГНСС // «Метрология времени и пространства»: Тез. докл. VII Междунар. симп., Суздаль, 17—19 сентября 2014 г. Менделеево: ВНИИФТРИ, 2014. С. 152—155.

Дата принятия 10.11.2014 г.

621.391

Государственный первичный эталон единиц измерения объемов передаваемой цифровой информации по каналам Интернет и телефонии ГЭТ 200—2012

В. Н. ЖОГУН, В. Н. ШЕХОВЦОВ

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, Менделеево, Россия, e-mail: shehovtcov@vniiftri.ru

Описан Государственный первичный эталон единиц измерения объемов передаваемой цифровой информации по каналам Интернет и телефонии ГЭТ 200—2012. Изложен метод генерации эталонных файлов. Представлена методика оценки целостности эталонных файлов.

Ключевые слова: *цифровая информация, единица измерения объема, государственный первичный эталон.*

The National primary standard for measurement of digital information volumes transmitted via Internet and telephony channels GET 200—2012 is described. A method of generation of reference files and a procedure for those files, integrity assessment are considered.

Key words: *digital information, volume measurement unit, national primary standard.*

Телекоммуникационные услуги, оказываемые населению, ранее предоставлялись с помощью сетей связи с коммутацией каналов, но в последнее время они базируются на сетях с коммутацией пакетов. Доминировавший до конца 1990-х г.г. в сетях связи речевой трафик стремительно уступил свои позиции в пользу трафика данных. Это стратегическое изменение привело к необходимости перехода от тарификации услуг электросвязи по длительности соединений в сетях с коммутацией каналов к тарификации на основе учета объемов (трафика) передачи данных в сетях с коммутацией пакетов. В связи с этим перед связистами возникла проблема разработки необходимых нормативно-правовых документов, включая технический регламент, устанавливающих единые нормы и правила измерения объемов переданных данных в сетях электросвязи, а перед метрологами — задача по созданию государственного первичного эталона и государственной поверочной схемы.