

## **Первые результаты эксплуатации системы высокоточного определения эфемеридно-временной информации в реальном времени для гражданских потребителей и перспективы ее дальнейшего развития**

© В. Ф. Брагинец, Ю. Г. Сухой, И. А. Бурдин, В. М. Мещеряков

Филиал «ПНБО» ОАО «НПК «СПП», г. Королев, Московская обл., Россия

В статье представлены первые результаты эксплуатации функционального дополнения системы ГЛОНАСС — глобальной системы высокоточного определения навигационной и эфемеридно-временной информации в реальном времени для гражданских потребителей (СВО ЭВИ) 1 этапа, реализующей высокоточную навигацию потребителей по PPP-технологии. Ассистирующая информация СВО ЭВИ 1 этапа обеспечивает определение местоположения потребителей с погрешностью (СКО) в оперативном режиме с начальной инициализацией не более 0.1 м и в апостериорном режиме — не более 0.05 м. На втором этапе планируется доведение указанной точности, соответственно, до 0.05 м в оперативном режиме с начальной инициализацией, и до 0.03 м в апостериорном режиме. Повышение точностных характеристик системы планируется за счёт развёртывания собственной сети измерительных станций на зарубежных территориях, реализации технологии Integer PPP, создания образцов навигационной аппаратуры потребителя с заданными характеристиками, реализации доставки ассистирующих данных потребителям по космическим каналам связи.

**Ключевые слова:** глобальные навигационные спутниковые системы, глобальная система высокоточного определения навигационной и эфемеридно-временной информации в реальном времени, точностные характеристики эфемеридно-временной информации, глобальная сеть измерительных станций, прецизионное точечное позиционирование.

## **Введение**

СВО ЭВИ создаётся в рамках мероприятий федеральной целевой программы (ФЦП) «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы» [1] и предназначена для обеспечения прецизионной навигации потребителей в реальном времени в абсолютном режиме, а также для решения координатно-временных задач в апостериорном режиме по сигналам ГЛОНАСС и других развернутых глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). СВО ЭВИ полного состава должна обеспечить точность (СКО) навигации потребителей в абсолютном режиме на уровне 5 см в реальном времени и 3 см в апостериорном режиме глобально. В качестве базовой технологии СВО ЭВИ выбрана технология прецизионного точечного позиционирования (PPP-технология) навигационных определений по фазовым измерениям с использованием высокоточной ЭВИ реального времени [2].

## **Результаты эксплуатации системы высокоточного определения эфемеридно-временной информации в реальном времени для гражданских потребителей**

В 2016 году проведены государственные испытания СВО ЭВИ 1 этапа, по результатам которых СВО ЭВИ 1 этапа решением Госкорпорации «Роскосмос» принята в эксплуатацию. Основные характеристики системы, включая показатели  $Q_{31}$ ,  $Q_{32}$ ,  $Q_{32}$ , заданные в ФЦП [1], представлены в табл. 1.

В состав СВОЭВИ 1 этапа входят:

— Центр управления системой Основной (ЦУС-О) (расположен в Филиале «Прецизионного навигационно-баллистического обеспечения» акционерного общества «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения» («ПНБО» АО «НПК «СПП»), Московская область, г. Королев);

— сеть измерительных станций (в настоящее время развернуто 4 станции (г. Бразилиа, Санта-Мария, Ресифи (Бразилия), г. Претория (ЮАР)), включая Центр сбора и предварительной обработки (расположен в Филиале «ПНБО» АО «НПК «СПП»);

— подсистема доставки информации по общедоступным (Интернет) наземным каналам связи по технологии множественного доступа (расположена в Филиале «ПНБО» АО «НПК «СПП»);

— опытные технологические образцы (ТО) навигационной аппаратуры потребителя (НАП) с функцией использования ассистирующей

информации (АИ) реального времени, рассчитываемой в центре управления системой СВО ЭВИ [3, 4], созданные на базе доработанного серийного геодезического приёмника «Торсон» (рис. 1) и на базе отечественного навигационного модуля — НАП-СН (ЗАО «КБ «Навис», рис. 2).

Таблица 1

Основные параметры СВО ЭВИ 1 этапа

Характеристика	Значение
Погрешность определения координат потребителя за счет космического сегмента с использованием данных СВО ЭВИ (СКО): — в оперативном режиме ( $Q_{31}$ ), м — в оперативном режиме с начальной инициализацией ( $Q_{32}$ ), м — в апостериорном режиме ( $Q_{33}$ ), м	0.3 0.1 0.05
Сеть измерительных станций (привлекаемые функционально/собственные)	22/5
Навигационные системы, для которых рассчитываются данные	ГЛОНАСС, GPS
Способ предоставления апостериорной информации	Наземные каналы
Способ предоставления информации реального времени	Наземные каналы
Навигационная аппаратура потребителя	Технологические образцы



Рис. 1. Доработанный серийный геодезический приёмник «Торсон»



Рис. 2. НАП-СН (ЗАО «КБ «Навис»)

Данные реального времени, содержащие корректирующие поправки к бортовым эфемеридам и поправкам ко времени излучения сигнала навигационного космического аппарата (НКА) для перехода к исчислению времени в шкале декретного московского времени, выдаются в потоковом режиме в виде SSR (State Space Representation) сообщений в формате стандарта RTCM SC-10403.2 [5]. Информация реального времени доступна зарегистрированным потребителям через NTRIP Caster СВО ЭВИ после регистрации на сайте СВО ЭВИ ([www.своэви.рф](http://www.своэви.рф), [www.glonass-svoevi.ru](http://www.glonass-svoevi.ru)). Они предназначены для применения в специализированной двухчастотной навигационной аппаратуре потребителя, использующей для навигационных определений псевдодалности на фазе несущей частоты, свободные от ионосферной рефракции

$$S(t_{L1L2}) = \frac{S_{L2} - \gamma S_{L1}}{1 - \gamma},$$

где  $S_{L1}$  — псевдодалность на частоте L1,  $S_{L2}$  — псевдодалность на частоте L2,  $\gamma = (f_{L1}/f_{L2})^2$  — межчастотный коэффициент.

В технологических образцах НАП СВО ЭВИ реализована технология раскрытия вещественной неоднозначности фазовых измерений (Float PPP). Апостериорная ассистирующая информация, а также дополнительная измерительная и технологическая информация СВО ЭВИ 1 этапа предоставляется всем потребителям в виде файлов на FTP-сервере СВО ЭВИ. Результаты оценок погрешностей определения координат потребителя, использующего опытные образцы НАП, в реальном времени и в апостериорном режиме по PPP-технологии с применением ассистирующей информации приведены в табл. 2.

Таблица 2

Оценки погрешностей определения координат потребителя в реальном времени и в апостериорном режиме по PPP-технологии с использованием ассистирующей информации

Интервал оценивания	ГНСС	СКП, м			
		В	L	Н	В плане
Определение положения в реальном времени					
15 часов	ГЛОНАСС	0.06	0.07	0.07	0.09
24 часа	ГЛОНАСС+GPS	0.04	0.04	0.06	0.05
Определение положения в апостериорном режиме					
4 часа	ГЛОНАСС	0.03	0.02	0.04	0.04
10 часов	ГЛОНАСС+GPS	0.02	0.02	0.05	0.03

Состав, форматы и порядок использования ассистирующей информации (апостериорной и реального времени) приведены в интерфейсном контрольном документе (ИКД) СВО ЭВИ [6].

### Перспективы развития СВО ЭВИ

К 2020 году должна быть развернута система полного состава с характеристиками, приведёнными в табл. 3.

Таблица 3

Основные параметры СВО ЭВИ полного состава

Характеристика	Значение
Погрешность определения координат потребителя за счет космического сегмента с использованием данных СВО ЭВИ (СКО):	
— в оперативном режиме ( $Q_{31}$ ), м	0.1
— в оперативном режиме с начальной инициализацией ( $Q_{32}$ ), м	0.05
— в апостериорном режиме ( $Q_{33}$ ), м	0.03
Сеть измерительных станций (привлекаемые функционально/собственные)	60/25
Навигационные системы, для которых рассчитываются данные	ГЛОНАСС, GPS, Galileo, BeiDou
Способ предоставления апостериорной информации	Наземные каналы
Способ предоставления информации реального времени	Наземные и спутниковые каналы
Навигационная аппаратура потребителя	Опытные образцы

Реализация заданных требований в СВО ЭВИ 2 этапа должна быть обеспечена выполнением следующих мероприятий:

- развертыванием глобальной сети измерительных станций на зарубежных территориях и в Антарктиде, принимающих и транслирующих в центр управления СВО ЭВИ в реальном времени информацию по навигационным системам ГЛОНАСС, GPS, Galileo, BeiDou (не менее 48 станций);

- внедрением технологии целочисленного разрешения фазовой неоднозначности (Integer PPP) при расчете высокоточной ЭВИ в Центре управления системой;

- реализацией доставки информации реального времени потребителям по космическим каналам связи непосредственно в навигаци-

онную аппаратуру потребителя. Космические каналы связи должны быть построены на базе составных частей бортовых радиотехнических комплексов КА связи и ретрансляции, и земных станций;

— созданием опытных образцов многочастотной навигационной аппаратуры потребителя с функцией приёма ассистирующих данных СВО ЭВИ по космическим каналам связи и реализующим технологию Integer PPP.

### **Заключение**

По результатам государственных испытаний в 2016 году подтверждены заданные в техническом задании (ТЗ) точностные и функциональные характеристики СВО ЭВИ 1 этапа и система принята в эксплуатацию. В настоящее время система обеспечивает погрешность (СКО) определения положения потребителей в абсолютном режиме в реальном времени на уровне 10 см, а в апостериорном режиме — 5 см по сигналам систем ГЛОНАСС и GPS. Для решения целевых задач используется сеть измерительных станций на территории Российской Федерации и в Антарктиде (22 станции) и на зарубежных территориях (5 станций). Доступ к ассистирующим данным для определения положения в реальном времени и в апостериорном режиме осуществляется по наземным каналам связи.

В перспективе в СВО ЭВИ полного состава (2 этапа) планируется:

— использовать информацию глобальной сети измерительных станций на территории Российской Федерации и на зарубежных территориях (не менее 60 станций, в том числе 25 собственных);

— рассчитывать данные по навигационным системам ГЛОНАСС, GPS, Galileo, BeiDou;

— внедрить технологию целочисленного раскрытия неоднозначности фазовых измерений (Integer PPP) при расчете ЭВИ в Центре управления системой;

— создать образцы многочастотной навигационной аппаратуры потребителя с функцией приёма ассистирующих данных СВО ЭВИ по космическим каналам связи с реализацией технологии Integer PPP;

— реализовать доставку ассистирующей информации реального времени по космическим каналам связи.

СВО ЭВИ 2 этапа должна обеспечивать погрешность (СКО) навигации потребителей в абсолютном режиме в реальном времени на уровне 5 см, а в апостериорном режиме — на уровне 3 см.

## Литература

1. Федеральная целевая программа «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы» (утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 3 марта 2012 г. № 189). — 2012.

2. Kouba, J. and Héroux, P. Precise Point Positioning using IGS orbits and clock products / GPS Solutions, 2001. — Vol. 5, No. 2. — P. 12–28.

3. Брагинец В. Ф., Жуков А. Н. и др. Перспективы создания глобальной системы высокоточного определения навигационной и эфемеридно-временной информации в реальном времени для гражданских потребителей при выполнении Федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы» // Прецизионные информационно-измерительные системы. Тезисы докладов IV научно-технической конференции ОАО «НПК «СПП» — М.: Издательский дом МЭИ, 2014. — С. 8–12.

4. Брагинец В. Ф., Бурдин И. А., Герасимов А. В., Савкин А. В., Сухой Ю. Г. Результаты обработки PPP-технологии на примере прототипа навигационной аппаратуры потребителя // Космонавтика и ракетостроение. — 2017. — Вып. 1(94). — С. 110–116.

5. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol [Elektronicsource] / Federal Agency for Cartography and Geodesy. Frankfurt am Main. Germany, 2009. Point of access: [http://igs.bkg.bund.de/root\\_ftp/NTRIP/documentation/NtripDocumentation.pdf](http://igs.bkg.bund.de/root_ftp/NTRIP/documentation/NtripDocumentation.pdf).

6. «Глобальная система высокоточного определения навигационной и эфемеридно-временной информации в реальном времени для гражданских потребителей (СВО ЭВИ): интерфейсный контрольный документ. Проект» — М.: АО «НПК «СПП». — 2016.

### **First Results Received in Real Time from the System for High Precision Determination of Ephemeris and Time Information for Civilian Users, and its Development Overview**

**V. F. Braginetz, Y. G. Sukhoy, I. A. Burdin, V. M. Meshcheryakov**

The article presents the first results received from running the 1st stage augmentation system of the GLONASS (the global system for highly accurate determination of the navigation and ephemeris/time information in real time for civilian users), which realizes high precision navigation for consumers using the PPP-technology. Assistance information for the consumers at the first stage provides determination of the consumer's position in real time with a less than 0.1 m error (RMS) in the operational mode and less than 0.05 m in a posteriori mode. The second stage supposes to bring the precision to 0.05 m in the operational mode, and to 0.03 m in a posteriori mode, respectively. Improvements of the accuracy characteristics of the

system are scheduled through its own network of measuring stations deployed on foreign territories, the Integer PPP technology implemented, the samples of the navigation equipment created with specified characteristics for the consumers, and assisting data delivered to the consumers by space communication channels.

**Key words:** global navigation satellite system, a global system for precision navigation in real time, accuracy of ephemeris/time information, global network of measuring stations, precise point positioning.