

А. С. Толстикова^{1, 2}, А. С. Томилов², Л. В. Шмидт²*

Локальная поверочная схема передачи единиц времени и частоты по каналам ГНСС

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

² Западно-Сибирский филиал ФГУП «ВНИИФТРИ», г. Новосибирск, Российская Федерация

*e-mail: tolstikov@sniim.ru

Аннотация. В работе обсуждается возможность передачи эталонных единиц времени и частоты по каналам спутниковых навигационных систем в интересах метрологического обеспечения наземных систем. Функции рабочих эталонов второго разряда в предлагаемой поверочной схеме выполняют бортовые часы орбитальной группировки навигационных спутников. Потребитель частотно-временной информации получает эталонные единицы времени и частоты непосредственно от аппаратуры, принимающей навигационные сигналы спутников.

Ключевые слова: поверочная схема, время и частота, передача эталонных единиц, навигационные системы

A. S. Tolstikov^{1,2}, A. S. Tomilov², L. V. Schmidt²*

Local Verification Scheme for Transmitting Time and Frequency Units via GNSS Channels

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

² West- Siberian branch of FSUE “VNIIFTRI”, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: tolstikov@sniim.ru

Abstract. The paper discusses the possibility of transmitting reference units of time and frequency through the channels of satellite navigation systems in the interests of metrological support for ground-based systems. The functions working standards of the second category in the proposed verification scheme are performed by the on-board clocks of the orbital constellation of navigation satellites. The consumer of time-frequency information receives reference units of time and frequency directly from the equipment that receives satellite navigation signals.

Keywords: verification scheme, time and frequency, transmission of reference units, navigation systems

Введение

Частотно-временные измерения в настоящее время являются наиболее точными и востребованными. Принципы построения спутниковых навигационных систем опираются на использование для дальномерных измерений аппарата частотно-временных технологий: высокоточных измерений временных интервалов

при прохождении навигационных сигналов в пространстве и согласования с высокой точностью моментов шкал времени часов, участвующих в измерениях.

Растущие требования к точностным характеристикам результатов частотно-временных измерений и расширение области применения этих результатов приводят к необходимости совершенствования методов получения измерительной информации и расширения системы метрологического обеспечения измерений данного вида.

В современных условиях реализации рассматриваемой измерительной задачи наблюдается расширение области применения поверочных схем [1,2] передачи размеров единиц времени и частоты. Такая тенденция, главным образом, наблюдается при создании рабочих эталонов для средств измерений времени и частоты. Традиционно, в качестве таких рабочих эталонов применяются квантовые стандарты частоты, требующие создания специальных условий эксплуатации и отличающиеся достаточно высокой стоимостью.

В предлагаемой работе в качестве альтернативы квантовым стандартам частоты предлагается использовать приемники навигационных сигналов ГНСС, обладающие достаточными для рабочих эталонов метрологическими характеристиками и имеющие меньшую стоимость по сравнению с квантовыми стандартами частоты.

Передача эталонных единиц времени и частоты

Ведущую роль в рассматриваемой поверочной схеме играет центральный синхронизатор спутниковой системы (ЦС) (рис. 1.), имеющий статус вторичного эталона в Государственной поверочной схеме для средств измерений времени и частоты [2]. Основные каналы передачи частотно-временной информации от первичного эталона ГЭТ1-22 к ЦС ГНСС – перевозимые квантовые часы (ПКЧ) и телевизионные каналы (TV). Характеристики погрешностей передачи в ЦС ГЛОНАСС размеров единиц времени, частоты и национальной шкалы времени определяются в соответствии с Государственной поверочной схемой [2].

Следующим уровнем локальной поверочной схемы (см. рис. 1) являются бортовые часы орбитальной группировки навигационных спутников (ОГ НС) ГЛОНАСС. Ансамбль этих часов следует трактовать как групповой пространственно-разнесенный рабочий эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени. Характеристики точности передачи указанных частотно-временных параметров определяются в интерфейсном контрольном документе ГЛОНАСС [3].

Эта частотно-временная информация формируется для ОГ НС в наземном комплексе управления системой (НКУ) по заданным размерам единиц времени и частоты от ЦС ГЛОНАСС и через станции закладки измерительной информации (СЗИ) поступает на навигационные спутники ГЛОНАСС в виде блоков эфемеридно-временной информации (ЭИ) и оперативной информации (ОИ) о состоянии системы.

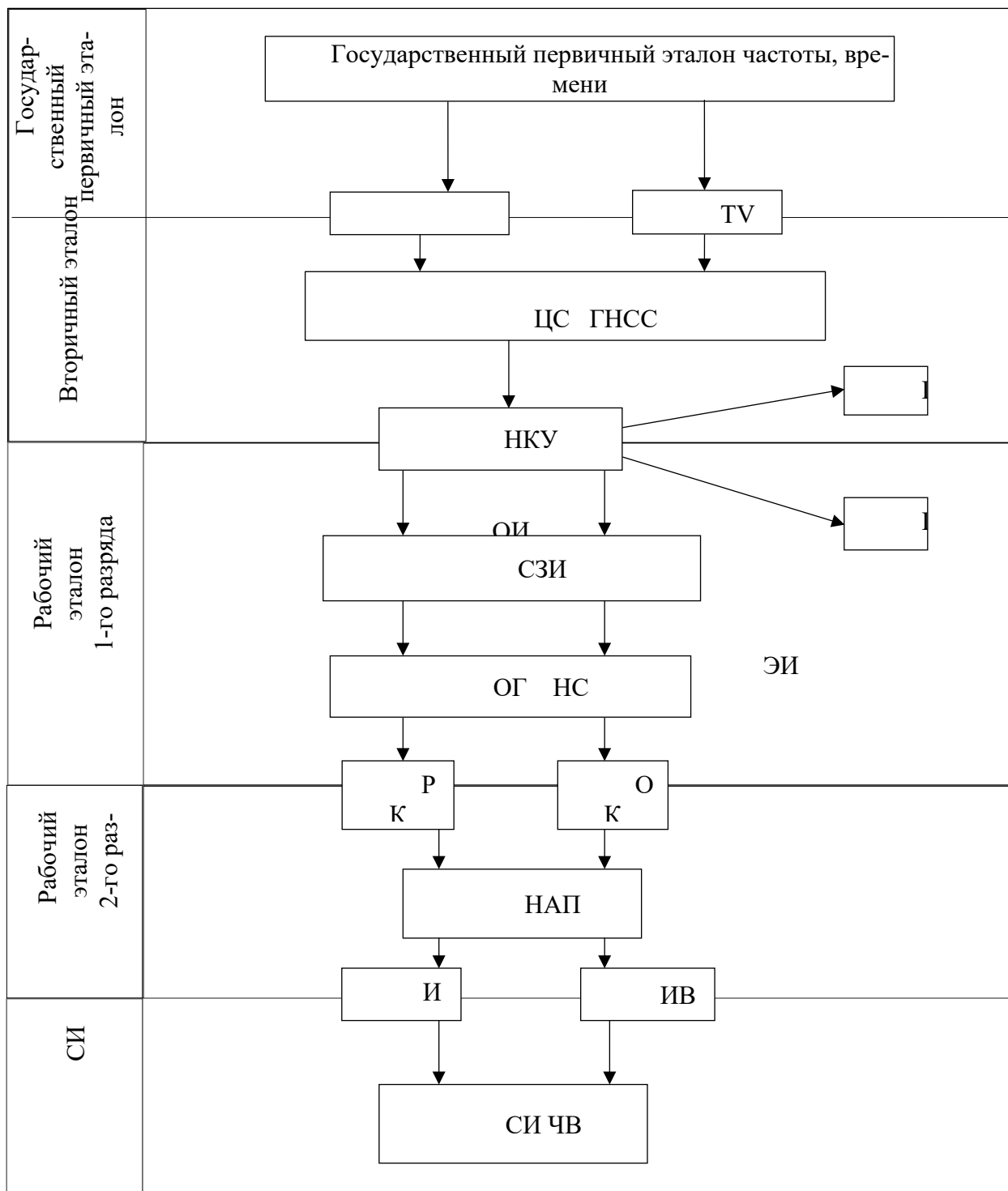


Рис. 1. Поверочная схема (локальная) для средств измерений времени и частоты

Эфемероидно-временная информация необходима для размещения в операционных системах навигационных спутников (ОГ НС). Эта информация формируется на основе результатов траекторных измерений, получаемых из беззапросных измерительных станций (БИС) и станций лазерных дальномерных измерений. База данных формируется по всей орбитальной группировке навигацион-

ных спутников ОГ НС. Для вычисления параметров движения навигационных спутников и параметров моделей нестабильности бортовых часов, определяющих состав блока эфемероидно-временной информации (ЭИ), используется информация о частотно-временных параметрах системы от ЦС ГНСС, и привлекаются данные о параметрах вращения Земли (ПВЗ) и о состоянии гравитационного поля Земли (ГПЗ).

Таким образом, орбитальную группировку навигационных спутников ОГ НС ГЛОНАСС, ретранслирующих частотно-временную информацию об эталонных значениях единиц времени и частоты на текущем значении национальной шкалы времени потребителю, можно определить как *Рабочий эталон 1-го разряда*.

От части орбитальной группировки навигационных спутников, находящейся в радиовидимой части пространства, формируется информация об эталонных значениях единиц времени и частоты в конкретном моменте реализации национальной шкалы времени. Эта измерительная информация в составе навигационных сигналов поступает к приемникам навигационных сигналов – в навигационную аппаратуру пользователя (НАП), которая в предлагаемой локальной поверочной схеме представляет собой *Рабочий эталон 2-го разряда*.

В навигационной аппаратуре пользователя генерируется последовательность импульсов с периодом следования 1 с – сигнал 1PPS. Этот сигнал является физической реализацией эталонной единицы времени. Фаза сигнала 1PPS согласована с текущим моментом национальной шкалы времени, с погрешностями, зависящими от типа применяемой аппаратуры НАП. Как правило, погрешность воспроизведения национальной шкалы времени не превышает 1 мкс.

Контроль точности передачи значений эталонных единиц времени и частоты потребителям при выполнении поверочных и калибровочных работ СИ ЧВ обеспечивается с помощью измерителей интервалов времени (ИВ) и измерителей частоты (ИЧ).

Повышение точности передачи потребителю частотно-временной информации достигается путем компенсации факторов, которые влияют на точность результатов измерений. К таким факторам следует отнести изменение скорости (задержку) передачи навигационного сигнала в тропосферном и ионосферном слоях околоземного пространства, факторы релятивистской и гравитационной природы. В этом случае строятся математические модели перечисленных факторов, по результатам траекторных измерений идентифицируются параметры этих математических моделей, и рассчитываются соответствующие компенсирующие поправки.

Повышению точности передачи потребителю эталонных единиц времени и частоты также будет способствовать применение вместо бортовых эфемерид навигационных спутников некоторых апостериорных эфемерид, предоставляемых центрами мониторинга ГНСС, в частности, центрами ИАЦ и СВОЭВП [4].

Заключение

Необходимо отметить, что состав оборудования, предусмотренного предлагаемой локальной поверочной схемой, наряду с описанной схемой передачи единиц времени и частоты потребителю, позволяет реализовать высокоточные методы передачи этих эталонных единиц. В частности, применение дифференциального метода при сравнении значений шкал времени пространственно-разнесенных часов *Common View* [5] позволяет уменьшить погрешность такого сравнения шкал времени до 10 нс.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 8.129–2013. Государственная поверочная схема для средств измерения времени и частоты. – М. : Стандартинформ, 2014. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=184337> (дата обращения: 13.05.2024).
2. Государственная поверочная схема для средств измерения времени и частоты. Утверждена приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 сентября 2022 г. № 2360. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gost.ru/portal/gost/home/activity/documents/orders#/order/370259> (дата обращения: 13.05.2024).
3. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. – М., 1998. – 74 с.
4. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Система высокоточного определения эфемерид и временных поправок. (СВОЭВП). Интерфейсный контрольный документ. ОАО «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения»». – М., 2011. – 120 с.
5. Allan D. W., Thomas C. Technical directives for standardization of GPS time receiver software. *Metrologia* 31, 1994. P. 69–79.

© А. С. Толстиков, А. С. Томилов, Л. В. Шмидт, 2024