

Проблемы передачи времени в ГЛОНАСС

© П. П. Богданов, А. В. Дружин, Т. В. Примакина, А. Ю. Феоктистов

АО «РИРВ», г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС предназначена как для навигационного, так и временного обеспечения различных потребителей. Однако в настоящее время характеристики системы ГЛОНАСС по точности передачи потребителям шкалы времени системы ГЛОНАСС и координированной шкалы времени России UTC(SU) не в полном объеме соответствуют требованиям, которые предъявляются современными потребителями. Цель работы – определение возможных причин недостаточной точности передачи времени в ГЛОНАСС и основных направлений их устранения.

Проведенный анализ принципов передачи времени в ГЛОНАСС и результатов мониторинга временных характеристик ГЛОНАСС по измерениям на Государственном эталоне времени и частоты, который формирует UTC(SU), и данным отделения времени Международного бюро весов и мер BIPM, позволил выявить следующие основные проблемы передачи времени в ГЛОНАСС:

- ухудшение точности формирования шкалы времени системы ГЛОНАСС при нарушениях функционирования центрального синхронизатора;
- наличие систематической погрешности передачи шкалы времени системы ГЛОНАСС и UTC(SU) потребителям.

Проведен анализ результатов мониторинга расхождения шкалы времени системы ГЛОНАСС относительно UTC(SU) и передачи шкалы времени системы и UTC(SU) потребителям на основе измерений на Государственном эталоне времени и частоты, формирующем UTC(SU). Полученные данные позволили выявить проблемы передачи времени в ГЛОНАСС, требующие оперативного решения, и определить мероприятия, реализация которых позволит повысить точность передачи шкалы времени системы ГЛОНАСС и UTC(SU) потребителям.

Ключевые слова: глобальная навигационная спутниковая система, шкала времени системы, координированная шкала времени России, мониторинг, точностная характеристика.

Контакты для связи: Богданов Петр Петрович (*Bogdanov_pp@irt.ru*).

Статья поступила в редакцию 07.11.2019, принята к публикации 20.03.2020, опубликована 12.05.2020.

Для цитирования: Богданов П. П., Дружин А. В., Примакина Т. В., Феоктистов А. Ю. Проблемы передачи времени в ГЛОНАСС // Труды ИПА РАН. 2020. Вып. 52. С. 9–12.

<https://doi.org/10.32876/ApplAstron.52.9-12>

Time Transfer Problems in GLONASS

P. P. Bogdanov, A. V. Druzhin, T. V. Primakina, A. Yu. Feoktistov

Russian Institute of Radionavigation and Time, Saint Petersburg, Russia

Abstract

Global Navigation Satellite System GLONASS provides navigation and timing services to different kinds of users. However, now GLONASS timing performance parameters, such as GLONASS Time transfer accuracy and the transfer accuracy of Russian national coordinated time UTC(SU) meet the requirements for the users not completely. The paper is aimed at finding out the possible reasons of insufficient accuracy of time transfer by GLONASS as well as the possible ways of their elimination.

The authors analyzed the principles of time transfer by GLONASS and the monitoring results of GLONASS timing performance parameters. The monitoring was based on measurements at Russian State Time and Frequency Reference that generates UTC(SU) and the data provided by Bureau International et Poids and Mesures (BIPM). The results obtained unveiled the following problems in time transfer by GLONASS:

- the accuracy of GLONASS Time generation decreases in case of the disturbances of the Central Synchronizer;
- there is a systematic error of GLONASS Time and UTC(SU) transfer accuracy.

Taking into consideration the results obtained the authors suggest activities that can increase GLONASS Time and UTC(SU) transfer accuracy.

To provide users with high-accuracy determination of position, velocity and time, time scales of GLONASS space vehicles (SV) are referenced to GLONASS Time which is synchronized with coordinated time scale of Russia UTC(SU). Corrections to convert from SV time to GLONASS Time and from GLONASS Time to UTC(SU) are broadcast in GLONASS navigation message. Now GLONASS timing performance parameters, such as GLONASS Time transfer accuracy and UTC(SU) transfer accuracy, meet the requirements of users not completely. To find out the possible reasons, the authors analyzed the monitoring results of UTC(SU) – GLONASS Time offset and GLONASS Time and UTC(SU) transfer to users. The data obtained unveiled several problems in GLONASS Time transfer that require urgent solution. The authors suggest activities that can eliminate the problems mentioned above.

Keywords: Global Navigation Satellite System, GLONASS Time, coordinated time scale of Russia, monitoring, accuracy parameter.

Contacts: Pyotr Bogdanov (Bogdanov_pp@irt.ru).

Received November 07, 2019, accepted March 20, 2020, published May 12, 2020.

For citation: Bogdanov P. P., Druzhin A. V., Primakina T. V., Feoktistov A. Yu. Time transfer problems in GLONASS // Transactions of IAA RAS. 2020. Vol. 52. P. 9–12.

<https://doi.org/10.32876/ApplAstron.52.9-12>

Введение

Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС предназначена как для навигационного, так и для временного обеспечения потребителей. Для этого осуществляется передача поправок, позволяющих потребителям определять свое время в шкале времени системы (ШВС) ГЛОНАСС и в координированной шкале времени России UTC(SU), являющейся опорной шкалой времени (ШВ) для ГЛОНАСС. Однако результаты измерений на Государственном эталоне времени и частоты (ГЭВЧ), формирующем UTC(SU), показывают, что предъявляемые к системе требования в части временных характеристик выполняются не в полном объеме.

В работе рассмотрены принципы формирования и передачи ШВС ГЛОНАСС и UTC(SU) потребителям, представлены результаты мониторинга расхождения ШВС ГЛОНАСС относительно UTC(SU), а также значений ШВС ГЛОНАСС и UTC(SU), передаваемых потребителям. Также определены основные направления повышения точностных характеристик ГЛОНАСС во временной области.

Формирование ШВС ГЛОНАСС

В качестве ШВС ГЛОНАСС принята условная ШВ, формируемая на основе ШВ основного и/или резервного центрального синхронизатора (ЦС) системы в соответствии с выражением:

$$\begin{aligned} \Delta T_{\text{ШВС}}(t) &= \Delta T_{\text{осн}}(t) + \Delta T_{\text{осн}}^{\text{фаз}}(t_i) + \Delta T_{\text{осн}}^{\text{част}}(t_j) + \\ &+ \Delta T^{\text{упр}}(t - t_0) = \Delta T_{\text{рез}}(t) + \Delta T_{\text{рез}}^{\text{фаз}}(t_k) + \Delta T_{\text{рез}}^{\text{част}}(t_l) + \\ &+ \Delta T^{\text{упр}}(t - t_0) + \Delta T_{\text{осн-рез}}(t), \end{aligned}$$

где $\Delta T_{\text{ШВС}}(t)$ – расхождение ШВС ГЛОНАСС относительно UTC(SU); $\Delta T_{\text{осн}}(t)$, $\Delta T_{\text{рез}}(t)$ – расхождение ШВ основного или резервного ЦС относительно шкалы ГЭВЧ; $\Delta T_{\text{осн}}^{\text{фаз}}(t_i)$, $\Delta T_{\text{рез}}^{\text{фаз}}(t_k)$ – поправки, учитывающие коррекции ШВ основного или резервного ЦС; $\Delta T_{\text{осн}}^{\text{част}}(t_j)$, $\Delta T_{\text{рез}}^{\text{част}}(t_l)$ – поправки, учитывающие коррекции частоты основного или резервного ЦС; $\Delta T^{\text{упр}}(t - t_0)$ – управляющая поправка для обеспечения заданной точности согласования ШВС с UTC(SU); $\Delta T_{\text{осн-рез}}(t)$ – взаимное расхождение ШВ основного и резервного ЦС.

При коррекции UTC(SU) на ± 1 с проводится одновременная коррекция ШВ ЦС, в результате чего между ШВС ГЛОНАСС и UTC(SU) не существует смещения на целое число секунд. Однако между ШВС ГЛОНАСС и UTC(SU) существует постоянный сдвиг на 3 ч, обусловленный особенностями функционирования подсистемы контроля и управления.

Определение расхождения ШВ ЦС и шкалы ГЭВЧ осуществляется на основе их взаимных сличений по сигналам КА ГЛОНАСС и GPS в дифференциальном режиме по технологии «all-in-view» в соответствии с выражением

$$\Delta T_{\text{ГЭВЧ-ЦС}} = \Delta T_{\text{ГЛ(GPS)-ЦС}} - \Delta T_{\text{ГЛ(GPS)-ГЭВЧ}}$$

где $\Delta T_{\text{ГЭВЧ-ЦС}}$ – расхождение ШВ ЦС относительно шкалы ГЭВЧ; $\Delta T_{\text{ГЛ(GPS)-ЦС}}$ – расхождение ШВ ЦС относительно ШВС ГЛОНАСС или GPS; $\Delta T_{\text{ГЛ(GPS)-ГЭВЧ}}$ – расхождение шкалы ГЭВЧ относительно ШВС ГЛОНАСС или GPS.

В настоящее время формирование ШВС ГЛОНАСС осуществляется на основе только ШВ основного ЦС. При этом с 29.11.2017 осуществлен переход к формированию ШВС непосредственно по результатам сличений ШВ ЦС и шкалы ГЭВЧ с использованием двухчастотной аппаратуры.

Передача потребителям ШВС ГЛОНАСС

Определение времени потребителем в ШВС ГЛОНАСС осуществляется в соответствии с выражением

$$T_{\text{ГЛ}} = t + \tau_n(t_b) - \gamma_n(t_b) \cdot (t - t_b),$$

где t – бортовое время КА; $\tau_n(t_b)$, $\gamma_n(t_b)$ – частотно-временные поправки к бортовой ШВ КА относительно ШВС ГЛОНАСС, передаваемые в составе навигационных сообщений; t_b – порядковый номер временного интервала внутри текущих суток по шкале системного времени ГЛОНАСС, к середине которого относится передаваемая в кадре оперативная информация.

Формирование частотно-временных поправок осуществляется на основе результатов определения расхождения бортовых ШВ КА относительно ШВ измерительных систем (ИС) подсистемы контроля и управления и преобразования полученных результатов к значениям расхождения бортовых ШВ КА относительно ШВС ГЛОНАСС.

В настоящее время определение расхождения бортовых ШВ КА относительно ШВ ИС осуществляется, как правило, на основе двухчастотных измерений беззапросной дальности (тип измерений ЛЗР) и расчетных значений дальности (беззапросная технология).

Передача потребителям UTC(SU)

Определение времени потребителем в UTC(SU) осуществляется в соответствии с выражением

$$T_{UTC(SU)} = 03 \text{ ч } 00 \text{ мин } 00 \text{ с} + T_{ГЛ} + \tau_c(t_b),$$

где τ_c – поправка к ШВС ГЛОНАСС относительно UTC(SU), передаваемая в составе навигационных сообщений.

Формирование поправок к ШВС ГЛОНАСС относительно UTC(SU) осуществляется на основе результатов определения расхождения ШВЦС относительно шкалы ГЭВЧ и преобразования полученных результатов к значениям расхождения ШВС относительно UTC(SU).

Результаты мониторинга формирования ШВС ГЛОНАСС

На рис. 1 представлена зависимость расхождения ШВС ГЛОНАСС относительно UTC(SU), полученная на основе передаваемых в составе навигационных сообщений поправок [1]. Приведенные данные показывают, что расхождение ШВС ГЛОНАСС относительно UTC(SU) на отдельных интервалах превышает допустимое значение.

Проведенный анализ показал, что причиной указанного выше превышения является нарушение равномерности формирования ШВ основного ЦС вследствие некорректного управления его работой, в частности проведения подстройки частоты. Зависимости расхождения ШВ основного ЦС относительно UTC(SU) и относительной погрешности по частоте ЦС представлены на рис. 2 и 3 соответственно.



Рис. 1. Расхождение ШВС ГЛОНАСС относительно UTC(SU)

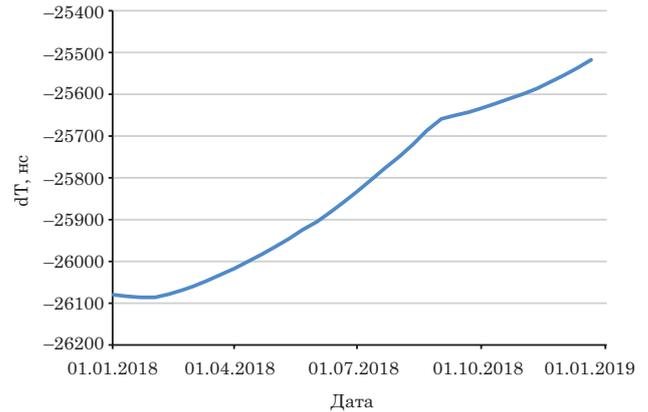


Рис. 2. Зависимость расхождения ШВ основного ЦС относительно UTC(SU)

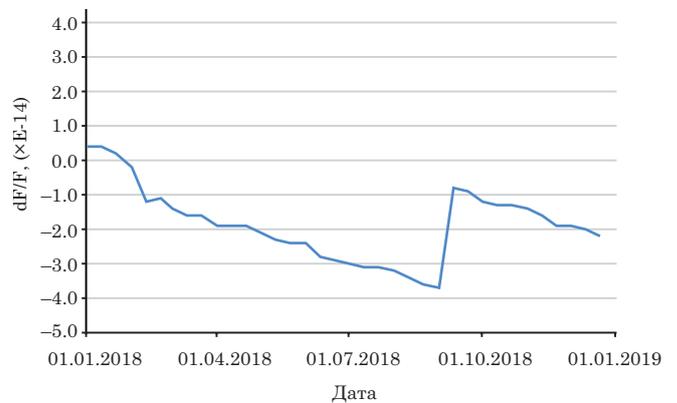


Рис. 3. Зависимость относительной погрешности по частоте основного ЦС

Результаты мониторинга передачи ШВС ГЛОНАСС и UTC(SU) потребителям

На рис. 4 представлены зависимости расхождения ШВС ГЛОНАСС относительно UTC(SU) и передаваемых системой значений ШВС ГЛОНАСС и UTC(SU), которые получены по результатам двухчастотных измерений типа ЛЗР непосредственно на ГЭВЧ [2]. Представленные данные показывают, что существует систематическая погрешность передачи ШВС ГЛОНАСС и UTC(SU) потребителям порядка 20 нс.

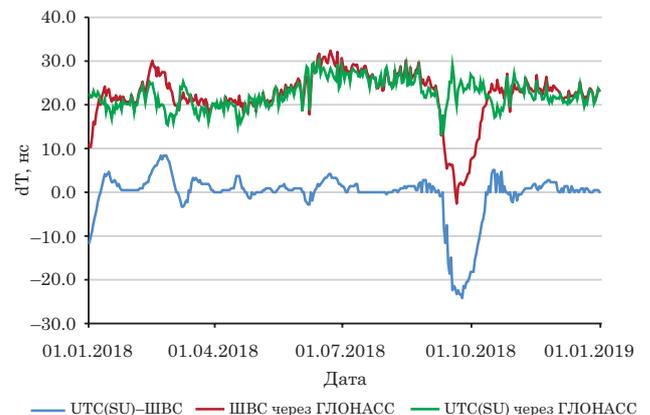


Рис. 4. Зависимости расхождения ШВС ГЛОНАСС относительно UTC(SU) и значений ШВС ГЛОНАСС и UTC(SU), передаваемых системой

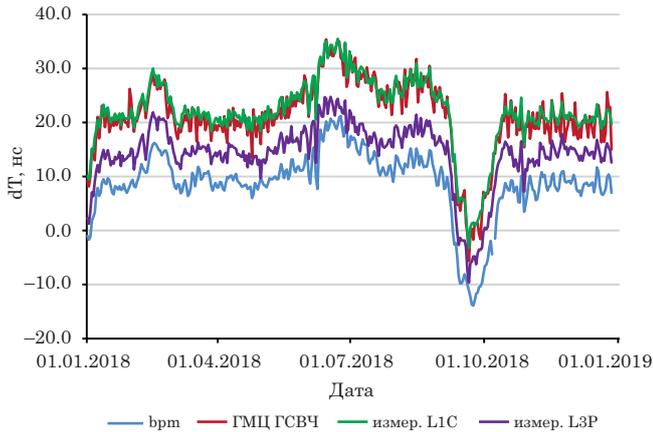


Рис. 5. Расхождение ШВС ГЛОНАСС и UTC по данным бюллетеня 3 ГМЦ ГСВЧ, данным ВРМ и по измерениям типа L1C и L3P на ГЭВЧ

Дополнительно на рис. 5 представлены зависимости результатов мониторинга расхождения ШВС ГЛОНАСС относительно UTC(SU) на основе данных Бюллетеня 3 ГМЦ ГСВЧ [3] и данных отделения времени ВРМ [4], а также зависимости, рассчитанные по измерениям типа L1C и L3P на ГЭВЧ [2], которые также подтверждают наличие систематической погрешности передачи ШВС ГЛОНАСС и UTC(SU) потребителям. При этом данные Бюллетеня 3 ГМЦ ГСВЧ хорошо совпадают с рассчитанными на основе измерений типа L1C на ГЭВЧ, а данные ВРМ, рассчитанные на основе измерений в Астрогеодединамической обсерватории AOS, достаточно хорошо совпадают с рассчитанными по измерениям типа L3P. Некоторое расхождение результатов объясняется, очевидно, различиями в применяемых алгоритмах предварительной фильтрации исходной измерительной информации.

Направления повышения точности формирования ШВС ГЛОНАСС и передачи ШВС ГЛОНАСС и UTC(SU) потребителям

Таким образом, в настоящее время существуют следующие проблемы передачи времени в ГЛОНАСС, требующие оперативного решения:

- нарушение точности формирования ШВС ГЛОНАСС относительно UTC(SU) при нарушениях равномерности формирования ШВ основного ЦС вследствие некорректного управления его работой, в частности подстройки частоты ЦС;
- наличие систематической погрешности передачи ШВС ГЛОНАСС и UTC(SU) потребителям;
- различие результатов мониторинга передачи ШВС ГЛОНАСС и UTC(SU) при одночастотных

и двухчастотных измерениях, проводимых различными организациями.

Для устранения указанных проблем требуется проведение следующих мероприятий:

- уточнение алгоритмов управления работой ЦС, в частности подстройки частоты ЦС и формирования ШВС ГЛОНАСС;
- уточнение калибровочных поправок измерительных средств, используемых для определения расхождения бортовых ШВ КА и ШВ ЦС;
- согласование на международном уровне методик мониторинга временных характеристик ГНСС, определяющих в том числе тип используемых сигналов и требования по калибровке измерительных средств.

Заключение

Как показали проведенные исследования, в настоящее время характеристики системы ГЛОНАСС по точности передачи ШВС и UTC(SU) потребителям соответствуют предъявляемым современным потребителями требованиям не в полном объеме:

- расхождение ШВС ГЛОНАСС относительно UTC(SU) на отдельных интервалах превышает допустимое значение;
- существует систематическая погрешность передачи ШВС ГЛОНАСС и UTC(SU) потребителям порядка 20 нс.

Для устранения указанных проблем требуется проведение следующих мероприятий:

- уточнение алгоритмов управления работой ЦС, в частности подстройки частоты ЦС и формирования ШВС ГЛОНАСС;
- уточнение калибровочных поправок измерительных средств, используемых для определения расхождения бортовых ШВ КА и ШВ ЦС;
- согласование на международном уровне методик мониторинга временных характеристик ГНСС, определяющих в том числе тип используемых сигналов и требования по калибровке измерительных средств.

Литература

1. Crustal Dynamics Data Information System [Электронный ресурс]. URL: <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov> (дата обращения: 07.10.2019).
2. Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений [Электронный ресурс]. URL: [ftp://ftp.vniiftri.ru/Atomic Time/SU/links/GNSS/UTC\(SU\)-GNSS/](ftp://ftp.vniiftri.ru/Atomic Time/SU/links/GNSS/UTC(SU)-GNSS/) (дата обращения: 07.09.2019).
3. Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений [Электронный ресурс]. URL: <ftp://ftp.vniiftri.ru/Atomic Time/SU/BULLETIN/Z> (дата обращения: 04.10.2019).
4. Международное бюро весов и мер [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bipm.org> (дата обращения: 07.10.2019).