

ЭТАЛОННАЯ БАЗА ГСВЧ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**И.Б. Норец**

ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл.
norets_igor@vniiftri.ru

Описывается эталонная база ГСВЧ, её назначение, состав, основные метрологические характеристики Государственного первичного эталона единиц времени, частоты и национальной шкалы времени ГЭТ 1-2012, государственных вторичных эталонов единиц времени и частоты, рабочего эталона, приводятся сравнительные характеристики национальной шкалы времени UTC(SU) и шкал времени ведущих зарубежных лабораторий. Указаны пути дальнейшего развития эталонной базы.

The standards base of GSVCh, its composition, main metrological characteristics of the State primary standard for time, frequency and national time scale GEVCh1-2012, state secondary standards for time and frequency, the working standard are described in the article. The technical resource of the Service for time and frequency (from the composition of GSVCh), metrological characteristics of quantity of reproducible units are presented in the article.

Ключевые слова: эталоны, метрологические характеристики, единицы измерения, шкала времени, сличение шкал

Общие сведения о ГСВЧ и её эталонной базе

ГСВЧ - постоянно функционирующая система технических средств и организаций ряда федеральных органов исполнительной власти, объединенных общей деятельностью по обеспечению потребностей государства в эталонных сигналах частоты и времени (ЭСЧВ), а также в информации о точном значении московского времени и календарной дате и о параметрах вращения Земли (ПВЗ).

Деятельность службы регламентируется «Положением о Государственной службе времени, частоты и определения параметров вращения Земли», утвержденным Постановлением Правительства от 23.03.2001 г. № 225.

ЭСЧВ, информация о точном значении московского времени и календарной дате, информация о ПВЗ, распространяемая ГСВЧ, формируется на основе национальной шкалы времени, является официальной, общедоступной и обязательной для использования в Российской Федерации.

Общее руководство деятельностью ГСВЧ осуществляет Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии.

Государственный метрологический надзор и научно-методическое руководство по обеспечению единства измерений времени и частоты на объектах ГСВЧ осуществляет Главный метрологический центр ГСВЧ.

ГСВЧ осуществляет свою научно-техническую и метрологическую деятельность с применением различных технических средств и систем. Одной из основных технических систем ГСВЧ является её эталонная база. *Этало-
Альманах современной метрологии, 2016, №8*

нами единиц времени и частоты оснащены Главный метрологический центр (ГМЦ ГСВЧ), пункты метрологического контроля (ПМК ГСВЧ), средства передачи ЭСЧВ.

Эталонная база ГСВЧ предназначена для обеспечения единства измерений времени и частоты в стране и обеспечения потребностей страны в информации о точном значении времени, эталонных частотах и национальной шкале времени.

В состав эталонной базы ГСВЧ входят следующие эталоны:

Государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени ГЭТ 1-2012 (ГМЦ ГСВЧ, ФГУП «ВНИИФТРИ», п. Менделеево, Московской обл.);

Государственный вторичный эталон единиц времени и частоты ВЭТ 1-5 (ПМК ГСВЧ, ФГУП «ВНИИФТРИ», г. Иркутск);

Государственный вторичный эталон единиц времени и частоты ВЭТ 1-7 (ПМК ГСВЧ, ФГУП «ВНИИФТРИ», г. Хабаровск);

Государственный вторичный эталон единиц времени и частоты ВЭТ 1-19 (ПМК ГСВЧ, ФГУП «СНИИМ», г. Новосибирск);

Государственный рабочий эталон единиц времени и частоты РЭТ 1-1 (ПМК ГСВЧ, ФГУП «ВНИИФТРИ», г. Петропавловск-Камчатский);

Ведомственный групповой эталон ВГЭ в составе:

ведомственный эталон единиц времени и частоты ВЭ-31;

ведомственный эталон единиц времени и частоты ВЭ-33.

Из-за территориального расположения эталоны единиц времени и частоты Росстандарта, входящие в состав эталонной базы ГСВЧ, представляют уникальную по функциональным возможностям техническую основу для решения задач мониторинга параметров и характеристик навигационного поля, создаваемого системой ГЛОНАСС.

1. Государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени ГЭТ 1-2012

Государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени ГЭТ 1-2012 (ГЭВЧ) предназначен для независимого воспроизведения и хранения единиц времени и частоты и национальной шкалы времени UTC(SU) и их передачи национальным, вторичным и рабочим эталонам, рабочим средствам измерений в соответствии с требованиями Государственной поверочной схемы для средств измерений времени и частоты.

ГЭВЧ является основным техническим средством Главного метрологического центра Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли и применяется в качестве исходного эталона единиц времени и частоты на территории Российской Федерации.

ГЭВЧ состоит из следующих основных и вспомогательных технических средств:

- комплекс воспроизведения единиц времени и частоты;
- комплекс хранения национальной шкалы времени;
- комплекс передачи единиц времени, и частоты и национальной шкалы времени;
- комплекс средств технического обеспечения.

Основные метрологические характеристики ГЭВЧ приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные метрологические характеристики ГЭВЧ

Характеристика	Значение
Номинальное значение частоты, при котором воспроизводятся единицы, Гц	9 192 631 770
Неисключенная систематическая погрешность воспроизведения единиц времени и частоты	$\leq 5,0 \cdot 10^{-16}$
Относительная нестабильность единиц времени и частоты при интервалах времени измерения 10...30 сут и интервале времени наблюдений 1 год	$\leq 1,0 \cdot 10^{-15}$
СКО результатов измерений при воспроизведении единиц времени и частоты при интервале времени измерения 1 сут	$\leq 5,0 \cdot 10^{-15}$
Пределы допускаемых смещений национальной шкалы времени UTC(SU) относительно Международной шкалы координированного времени UTC, нс	± 10

Комплекс воспроизведения единиц времени и частоты предназначен для независимого воспроизведения единиц времени и частоты в соответствии с определением секунды в Международной системе единиц. В его состав входят два метрологических цезиевых репера частоты фонтанного типа.

Внешний вид составных частей комплекса воспроизведения единиц времени и частоты представлен на рисунке 1.



А



Б

Рис. 1. Репер метрологический цезиевый МГФК.411711.060 (А)
и репер метрологический цезиевый МГФК.411711.097 (Б)

Основные метрологические характеристики комплекса воспроизведения единиц приведены в таблице 2.

Таблица 2

Метрологические характеристики комплекса воспроизведения единиц

Характеристика	Значение
Номинальное значение частоты, при котором воспроизводятся единицы времени и частоты, Гц	9 192 631 770
Неисключенная систематическая погрешность воспроизведения единиц времени и частоты с использованием МЦР «Фонтан» МГФК 411711.060	$\leq 3,0 \cdot 10^{-15}$
Неисключенная систематическая погрешность воспроизведения единиц времени и частоты с использованием МЦР «Фонтан» МГФК 411711.097	$\leq 5,0 \cdot 10^{-16}$
Среднее квадратическое отклонение результатов измерений при воспроизведении единиц времени и частоты при интервале времени измерения 1 сут	$\leq 5,0 \cdot 10^{-15}$

Комплекс хранения национальной шкалы времени предназначен для хранения единиц времени и частоты; для управления измерениями; проводимыми на эталоне; для формирования аналитических и рабочих шкал времени эталона; для сравнения национальной шкалы времени с удалёнными шкалами времени.

В состав комплекса хранения национальной шкалы времени входят:

- комплекс хранения единиц времени и частоты;
- комплекс формирования рабочих шкал времени;
- комплекс внутренних сличений;
- комплекс внешних сличений;
- комплекс формирования национальной шкалы времени.

В качестве средств хранения единиц времени и частоты в составе ГЭВЧ применяются стандарты частоты и времени водородные (СЧВ), типа Ч1-75А, производства ННИПИ «Кварц» - восемь комплектов и один СЧВ ЯКУР.411141.030 с улучшенной краткосрочной нестабильностью частоты производства ЗАО «Время-Ч». Метрологические характеристики СЧВ из состава ГЭВЧ приведены в таблице 3.

Таблица 3

Метрологические характеристики СВЧ из состава ГЭВЧ

Характеристика	Интервал времени измерения	Ч1-75А «Кварц»	ЯКУР.411141.030 «Время-Ч»
Нестабильность (СКДО)	1 с	$\leq 1,5 \cdot 10^{-13}$	$\leq 7,0 \cdot 10^{-14}$
	10 с	$\leq 3,0 \cdot 10^{-14}$	$\leq 2,0 \cdot 10^{-14}$
	100 с	$\leq 7,0 \cdot 10^{-15}$	$\leq 7,0 \cdot 10^{-15}$
	1000 с	$\leq 2,0 \cdot 10^{-15}$	
	1 ч	$\leq 1,5 \cdot 10^{-15}$	$\leq 1,5 \cdot 10^{-15}$
	1 сут	$\leq 5,0 \cdot 10^{-16}$	$\leq 7,0 \cdot 10^{-16}$
Относительное среднее систематическое суточное изменение частоты	1 сут	$5,0 \cdot 10^{-16}$	$5,0 \cdot 10^{-16}$

Сведения о техническом ресурсе СЧВ из состава ГЭВЧ представлены в таблице 4.

Таблица 4

Технический ресурс СВЧ из состава ГЭВЧ

СЧВВ	Дата выпуска	Зав. №	Дата ввода в эспл.	Срок эксплуатации	
				Устан. (лет)	Факт. (лет)
СЧВ Ч1-75А	10.2007	055109	14.04.2008	12	7
СЧВ Ч1-75А	10.2007	055110	14.04.2008	12	7
СЧВ Ч1-75А	09.2008	055111	14.10.2008	12	7
СЧВ Ч1-75А	10.2007	055112	27.08.2008	12	7
СЧВ Ч1-75А	11.2008	211114	27.02.2009	12	6
СЧВ Ч1-75А	11.2008	211115	23.12.2008	12	6
СЧВ Ч1-75А	11.2008	211116	23.12.2008	12	6
СЧВ Ч1-75А	11.2008	211117	27.02.2009	12	6
СЧВ ЯКУР.411141.030	12.2012	018 12	05.06.2013	15	2

В качестве средств внутренних сличений в составе эталона используются измерители интервалов времени SR-620 (Stanford Research Systems) и компараторы фазовые 10265 (TimeTech), компараторы фазовые Ч7-48.

Комплекс внутренних сличений работает в автоматическом режиме. Выходные высокочастотные синусоидальные сигналы СЧВ 5 и 100 МГц сличаются при помощи компараторов фазовых Ч7-48 и 10265 соответственно. Измерения, полученные с использованием компараторов TimeTech 10265, проводятся каждую секунду, одновременно по шести каналам, непрерывно, круглосуточно.

Устройство сличений по фазе УФС-100 ЕЭ2.728.082 представляет собой двенадцатиканальный умножитель относительного отклонения частоты синусоидальных сигналов 5 МГц. С выходов УФС-100 на входы автоматизированной измерительной системы (АИС) К64-1 ЕЭ1.404.076 подаются импульсные сигналы частотой 1 Гц, содержащие информацию об умноженном в 10000 раз относительном отклонении частоты сличаемых синусоидальных сигналов 5 МГц.

На входы АИС К64-1 ЕЭ1.404.076 подаются выходные импульсные сигналы 1 Гц с выходов УФС-100 и выходные импульсные сигналы 1 Гц СЧВ Ч1-75А. Измерения проводятся относительно опорного стандарта частоты и времени водородного (ВСоп). Один полный цикл измерений длится три минуты. АИС управляет режимами работы измерительных приборов и уст-

роЙств, обеспечивает в автоматическом режиме:

- проведение измерений интервалов времени между двумя входными импульсными сигналами;
- предварительную обработку полученных результатов измерений и оценку метрологических характеристик СЧВ;
- формирование файлов, содержащих измерительную информацию с результатами внутренних сличений в установленных форматах с установленными именами.

Результаты измерений хранятся в памяти фазовых компараторов Time-Tech #10265, ПЭВМ из состава комплекса внутренних сличений в виде файлов установленного формата. Эти данные копируются в удалённые каталоги сетевого хранилища данных, где доступны для дальнейшей обработки и используются при расчёте национальной шкалы времени.

Средства формирования рабочих шкал времени построены на базе микро-степперов HROG-5.

Формирование рабочей шкалы времени осуществляется по двум независимым каналам. Каждый канал содержит прецизионный генератор отстроек по фазе и частоте HROG-5 и измеритель интервалов времени SR620. В качестве опорных используются сигналы двух стандартов частоты и времени Ч1-75А. Сигналы с частотой 5 МГц от водородных стандартов частоты ВС1 и ВС2 поступают на входы HROG-5 основного и резервного каналов.

HROG-5 содержит в своем составе синхронизируемый по внешней опорной частоте генератор и позволяет прецизионно корректировать сигнал по фазе и частоте, что даёт возможность в автоматическом режиме поддерживать значение частоты формируемого на выходе прибора сигнала 5 МГц близким к номиналу, не прибегая к регулировкам непосредственно водородных стандартов частоты, а также устанавливать требуемое смещение выходного сигнала 1 Гц. Для первоначальной установки РШВ близким к UTC(SU) используется сигнал 1 Гц, коммутируемый модулем 34903А системы сбора данных и коммутации 34970А на вход сброса одного из генераторов HROG-5. В качестве сигнала 1 Гц, используемого для первоначальной установки РШВ, могут использоваться любые доступные рабочие шкалы времени. Измерители временных интервалов SR620 контролируют смещения рабочих шкал времени, формируемых на выходе HROG-5 относительно рабочих шкал времени соответствующих водородных стандартов.

На основе полученных результатов измерений, а также регулярно публикуемых поправок на рабочие шкалы времени СЧВ относительно UTC(SU),

производится ввод корректирующих поправок в формируемые шкалы времени таким образом, чтобы их смещение относительно UTC(SU) не превышало ± 1 нс.

Выходные сигналы 1 Гц и 5 МГц HROG-5 через коммутатор 34905А поступают на входы усилителей сигналов 1 Гц PD-10-RM-B и 5 МГц HPDA-15-RM-E и далее на другие технические средства из состава ГЭВЧ и ГМЦ ГСВЧ:

- на аппаратуру привязки по телевизионным каналам АПТВ МГФК.408483.022;
- аппаратуру формирования, контроля и управления системы передач ЭСЧВ по каналам телевидения АФКУ ТВ МГФК.403511.011;
- аппаратуру формирования, контроля и управления ЭСЧВ специализированных радиостанций РБУ и РВМ МГФК.403511.009;
- NTP серверы ФГУП «ВНИИФТРИ»;
- специализированные приёмники сигналов ГНСС.

Комплекс передачи единиц времени, частоты и национальной шкалы времени предназначен для передачи единиц времени, частоты и национальной шкалы времени UTC(SU) национальным, вторичным и рабочим эталонам и средствам измерений времени и частоты в соответствии с требованиями ГОСТ 8.129-2013.

В его состав входят средства сравнения шкал времени пространственно удалённых объектов:

- специализированные двухчастотные многоканальные приёмники сигналов ГНСС ГЛОНАСС/GPS TTS-3 и TTS-4 (PikTime Systems);
- комплекс аппаратуры дуплексных сличений шкал времени (TimeTech) в составе стационарного и перевозимого комплектов;
- перевозимые квантовые часы водородные модернизированные ПКЧВ-М.

А также различные средства передачи единиц времени и частоты.

Метрологические характеристики комплекса передачи единиц приведены в таблице 5.

Таблица 5

Метрологические характеристики комплекса передачи единиц

Характеристика, единица измерения	Значение			
	Диапазон измеряемых интервалов времени, с	$1,0 \cdot 10^{-9} - 1,0 \cdot 10^8$		
Диапазон измеряемых частот, Гц	$1,0 - 5,0 \cdot 10^{14}$			
Метод передачи единиц времени и частоты	Стандартная неопределенность измерений			
	u_A	u_B	u_C	U при $k = 2$
При передаче единиц частоты методом сличений при помощи компаратора	$1,0 \cdot 10^{-16}$	$2,0 \cdot 10^{-16}$	$2,5 \cdot 10^{-16}$	$5,0 \cdot 10^{-16}$
При передаче шкалы времени методом сличений по каналам связи	0,3 нс	5,0 нс	5,0 нс	10,0 нс
При передаче шкалы времени методом сличений по сигналам КНС	1,0 нс	5,0 нс	5,0 нс	10,0 нс
При передаче шкалы времени методом непосредственных сличений с использованием перевозимых квантовых часов	1,0 нс	2,0 нс	2,5 нс	5,0 нс
При передаче единиц частоты в диапазоне от $2,0 \cdot 10^{10}$ Гц до $5,0 \cdot 10^{14}$ Гц	$5,0 \cdot 10^{-13}$	$6,0 \cdot 10^{-14}$	$5,0 \cdot 10^{-13}$	$1,0 \cdot 10^{-12}$

Комплекс средств технического обеспечения предназначен для обеспечения бесперебойного электроснабжения технических средств эталона, мониторинга и поддержания в специализированных помещениях эталона требуемых условий эксплуатации, в его состав входят средства электроснабжения и средства поддержания и мониторинга ТВР.

Измерительная информация ГЭВЧ, передаваемая в МБМВ, включает в себя несколько информационных потоков, предназначенных для формирования ТАИ, UTC и UTCr. Таким образом обеспечивается участие ГЭВЧ в

Международных ключевых сличениях, наш вклад в формирование шкал времени TAI и UTC, а также прослеживаемость национальной шкалы времени UTC(SU) к UTC.

На рисунке 2 представлены сравнительные характеристики национальной шкалы времени UTC(SU) и шкал времени ведущих зарубежных лабораторий: PTB, USNO, IT и OP.

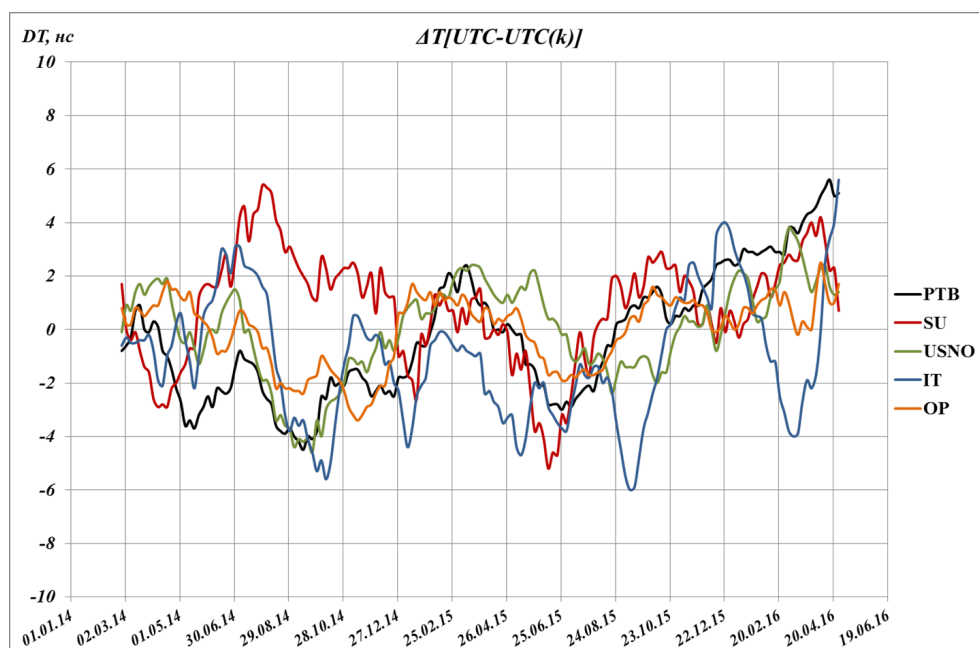


Рис. 2. Смещения шкал координированного времени UTC(k) относительно UTC по официальным данным МБМВ (Circular «Т» №№ 315-340)

Смещения национальной шкалы времени UTC(SU) относительно UTC с марта 2014 года находится в пределах ± 6 нс.

2. Государственные вторичные эталоны единиц времени и частоты ВЭТ 1-5, ВЭТ 1-7, ВЭТ 1-19 и рабочий эталон РЭТ 1-1

Эталоны предназначены для хранения единиц времени и частоты, воспроизводимых ГЭВЧ, для формирования шкал времени, согласованных с национальной шкалой времени, а также для передачи единиц и шкал времени рабочим эталонам и рабочим средствам измерений в соответствии с требованиями ГОСТ 8.129-2013 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений времени и частоты».

Эталоны являются основными техническими средствами Пунктов метрологического контроля ГСВЧ, содержатся и применяются в Восточно-Сибирском, Дальневосточном и Камчатском филиалах ФГУП «ВНИИФТРИ» и ФГУП «СНИИМ».

После проведенных в 2013 году мероприятий по их совершенствованию эталоны утверждены:

- ВЭТ 1-5, ВЭТ 1-7 и РЭТ 1-1 - приказом Руководителя Росстандарта от 10.06.2014 № 845;

- ВЭТ 1-19 - приказом Руководителя Росстандарта от 28.07.2014 № 1190.

Состав эталонов унифицирован, их метрологические характеристики приведены в таблице 6.

Таблица 6

Метрологические характеристики государственных вторичных и рабочего эталона единиц времени и частоты

Характеристика, единица измерения	Значение
ВЭТ 1-5, ВЭТ 1-7, ВЭТ 1-19	
Относительная нестабильность единиц времени и частоты $TA(k)$ при интервалах времени измерения 10...30 сут	$\leq 5,0 \cdot 10^{-15}$
Пределы допускаемых смещений шкал координированного времени UTC(k) относительно национальной шкалы времени UTC(SU), нс	± 30
Случайная погрешность (СКО) сравнения шкал времени по сигналам ГНСС, при $\tau_n = 1$ сут, $\tau_n = 30$ сут, нс	≤ 5
Суммарная погрешность, S_Σ	$\leq 1,0 \cdot 10^{-14}$
РЭТ 1-1	
Относительная нестабильность единиц времени и частоты $TA(Pm)$ при интервалах времени измерения 10...30 сут	$\leq 5,0 \cdot 10^{-14}$
Пределы допускаемых смещений шкал координированного времени UTC(Pm) относительно национальной шкалы времени UTC(SU), нс	± 100
Случайная погрешность (СКО) сравнения шкал времени по сигналам ГНСС, при $\tau_n = 1$ сут, $\tau_n = 30$ сут, нс	≤ 5
Суммарная погрешность, S_Σ	$\leq 1,0 \cdot 10^{-13}$

В качестве средств хранения единиц времени и частоты в составе вторичных эталонов применяются СЧВ типа Ч1-75А – по четыре комплекта, на ВЭТ 1-5 и ВЭТ 1-19, кроме этого, имеются в эксплуатации по три комплекта СЧВ Ч1-70М.

В состав РЭТ 1-1 входят два СЧВ пассивного типа Ч1-76А и два цезиевых стандарта частоты 5071А-С001.

Сведения о техническом ресурсе СЧВ из состава эталонов представлены в

таблице 7.

Таблица 7

Технический ресурс СВЧ из состава эталонов

Эталон	Тип СЧВВ	Зав. №	Дата выпуска	Срок эксплуатации	
				Устан. (лет)	Факт. (лет)
ВЭТ 1-5	Ч1-75А	245126, 245127 245128, 245129	2010	12	5
	Ч1-70М	056, 079, 085	2002	7	13
ВЭТ 1-7	Ч1-75А	211118, 211120, 245125, 275137	2010 2011	12	5 4
ВЭТ 1-19	Ч1-75А	245123, 245124 245130 245144	2008 2009 2011	12	7 6 4
	Ч1-70М	1401952, 1401955 1401999	2001	7	14
РЭТ 1-1	Ч1-76А	246186, 246187	2010	10	5
	5071А-С001	US49352715, US49352718	2010	-	5

В качестве средств сравнения шкал времени в составе эталонов применяются специализированные двухчастотные многоканальные приёмники сигналов ГНСС ТТS4 и ТТS3. Сведения о приёмниках из состава эталонов представлены в таблице 8.

Таблица 8

Приёмники сигналов ГНСС в составе эталонов

Эталон	ВЭТ 1-5	ВЭТ 1-7	ВЭТ 1-19	РЭТ 1-1
Тип приёмника	TTS4	TTS4	TTS4	TTS3
Зав. №	0122	0121	0117	0027
№ сертификата калибровки	7/712-41-15	7/712-42-15	7/712-47-15	21
Дата калибровки	24.08.2015 г.	28.08.2015 г.	09.09.2015 г.	07.12.2015
Организация, проводившая калибровку	ГМЦ ГСВЧ	ГМЦ ГСВЧ	ГМЦ ГСВЧ	КФ филиал ФГУП «ВНИИФТРИ»

2.1. Оценка метрологических характеристик эталонов

Оценка метрологических характеристик эталонов осуществляется ежемесячно, при подготовке и проверке ежемесячных отчётов о выполнении ЧТЗ по теме: «Осуществление мероприятий по обеспечению непрерывного функционирования пунктов метрологического контроля ГСВЧ».

Исходными данными при оценке метрологических характеристик являются результаты внутренних сличений, проводимых на эталонах, а также результаты сравнения шкал координированного времени UTC(k) с национальной шкалой времени UTC(SU).

Измерительная информация эталонов представляется пунктами метрологического контроля ГСВЧ на специализированный ftp сервер ГМЦ ГСВЧ в соответствии с установленными требованиями к форматам данных и регулярности обмена данными.

2.1.1. Оценка смещений шкал координированного времени UTC(k) относительно национальной шкалы времени UTC(SU) производится на интервале времени наблюдений 30 суток. Результаты представлены на рис. 3

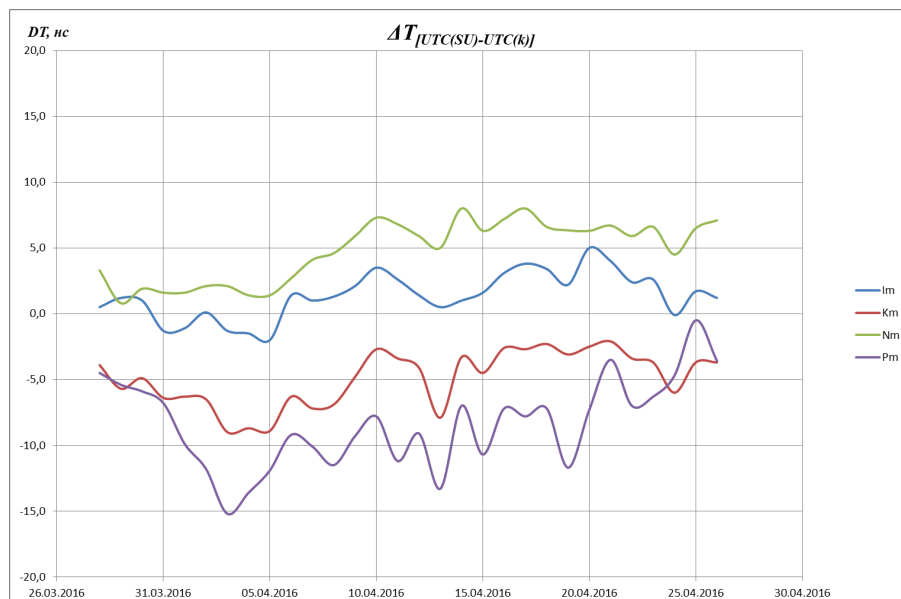


Рис. 3. Смещения шкал координированного времени эталонов относительно национальной шкалы времени

Оценка случайной погрешности сравнения шкал времени UTC(k) с национальной шкалой координированного времени UTC(SU) производится на интервале времени наблюдений 30 суток. Результаты представлены в таблицах 9-10.

Таблица 9

Дата	MJD	SU-Im	SU-Km	SU-Nm	SU-Pm
28.03.2016	57475	0,5	-3,9	3,3	-4,5
29.03.2016	57476	1,2	-5,7	0,8	-5,4
30.03.2016	57477	1,0	-4,9	1,9	-5,9
31.03.2016	57478	-1,3	-6,4	1,6	-6,8
01.04.2016	57479	-1,1	-6,3	1,6	-9,9
02.04.2016	57480	0,1	-6,5	2,1	-11,8
03.04.2016	57481	-1,3	-9,0	2,1	-15,2
04.04.2016	57482	-1,5	-8,7	1,4	-13,6
05.04.2016	57483	-2,0	-8,9	1,4	-11,9
06.04.2016	57484	1,4	-6,3	2,7	-9,2

Продолжение таблицы 9

07.04.2016	57485	1,0	-7,2	4,1	-10,1
08.04.2016	57486	1,3	-6,9	4,6	-11,5
09.04.2016	57487	2,1	-4,8	5,9	-9,3
10.04.2016	57488	3,5	-2,7	7,3	-7,8
11.04.2016	57489	2,6	-3,4	6,8	-11,2
12.04.2016	57490	1,4	-4,1	5,9	-9,1
13.04.2016	57491	0,5	-7,9	5,0	-13,3
14.04.2016	57492	1,0	-3,3	8,0	-7,0
15.04.2016	57493	1,6	-4,5	6,3	-10,7
16.04.2016	57494	3,1	-2,6	7,2	-7,2
17.04.2016	57495	3,8	-2,7	8,0	-7,8
18.04.2016	57496	3,4	-2,3	6,6	-7,2
19.04.2016	57497	2,2	-3,1	6,3	-11,7
20.04.2016	57498	5,0	-2,5	6,3	-7,3
21.04.2016	57499	4,0	-2,1	6,7	-3,5
22.04.2016	57500	2,4	-3,4	5,9	-7,0
23.04.2016	57501	2,6	-3,7	6,6	-6,3
24.04.2016	57502	-0,1	-6,0	4,5	-4,7
25.04.2016	57503	1,7	-3,7	6,5	-0,5
26.04.2016	57504	1,2	-3,7	7,1	-3,6
N		30	30	30	30
Макс		5,0	-2,1	8,0	-0,5
Мин		-2,0	-9,0	0,8	-15,2
Ср. зн.		1,4	-4,9	4,8	-8,4
Sx		0,3	0,4	0,4	0,6

Таблица 10

Период наблюдений	Случайная погрешность сравнения шкал времени				
	$S_x = \text{CKO}/\sqrt{N}$, нс				
	N	SU-Im	SU-Km	SU-Nm	SU-Pm
Май 2015	30	0,21	0,38	0,19	0,58
Июнь 2015	30	0,35	0,46	0,53	0,64
Июль 2015	35	0,35	0,47	0,51	0,42
Август 2015	30	0,30	0,27	0,68	0,96
Сент. 2015	30	0,23	0,32	0,38	0,63
Октябрь 2015	30	0,28	0,33	0,36	0,41
Ноябрь 2015	30	0,27	0,31	0,21	0,41
Декабрь 2015	30	0,11	0,17	0,21	0,69
Январь 2016	30	0,08	0,19	0,25	0,21
Февраль 2016	30	0,17	0,24	0,18	0,41
Март 2016	30	0,24	0,35	0,23	0,34
Апрель 2016	30	0,32	0,38	0,42	0,62
	Sx макс, нс	0,35	0,47	0,68	0,96

2.1.3. Оценка относительной нестабильности единиц времени и частоты при интервалах времени измерения 10-30 сут производится на интервале времени наблюдений не менее 1 года.

Исходными данными являются среднесуточные смещения шкалы атомного времени $\Delta T_A(k)$ относительно шкалы атомного времени $\Delta T_{TA(SU)}$, рассчитанные по формуле:

$$\Delta T_{[TA(SU)-TA(k)]_j} = \left[(\Delta T_{[TA(SU)-UTC(SU)]_j}) + (\Delta T_{[UTC(SU)-UTC(k)]_j}) - (\Delta T_{[TA(k)-UTC(k)]_j}) \right]$$

Методом наименьших квадратов определяются значения среднесуточного хода шкалы атомного времени эталона $\Delta T_A(k)$ относительно национальной шкалы атомного времени $\Delta T_{TA(SU)}$ $\bar{g}_{[TA(SU)-TA(k)]_j}$ при $\tau_u = \tau_v = 1$ сут, $\tau_n = 10$ сут. И рассчитываются среднесуточные относительные отклонения частоты

TA(k) относительно частоты TA(SU) при интервале времени измерения при

$$\tau_u = \tau_e = 1 \text{ сут}, \tau_n = 10 \text{ сут}: \Delta_0 f_{[TA(SU)-TA(k)]j} = \frac{\overline{g}_{[TA(SU)-TA(k)]j}}{86400}.$$

Относительную нестабильность единиц времени и частоты эталона определяют как среднее квадратическое относительное двухвыборочное отклонение полученных результатов. С теми же исходными данными повторяются расчёты для $\tau_u = \tau_e = 1 \text{ сут}, \tau_n = 30 \text{ сут}$. Результаты представлены на рисунках 4, 5 и в таблице 11.

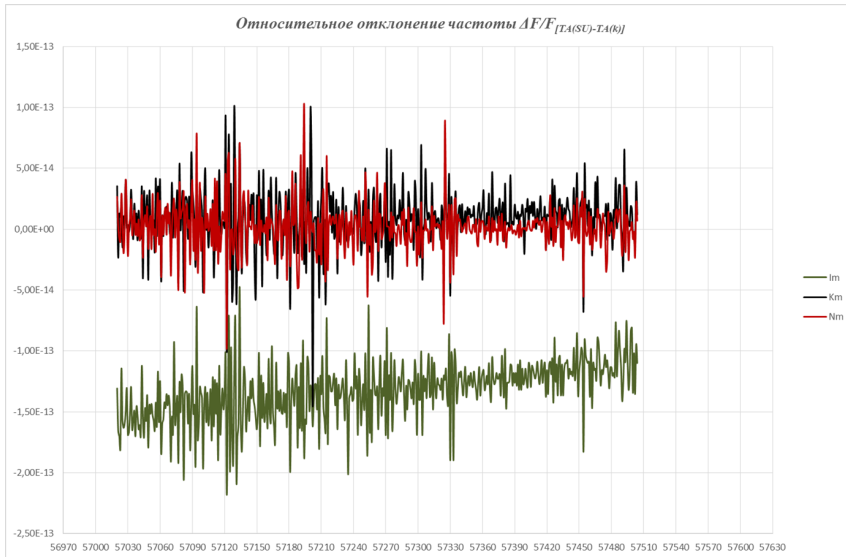


Рис. 4. Отклонения частот TA(k) относительно TA(SU)

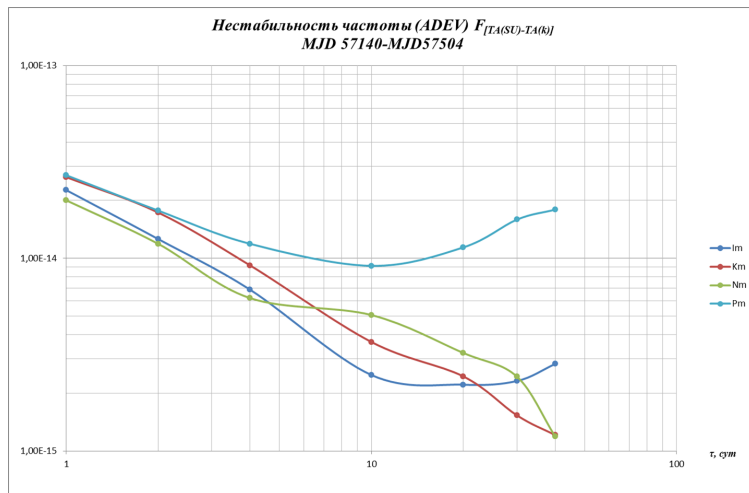


Рис. 5. Относительная нестабильность частот $F_{[TA(SU) - TA(k)]}, \sigma_y(\tau)$

Таблица 11

Интервал времени измерения, сут	Относительная нестабильность единиц времени и частоты, (девиация Алана)			
	Im	Km	Nm	Pm
1	2,26E-14	2,64E-14	2,00E-14	2,70E-14
2	1,26E-14	1,73E-14	1,19E-14	1,77E-14
4	6,88E-15	9,20E-15	6,22E-15	1,19E-14
10	2,48E-15	3,68E-15	5,08E-15	9,14E-15
20	2,21E-15	2,44E-15	3,23E-15	1,14E-14
30	2,31E-15	1,53E-15	2,43E-15	1,59E-14
40	2,83E-15	1,21E-15	1,19E-15	1,79E-14

Относительная нестабильность единиц времени и частоты ВЭТ 1-5, ВЭТ 1-7 и ВЭТ 1-19 при интервалах времени измерения 10-30 сут не превышает $5,0 \cdot 10^{-15}$, а РЭТ 1-1 не превышает $5,0 \cdot 10^{-14}$.

2.1.4. Оценка суммарной погрешности эталонов производится на интервале времени наблюдений не менее 1 года

Исходными данными являются среднесуточные смещения шкал координированного времени UTC(k) относительно национальной шкалы времени UTC(SU).

Методом наименьших квадратов определяют значения среднесуточного хода шкалы координированного времени UTC(k) относительно национальной шкалы времени UTC(SU) $\bar{g}_{[UTC(SU)-UTC(k)]_j}$ при $\tau_u = \tau_g = 1$ сут, $\tau_n = 10$ сут и рассчитываются среднесуточные значения относительного отклонения частоты UTC(k) относительно частоты UTC(SU) Δ_{0f_i} при $\tau_u = \tau_g = 1$ сут, $\tau_n = 10$ сут:

$$\Delta_0 f_{[UTC(SU)-UTC(k)]_i} = \frac{\bar{g}_{[UTC(SU)-UTC(k)]_i}}{86400}$$

Далее оценка производится в соответствии с методикой, изложенной в приложении А ГОСТ 8.381-2009 Эталоны. Способы выражения точности. Исходные данные представлены на рисунке 6 и в таблице 12. Результаты оценки представлены в таблице 13.

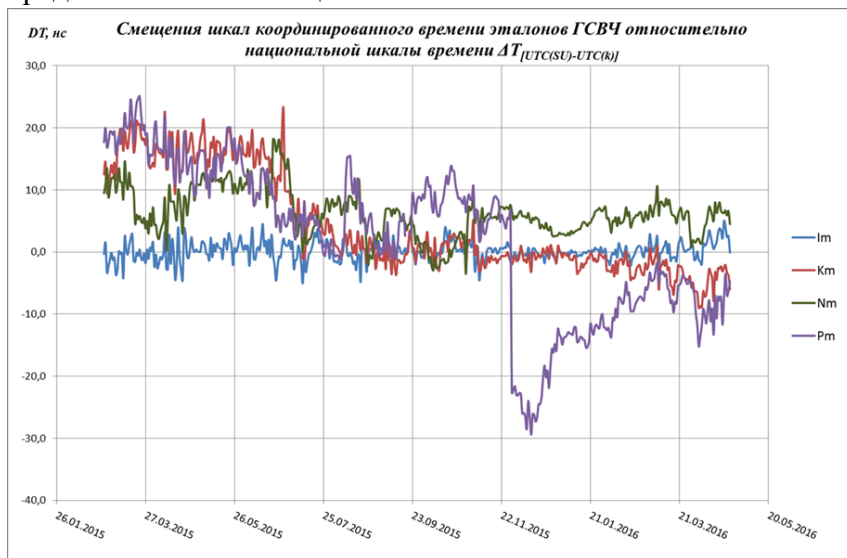


Рис. 6. Смещения шкал координированного времени UTC(k) относительно национальной шкалы времени UTC(SU) на интервале времени наблюдений 1 год

Таблица 12

Период наблюдений	DF/F UTC(SU)-UTC(k)			
	Im	Km	Nm	Pm
I/05/2015	7,79E-16	2,50E-15	3,12E-15	5,81E-15
II/05/2015	1,40E-15	2,14E-15	9,47E-16	4,84E-15
III/05/2015	-1,29E-15	-2,11E-16	-9,68E-16	-4,91E-16
I/06/2015	-2,27E-15	-1,97E-16	1,48E-15	-7,58E-15
II/06/2015	2,05E-15	1,39E-17	-3,54E-15	4,96E-15
III/06/2015	-3,94E-15	-5,43E-15	1,24E-14	-1,24E-14
I/07/2015	-3,74E-15	-2,03E-14	-1,33E-14	-2,62E-15
II/07/2015	5,82E-16	2,40E-15	-2,69E-15	8,55E-16
III/07/2015	-1,75E-15	-2,84E-15	4,22E-15	-4,53E-15

Продолжение таблицы 12

Период наблюдений	DF/F UTC(SU)-UTC(k)			
	Im	Km	Nm	Pm
I/08/2015	4,92E-15	6,81E-16	-9,61E-16	1,72E-14
II/08/2015	-1,90E-16	-6,74E-16	-1,30E-15	-1,05E-14
III/08/2015	-4,86E-17	-1,64E-15	-1,58E-14	-5,70E-15
I/09/2015	-1,90E-15	-2,01E-15	6,75E-15	6,46E-16
II/09/2015	-1,30E-15	3,09E-16	-3,98E-15	-2,30E-14
III/09/2015	-3,80E-15	-9,81E-16	-6,51E-15	7,96E-14
I/10/2015	-1,24E-15	-2,61E-15	-5,11E-15	-3,63E-15
II/10/2015	4,50E-15	5,79E-15	2,28E-15	1,06E-14
III/10/2015	-2,41E-15	-3,80E-15	-8,41E-16	-7,58E-15
I/11/2015	-6,00E-15	-6,05E-15	-1,97E-15	-9,12E-15
II/11/2015	2,26E-15	9,61E-16	-5,89E-16	7,41E-15
III/11/2015	1,39E-15	7,79E-16	1,75E-15	-3,00E-15
I/12/2015	8,21E-16	1,19E-15	5,56E-17	-5,64E-15
II/12/2015	-4,42E-16	1,12E-15	-1,41E-15	2,68E-15
III/12/2015	4,28E-16	-2,73E-16	-2,41E-15	8,59E-15
I/01/2016	6,24E-16	-5,96E-16	7,75E-17	1,56E-15
II/01/2016	-4,77E-16	-1,89E-15	2,23E-15	-1,92E-15
III/01/2016	5,61E-16	3,58E-16	4,01E-15	4,33E-15
I/02/2016	-1,55E-15	-4,15E-15	-3,87E-15	-1,27E-15
II/02/2016	-7,79E-16	1,12E-15	2,10E-15	4,38E-15
III/02/2016	2,05E-15	1,61E-15	1,42E-15	3,14E-15
I/03/2016	-1,60E-15	-6,53E-16	2,83E-15	3,13E-15
II/03/2016	-1,63E-15	-6,02E-15	-2,46E-15	-8,73E-15
III/03/2016	9,68E-16	-9,33E-16	1,23E-15	4,13E-15
I/04/2016	-1,80E-15	-4,98E-15	-1,19E-16	-1,08E-14
II/04/2016	3,72E-16	3,47E-15	2,98E-15	2,02E-15
III/04/2016	-3,90E-15	-2,68E-15	-1,26E-15	8,36E-15

Таблица 13

Эталон	ВЭТ 1-5	ВЭТ 1-7	ВЭТ 1-19	РЭТ 1-1
n	36	36	36	36
$\Delta F/F_{cp}$	-5,4E-16	-1,4E-15	-5,3E-16	1,6E-15
$\Delta F/F_{max}$	4,9E-15	5,8E-15	1,2E-14	8,0E-14
$\Delta F/F_{min}$	-6,0E-15	-2,0E-14	-1,6E-14	-2,3E-14
S_{θ}	3,8E-15	5,5E-15	5,8E-15	1,7E-14
S_y	3,8E-16	7,0E-16	8,2E-16	2,6E-15
S_{Σ}	3,8E-15	5,5E-15	5,8E-15	1,8E-14
Допуск S_{Σ}	1,0E-14	1,0E-14	1,0E-14	1,0E-13

3. Перспективы развития эталонной базы ГСВЧ

Дальнейшее развитие эталонной базы ГСВЧ осуществляется в соответствии с Федеральной целевой программой «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012-2020 годы». При этом предполагается, что точность формирования национальной шкалы времени повысится не менее чем в 2 раза, а точность передачи национальной шкалы времени системой ГЛОНАСС повысится не менее чем в 5 раз.

Требования к характеристикам формирования и передачи национальной шкалы времени UTC(SU) до 2020 года представлены таблице 14.

С целью обеспечения конкурентоспособного развития и достижения заданных тактико-технических характеристик системы ГЛОНАСС на период до 2020 года предполагается дальнейшее развитие эталонной базы ГСВЧ в рамках выполнения мероприятий ФЦП «ГЛОНАСС» в следующих направлениях:

- модернизация комплексов хранения национальной шкалы времени для обеспечения согласования национальной шкалы времени UTC(SU) с UTC с погрешностью не более ± 3 нс;

- разработка высокоточных средств сравнений национальной шкалы времени UTC(SU) со шкалой времени системы ГЛОНАСС и другими эталонами времени и частоты;

- создание хранителя единиц времени и частоты на основе фонтана атомов

рубидия с нестабильностью $(1,0-2,0) \cdot 10^{-16}$ для оснащения эталонов единиц времени и частоты;

создание оптических стандартов частоты с неисключённой систематической погрешностью воспроизведения единиц $1,0 \cdot 10^{-16} - 1,0 \cdot 10^{-17}$;

создание перевозимых квантовых часов нового поколения, обеспечивающих погрешность хранения шкалы времени не более ± 1 нс, и комплекса средств дуплексных сравнений шкал времени с погрешностью не более $\pm 1,5$ нс;

проведение исследований по созданию высокоточного канала передачи эталонных сигналов времени и частоты по волоконно-оптической линии связи.

Таблица 14

Целевые показатели ФЦП «ГЛОНАСС»

Год	Погрешность согласования национальной шкалы времени с Международной шкалой координированного времени, нс	Погрешность согласования системной шкалы времени с национальной шкалой времени UTC(SU), нс
2016	± 7	± 20
2017	± 7	± 15
2018	± 5	± 10
2019	± 4	± 7
2020	± 3	± 4

Выполнение мероприятий по совершенствованию средств воспроизведения, хранения и передачи единиц времени, частоты и национальной шкалы времени из состава эталонной базы ГСВЧ приведёт к улучшению характеристик системы ГЛОНАСС, создаст техническую основу для дальнейшего конкурентоспособного развития системы в целом, средств её метрологического обеспечения, а также средств мониторинга параметров и характеристик навигационного поля.

Улучшение тактико-технических характеристик системы ГЛОНАСС приведёт к достижению паритета с иностранными навигационными системами и будет способствовать максимально эффективному применению современных и перспективных отечественных комплексов и систем народнохозяйственного, научного и оборонного назначения.