Историческая часть

УДК 006.92:521.9

КРАТКИЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЭВЧ – ЭТАЛОНЕ НОМЕР ОДИН.

Документальное описание учёного хранителя эталона

В.П. Костромин

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

Приводятся краткие сведения об истории создания и совершенствования Государственного первичного эталона времени, частоты и национальной шкалы времени. Автором является учёный хранитель эталона.

Brif historical revive of creating and development Russian State primary frequency and timestandard and national time shale are presented the Autor scientific keeper of the primary standard

Ключевые слова: эталон, время и частота, точность и стабильность, погрешность

Впервые Государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени (ГЭВЧ), воспроизводящий основную единицу времени – секунду был аттестован и утвержден в 1967 году с погрешностью воспроизведения единиц времени $1{,}0\cdot10^{-11}$. Межведомственная комиссия, работавшая под научным руководством академика Н.Г. Басова, аттестовала комплекс Государственного эталона времени и частоты, а Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР своим постановлением от 2 ноября 1967 года за № 146 утвердил первичный эталон времени и частоты, представленный ВНИИФТРИ, в качестве исходной меры времени и частоты с присвоением ему наименования «Государственный эталон времени и частоты СССР» и внесением его в Государственный реестр эталонов под №1. В состав ГЭТ 1-1967 вошли водородные стандарты частоты и кварцевые часы, которые были разработаны во ВНИИФТРИ. Одновременно была разработана аппаратура формирования рабочих шкал времени, аппаратура внешних сличений, средства обеспечения эталона, разработаны методы вычисления шкал атомного и координированного времени.

Последующие поколения ГЭВЧ демонстрируют устойчивый рост точности и стабильности эталона. В 1975 году во ВНИИФТРИ был разработан и введен в состав ГЭВЧ метрологический цезиевый репер частоты МЦР 101. С тех пор ГЭВЧ воспроизводит единицу времени – секунду в полном соответствии с ее определением в системе СИ. Секунда – интервал времени, равный 9192631770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 при отсутствии возмущений внешними полями. Длительность атомной секунды была согласована с наиболее точными определениями эфемеридного времени.

Рост требований к точности ГЭВЧ со стороны потребителей в промышленности, науке и обороне привели к необходимости непрерывно вести исследования и разработки новой более точной аппаратуры. К таким исследованиям и разработкам стали привлекаться специалисты Физического института Академии наук и ведомственных институтов (ННИПИ «Кварц», РИРВ и др.). Все эти работы проводились под руководством и при активном участии ФГУП «ВНИИФТРИ».

В настоящее время первичные стандарты всех мировых лабораторий времени воспроизводят единицу времени – секунду, в соответствии с ее определением в системе СИ, используя цезиевые фонтаны на холодных атомах.

Точность современных реперов частоты фонтанного типа составляет от $4{,}0 \cdot 10^{-15}$ до $1{,}5 \cdot 10^{-16}$.

Работы по созданию цезиевого репера частоты на холодных атомах во ВНИИФТРИ были начаты в 1999 году и завершились в 2011 году созданием экспериментального и опытного образцов МЦР «Фонтан» в ходе выполнения ОКР «Эталон» ФЦП «ГЛОНАСС». С 2012 года метрологические характеристики ГЭВЧ (ГЭТ1-2012) по неисключенной систематической погрешности воспроизведения размера единицы времени обеспечиваются цезиевыми фонтанами на холодных атомах.

Основные этапы совершенствования и метрологические характеристики ГЭВЧ 1967-2012 гг. отражены в таблице 1.

Таблица 1

Дата	S_o	Θ_o	$\delta t_{сп}$
1967 г.	$1{,}0 \cdot 10^{-11}$	-	200 мкс
1975 г.	$3{,}0 \cdot 10^{-12}$	$1{,}0 \cdot 1\ 0^{-11}$	(2-5) мкс
1977 г.	$1{,}0 \cdot 10^{-13}$	$1{,}0 \cdot 10^{-12}$	2 мкс
1983 г.	$5{,}0 \cdot 10^{-14}$	$2{,}0 \cdot 10^{-13}$	1 мкс
1998 г.	$1{,}0 \cdot 10^{-14}$	$5{,}0 \cdot 10^{-14}$	20 нс
2012 г.	$5{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}0 \cdot 10^{-16}$	10 нс

где:

- S_o – погрешность воспроизведения единиц времени и частоты;
- Θ_o – относительная неисключенная систематическая погрешность воспроизведения размеров единиц;
- $\delta t_{сп}$ – погрешность сличений шкал времени.

Следует отметить, что с 1967 г по 2011г ученым хранителем ГЭВЧ был С.Б. Пушкин, научный руководитель и главный конструктор работ по созданию эталона.

Кардинальный рост точности эталона с 60-х годов прошлого столетия обусловлен исключительно широкой областью применения измерений времени и частоты в различных отраслях экономики, в области обороны и безопасности страны и непрерывно растущими требованиями потребителей,

предъявляемыми к оперативности и достоверности информации о национальной шкале времени, о точном значении московского времени и календарной дате, распространяемой Государственной службой времени и частоты и определения параметров вращения Земли.

Время и частота неразрывно связаны между собой. Измерение частоты выполняется с наибольшей точностью по сравнению с другими видами радиоизмерений, поэтому многие физические величины, подлежащие измерению, преобразуют во временные или частотные для последующего точного измерения. Основываясь на этой идеологии, в 1983 году принята единица длины СИ – метр. Радикальное повышение точности единиц времени и длины СИ на основе природных инвариантов и мировых констант послужило мотивом для принятия 25^{й} Генеральной Конференцией по мерам и весам Резолюции 1 «О будущей ревизии Международной системы единиц».

В соответствии с требованиями Постановления Правительства Российской Федерации №323 от 2008 года «О полномочиях федеральных органов исполнительной власти по поддержанию, развитию и использованию ГЛОНАСС» на Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии возложено обеспечение системы ГЛОНАСС эталонными значениями времени, частоты и национальной шкалой времени.

ФГУП «ВНИИФТРИ» является одним из исполнителей ФЦП «ГЛОНАСС». Наши технические средства и прежде всего эталонная база составляют основу комплекса фундаментального обеспечения ГЛОНАСС в части средств формирования ее опорной системы – национальной шкалы времени UTC(SU). Для выполнения целевого индикатора ГЛОНАСС – погрешности согласования национальной шкалы времени UTC (SU) с международной шкалой времени UTC (3 нс в 2020 г.) – необходимо было проводить мероприятия по совершенствованию ГЭВЧ.

В соответствии с соглашением стран СНГ от 09.10.1992 года «О сотрудничестве по обеспечению единства измерений времени и частоты» основой взаимодействия является инфраструктура Государственной службы времени, частоты и определения параметров Земли. В качестве межгосударственной шкалы времени принята шкала координированного времени Российской Федерации UTC(SU). В шкале UTC(SU) в Российской Федерации и в государствах – участниках СНГ ведутся все передачи эталонных сигналов частоты и времени по каналам телевидения, радио, наземным и спутниковым навигационным системам и другим каналам связи.

ГЭВЧ предназначен для независимого воспроизведения и хранения единиц времени, частоты и национальной шкалы времени UTC(SU) и их передачи национальным, вторичным и рабочим эталонам, средствам измерений времени и частоты в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений времени и частоты.

В состав ГЭВЧ входят следующие технические средства:

Комплекс воспроизведения единиц времени и частоты – метрологические цезиевые реперы (МЦР) частоты фонтанного типа. Неисключённая систематическая погрешность воспроизведения единиц времени и частоты не превышает $5{,}0 \cdot 10^{-16}$ (по результатам метрологической аттестации ГЭВЧ). При формировании международной атомной атомной шкалы TAI неисключенная систематическая погрешность нашего МЦР в настоящее время оценивается величиной $2.5 \cdot 10^{-16}$.

Комплекс хранения национальной шкалы времени. В состав комплекса входят:

- промышленные стандарты частоты и времени водородные типа Ч1-75А. Это одни из лучших мировых образцов, нестабильность частоты их выходных сигналов при интервалах времени измерения 1 сут. не превышает $5{,}0 \cdot 10^{-16}$;
- средства внутренних сличений – автоматизированные измерительные системы на основе фазовых компараторов и измерителей интервалов времени;
- средства формирования рабочих шкал времени на основе прецизионных цифровых фазовращателей HROG-5, которые формируют физический сигнал, совмещённый с национальной шкалой времени с допускаемым отклонением ± 1 нс.

Комплекс передачи единиц времени, частоты и национальной шкалы времени. В состав комплекса входят: специализированные временные приёмники сигналов глобальных навигационных спутниковых систем, перевозимые квантовые часы и аппаратура дуплексных сравнений шкал времени территориально удалённых эталонов.

Комплекс средств технического обеспечения. Средства обеспечения эталона предназначены для снабжения аппаратуры эталона бесперебойным электропитанием, для термостатирования специальных помещений.

В рамках реализации Федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012-2020 годы» проводились работы по созданию новых образцов фонтанных стандартов частоты на атомах рубидия (Rb), оптических стандартов частоты на атомах стронция (Sr), которые рассматриваются в качестве кандидатов на первичную реализацию секунды СИ вместо современных цезиевых (Cs) фонтанов.

Были разработаны:

- образец оптического репера частоты наземного базирования на холодных атомах стронция с погрешностью воспроизведения единицы частоты не более $1 \cdot 10^{-16}$;
- хранитель единиц времени и частоты на основе «фонтана» атомов рубидия с показателем нестабильности частоты $2 \cdot 10^{-16}$;
- комплекс аппаратуры рубидиевых хранителей частоты фонтанного типа показателями нестабильности частоты $4 \cdot 10^{-16}$ /1 сут., $1 \cdot 10^{-16}$ /16 сут.

Новое поколение комплекса хранения национальной шкалы времени на основе ансамбля водородных мазеров с улучшенными характеристиками и соответствующей сличительной аппаратуры обеспечивает следующие показатели:

нестабильность частоты стандартов частоты и времени водородных при интервале времени измерения 1 сутки не превышает $3 \cdot 10^{-16}$;

относительное среднее изменение частоты ВСЧВ за 1 сут. не превышает $\pm 8 \cdot 10^{-17}$;

погрешность сравнения шкалы времени ЭКВЧ и национальной шкалы времени не превышает ± 2 нс;

погрешность измерений нестабильности частоты (СКДО), вносимая аппаратурой внутренних сличений, не более $1{,}0 \cdot 10^{-16}$ при интервале времени измерения 1 сутки;

пределы допускаемого смещения формируемой шкалы времени относительно расчетной шкалы времени комплекса не превышает ± 1,0 нс.

По своим метрологическим характеристикам эталон ГЭТ 1-2012 находится среди лучших мировых эталонов лабораторий времени.

В рамках мероприятий по совершенствованию ГЭТ 1-2012 (ГСВЧ-2017) в этом году эталон должен быть переутверждён с новыми аппаратурными комплексами и улучшенными метрологическими характеристиками.