Эталонный комплекс времени и частоты

УДК 006Ю91:531.761.081

V. ЭТАЛОННЫЙ КОМПЛЕКС ВРЕМЕНИ И ЧАСТОТЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ШКАЛЫ ВРЕМЕНИ РФ

А.С. Гончаров, Ю.Ф. Смирнов, И.Б. Норец

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

Разработан эталонный комплекс времени и частоты, предназначенный для хранения единиц времени и частоты, формирования и хранения шкалы времени, согласованной с национальной шкалой времени UTC(SU) с высокой точностью. В статье содержатся сведения о назначении, составе, принципах функционирования комплекса. Приводятся данные исследований метрологических характеристик комплекса и его составных частей, полученные на этапе опытной эксплуатации.

The new reference complex time and frequency has been developed. The complex is designed for the formation time scale compatible with the national time scale UTC(SU) with high precision. The paper contains information about the appointment, composition, principles of operation of the complex and main metrological performance tests data.

Ключевые слова: Эталонный комплекс, шкала времени UTC(SU), характеристики

В ходе выполнения мероприятий по развитию комплекса средств фундаментального обеспечения системы ГЛОНАСС в 2016 году создан опытный образец эталонного комплекса времени и частоты (ЭКВЧ), размещенный в ГМЦ ГСВЧ. ЭКВЧ разрабатывался в рамках ОКР «Шкалы» предприятиями ФГУП «ВНИИФИРИ» и ЗАО «Время-Ч» с целью обеспечения согласования национальной шкалы времени UTC(SU) со шкалой всемирного координированного времени UTC. На последующих этапах выполнения ОКР «Шкалы» аналогичными эталонными комплексами планируется оснащение вторичных эталонов единиц времени и частоты ГСВЧ.

ЭКВЧ предназначен для хранения единиц времени и частоты, формирования и хранения шкалы времени комплекса с пределами допускаемого смещения ±10 нс относительно национальной шкалы времени UTC(SU). При этом отклонение формируемой шкалы комплекса (сигнала 1 Гц) относительно расчетной шкалы времени комплекса не должно превышать ±1 нс в реальном масштабе времени.

Рис. 1. Внешний вид базового комплекса времени и частоты

Основу ЭКВЧ составляет базовый комплекс времени и частоты (БКВЧ), разработанный предприятием ЗАО «Время-Ч» (рис.1). В состав БКВЧ входят 4 активных стандарта частоты и времени водородных (СЧВВ) нового поколения и аппаратно–программный комплекс внутренних сличений, включающий устройство сличений частот сигналов (УСЧС) и устройство сличений шкал времени (УСШВ). Для снижения влияния температуры и влажности окружающей среды на электронные компоненты СЧВВ и УСЧС размещены в специализированных термокамерах, обеспечивающих постоянство температуры воздуха внутри камеры в пределах ±0,1 ºС в заданном диапазоне температур. При этом СЧВВ, установленный в термокамере, получил статус хранителя единиц времени и частоты (рис.2).

а) б) в)

Рис. 2. Внешний вид хранителя единиц времени и частоты (а), устройства сличения частот сигналов (б) и устройства сличений шкал времени (в) БКВЧ

В состав эталонного комплекса времени и частоты также входят (рис 3 – 5):

- комплекс формирования шкалы времени (КФШВ);
- комплекс сравнений шкал времени, включающий средства сравнений шкал времени по сигналам ГНСС (КСШВ ГНСС) и с использованием двухсторонней передачи сигналов времени и частоты через спутники (КДСШВ), а также перевозимые квантовые часы водородные (ПКЧ) активного типа;
- комплекс управления (КУ) ЭКВЧ;
- комплекс информационного обмена (КИО).

а) б) в)

Рис. 3. Внешний вид комплекса формирования шкалы времени (а), комплекса сравнений шкал времени по сигналам ГНСС (б) и комплекса дуплексных сравнений шкал времени (в) ЭКВЧ

а) б) в)

Рис. 4. Внешний вид перевозимых квантовых часов (а), комплекса информационного обмена (б) и комплекса управления (в) ЭКВЧ

Рис. 5. Внешний вид антенной площадки комплекса ЭКВЧ

Функционирование комплекса осуществляется с помощью специальных программных средств, которые обеспечивают управление процессами измерений, сбора, хранения, обработки и выдачи измерительной информации. Технические средства комплекса объединены в единую локальную сеть. Все измерения синхронизированы во времени по протоколу NTP.

При разработке ЭКВЧ для обеспечения требуемой надежности в комплексе был реализован принцип дублирования основных функций изделия: выполнения измерений, расчета и формирования шкалы времени, сравнений шкал времени, хранения и обмена данными.

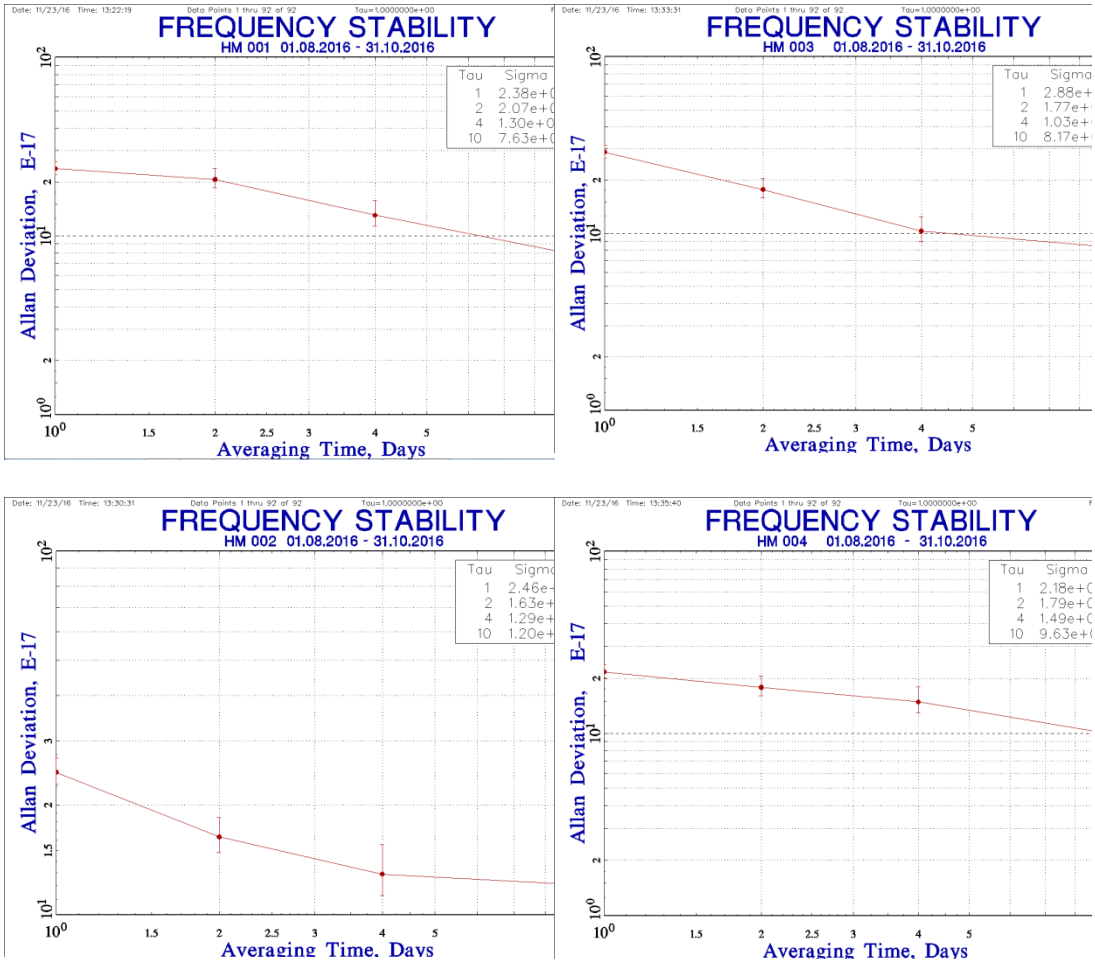

Рис.6. Характеристики нестабильности частоты СЧВВ №№ 1 – 4

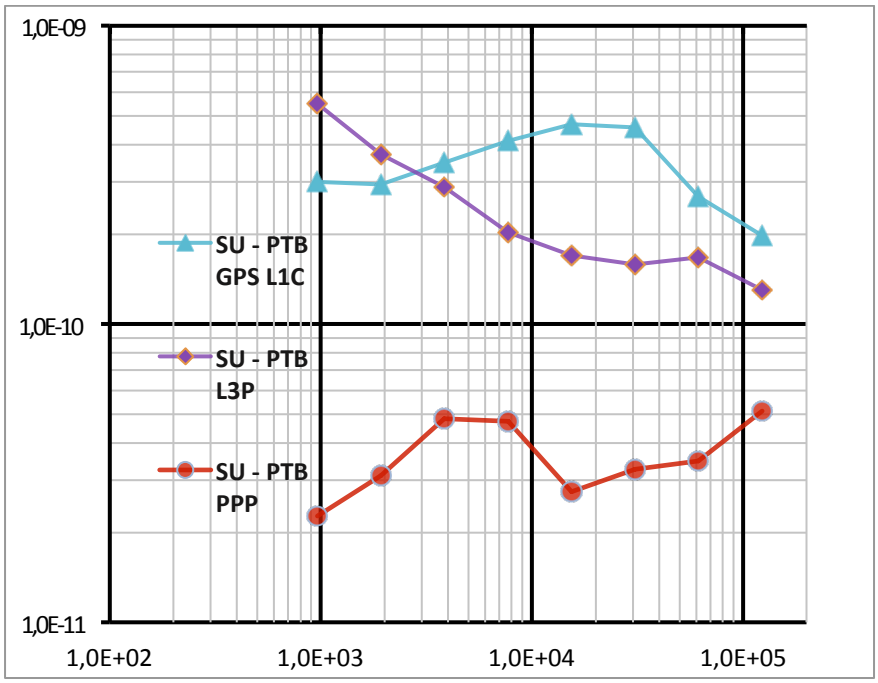

Рис. 7. Характеристики TDEV (с) сравнений шкал времени UTC(SU) и UTC(PTB) по различным сигналам с помощью комплекса КСШВ ГНСС ЭКВЧ

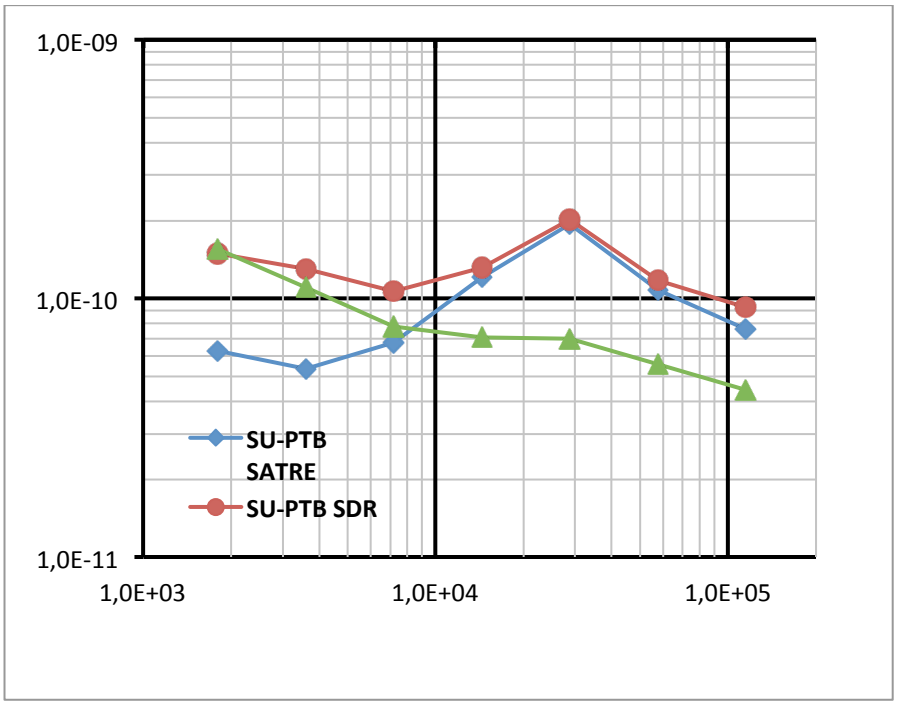

Рис. 8. Характеристики TDEV (с) сравнений шкал времени UTC(SU) и UTC(PTB) с помощью комплекса КДСШВ ЭКВЧ

На рисунках 6 – 8 представлены результаты оценок основных метрологических характеристик опытного образца ЭКВЧ, полученные в ходе его метрологических исследований и испытаний .

На этапе опытной эксплуатации опытного образца ЭКВЧ в 2017 году были также подтверждены следующие метрологические характеристики:

- нестабильность частоты СЧВВ при интервале времени измерения 1 сутки не превышает $3{,}0 \cdot 10^{-16}$;
- погрешность сравнения шкалы времени ЭКВЧ и национальной шкалы времени не превышает ±2,0 нс;
- погрешность измерений нестабильности частоты (среднее квадратическое относительное двухвыборочное отклонение), вносимая аппаратурой внутренних сличений, не более $1{,}0 \cdot 10^{-16}$ при интервале времени измерения 1 сутки.

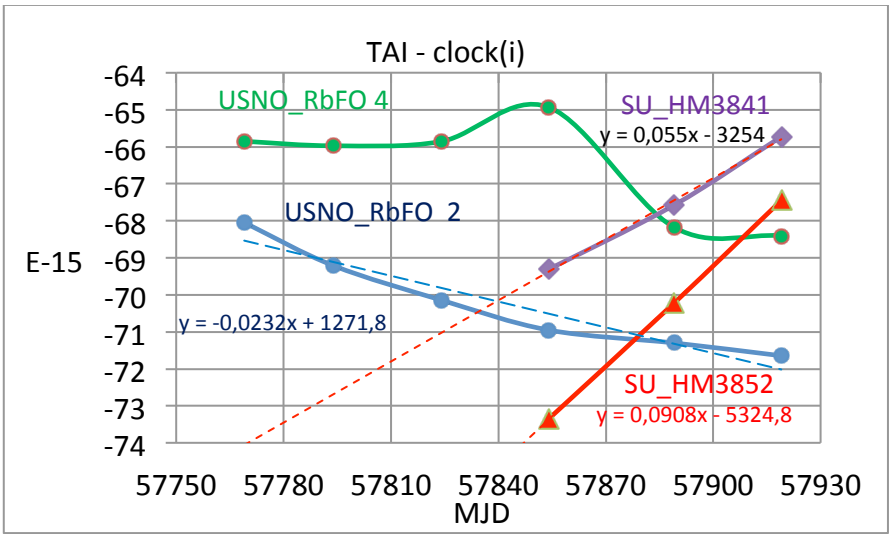

Рис. 9. Относительные среднемесячные значения разности частот [TAI – clock(i)] СЧВВ №1 и №2 ЭКВЧ рубидиевых стандартов частоты «фонтанного» типа №2 и №4 USNO в 2017 году

В апреле 2017 года 4 водородных стандарта ЭКВЧ были введены в состав группового хранителя ГЭВЧ и с этого момента данные публикуются в отчетах BIPM. На рисунке 9 представлены соответствующие графики среднемесячных значений разности частот [TAI – clock(i)] для СЧВВ №1, №2 ЭКВЧ и для рубидиевых стандартов частоты «фонтанного» типа USNO №2, №4 за 2017 год. Несмотря на имеющийся дрейф частоты, СЧВВ показывают хорошую стабильность и прогнозируемость частоты даже по сравнению с рубидиевыми стандартами частоты «фонтанного» типа, которые имеют нестабильность частоты на уровне единиц шестнадцатого знака при времени измерений более месяца (рис. 10).

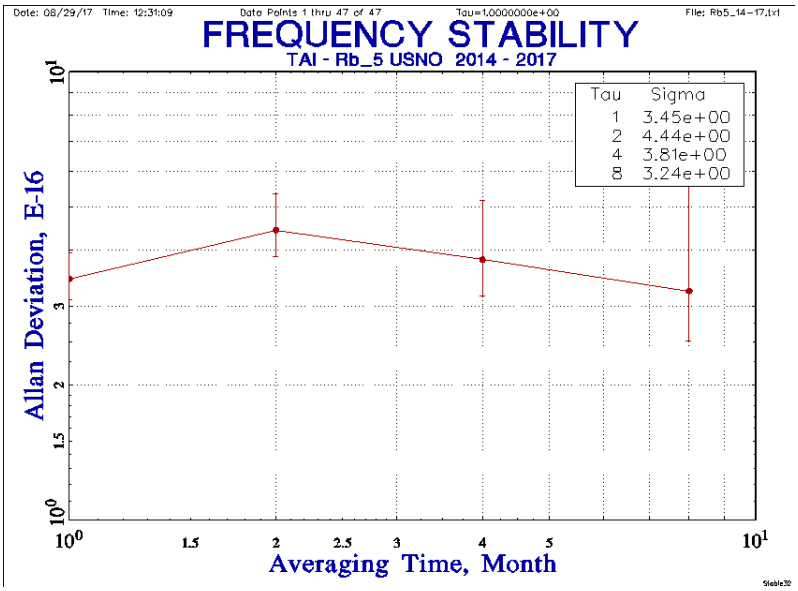

Рис. 10. Характеристики нестабильности частоты рубидиевого стандарта частоты «фонтанного» типа №5 USNO по данным BIPM за период с 2014 – 2017 гг.

Таким образом, полученные оценки показывают, что ЭКВЧ имеет уникальные характеристики, которые соответствуют современному мировому уровню, а по некоторым - не имеет аналогов.