

УДК: 621.372.2

ВТОРИЧНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦ ВРЕМЕНИ И ЧАСТОТЫ КАК ИСТОЧНИК СИГНАЛОВ СИНХРОНИЗАЦИИ И ВРЕМЕНИ

О.Н. Величко, директор научно-производственного института ГП «Укрметрестандарт», д.т.н.; Velychko@hotmail.com

М.В. Головня, заместитель начальника научно-исследовательского отдела ГП «Укрметрестандарт»; mgol@ukr.net

Ключевые слова: шкала времени, сигналы синхронизации, сервер времени, вторичный эталон единиц времени и частоты, эталонные сигналы.

Введение. В современных условиях информационную основу общества все больше составляют сети передачи данных с коммутацией пакетов. С возрастанием требований к точности передачи шкалы времени вопрос о ее синхронизации с использованием самих сетей становится все более актуальным. Поэтому новые технические решения, позволяющие синхронизировать шкалу времени в пределах сетей с коммутацией пакетов, вызывают закономерный интерес как специалистов электросвязи, так и метрологов в области времени и частоты. Одним из наиболее перспективных решений в данной области можно назвать использование протокола прецизионного времени (PTP – Precision Time Protocol), определенного в международном стандарте IEEE 1588-2008.

Если ход местных часов должен быть согласован с номинальной шкалой времени от удаленного источника, то следует предусмотреть средства регу-

лярных поправок времени и подстроек частоты местных часов. Синхронизировать частоту – значит подстраивать частоту генератора так, чтобы она была одинаковой для всех часов; синхронизировать время – согласовывать показания часов в определенные эпохи с номинальной шкалой времени (как правило, UTC); синхронизировать часы – синхронизировать и частоту, и время [1].

Системой синхронизации единого и точного времени называется комплекс технических средств, обеспечивающих периодическую передачу цифровой информации о текущем времени от эталонного источника ко всем сетевым элементам с целью синхронизации их внутренних часов. В частности, временная синхронизация важна для цифрового оборудования современных сетей электросвязи, в котором происходит обработка различных данных в режиме реального времени и должно обеспечиваться одновременное выполнение определенных внутренних технологических процессов.

Наиболее распространенным стандартным решением для передачи шкалы времени по сетям с пакетной

коммутацией является использование известного протокола NTP. Так называемый «клиент» (компьютер, сервер, коммутационная система) – потребитель сигналов времени (СВ) посылает пакет с запросом о времени серверу. Сервер времени возвращает клиенту пакет, добавляя в него точное текущее время и служебную информацию. Программное обеспечение клиента обрабатывает данные пакета и корректирует локальное время внутренних часов.

Цель применения протокола NTP – обеспечение максимально возможной точности и надежности передачи СД по сети, несмотря на значительный разброс задержек при прохождении через большое число промежуточных сетевых элементов маршрутизаторов, серверов и т. д.

Принципиальными проблемами синхронизации времени являются учет сетевого ожидания и времени обработки пакетов, а также серверы с неточной установкой времени.

В дополнение к протоколу NTP уверенно идет протокол PTP, утвержденный в стандарте «IEEE 1588. Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement

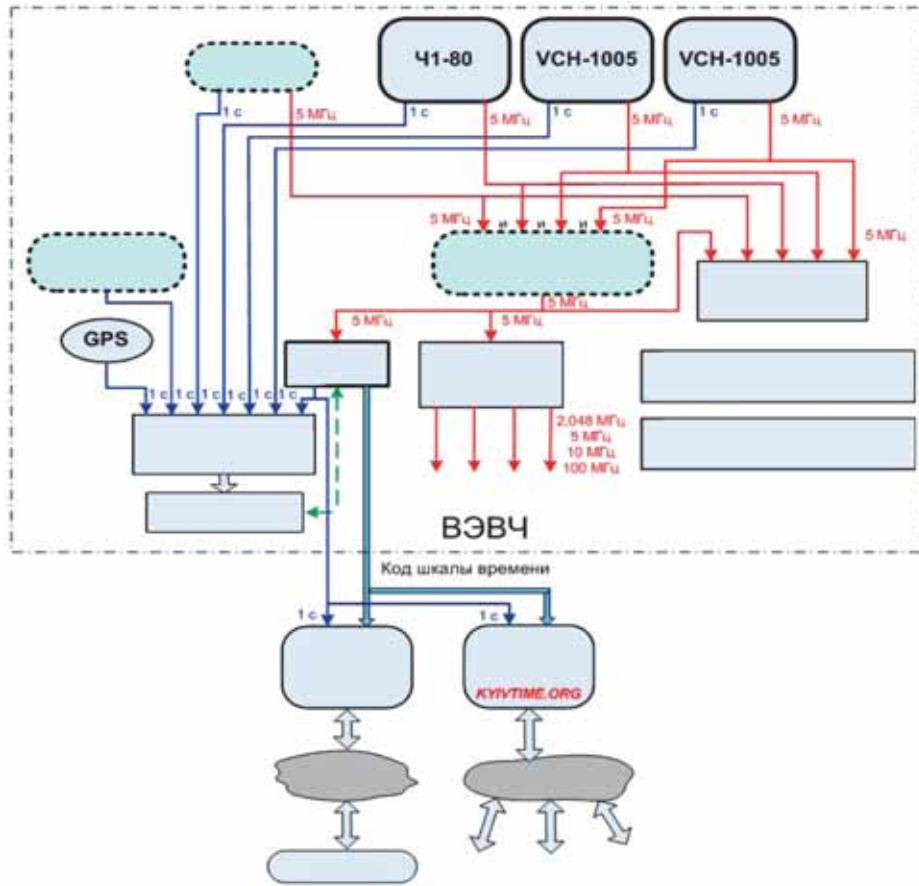


Рис. 1

and Control Systems, ver.2». Его версия в большей мере адаптирована под задачи телекоммуникационных сетей [2]. Точность работы протокола РТР достаточно сильно зависит от топологии цифровой сети. Наибольшую точность обеспечивают соединения точка – точка.

Дополнительные функции эталона единиц времени и частоты по передаче эталонных СВ и частоты. В 1973 г. для воспроизведения, хранения и передачи размеров единиц времени и частоты от Государственного первичного эталона единиц времени и частоты (ГПЭВЧ) потребителям в ГП «Укрметрестандарт» был создан рабочий эталон. С усовершенствованием и улучшением метрологических характеристик рабочий эталон в соответствии с Государственной поверочной схемой [3] был

изменен на вторичный эталон единиц времени и частоты (ВЭВЧ) [4].

В результате проведенных модернизаций (1987, 1992, 2009 гг.) в состав ВЭВЧ вводились квантовые водородные стандарты времени и частоты (комплекс Ч0-101, эталонная мера времени и частоты Ч1-80, активные стандарты частоты VCH-1005). Одновременно модернизировалась и аппаратура сверки ВЭВЧ: от радио- и телеканала до аппаратуры спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/НАВСТАР и радиометеорологического канала.

В 2011 г. на заседании Государственной комиссии единого времени и эталонных частот Украины (ГКЕВЧ) было принято решение о включении ВЭВЧ в состав Государственной службы единого времени и эталонных частот Украины (ГСЕВЧ). Согласно этому решению,

на ГП «Укрметрестандарт» возложена функция обеспечения передачи СВ и частоты от ГПЭВЧ к пользователям. В соответствии с Законом Украины «О метрологии и метрологической деятельности» Комиссия выполняет межрегиональную и межотраслевую координацию и осуществляет работы, направленные на обеспечение единства измерений времени и частоты и определения параметров вращения Земли [5].

Учитывая эволюцию сетей связи, появление новых задач частотно-временного обеспечения, а также выполнение работ ГСЕВЧ, направленных на обеспечение единства измерений времени и частоты, ГП «Укрметрестандарт» приступило к работам по созданию на базе ВЭВЧ высокоточного и высокостабильного источника сигналов синхронизации времени и частоты и сигналов синхронизации с национальной шкалой времени для потребителей всех уровней точности (рис. 1). Эти работы были начаты не только с модернизации штатного оборудования и программного обеспечения, но и с приобретения нового оборудования для формирования и передачи сигналов цифровыми каналами связи.

Основу ВЭВЧ ГП «Укрметрестандарт» составляют три непрерывно работающих три водородных генератора (один Ч1-80 и два VCH-1005), которые образуют групповую меру времени и частоты [6]. Аппаратура воспроизведения и хранения единиц времени и частоты ВЭВЧ показана на рис. 2.

Согласно Сертификату калибровки ННЦ «Институт метрологии» (Харьков), суммарная относительная неопределенность по частоте ВЭВЧ, выраженная относительным средним квадратичным отклонением (СКО) результатов измерений при его сравнении с ГПЭВЧ, равна $6,6 \cdot 10^{-14}$, а расхождение шкалы координированного времени UTC(UC) ВЭВЧ и UTC(UA) ГПЭВЧ (не более 0,3 мкс) с расширенной неопределенностью измерений при сравнении шкалы времени UTC(UC) ВЭВЧ со шкалой времени UTC(UA) ГПЭВЧ составляет 24 нс.



Рис. 2

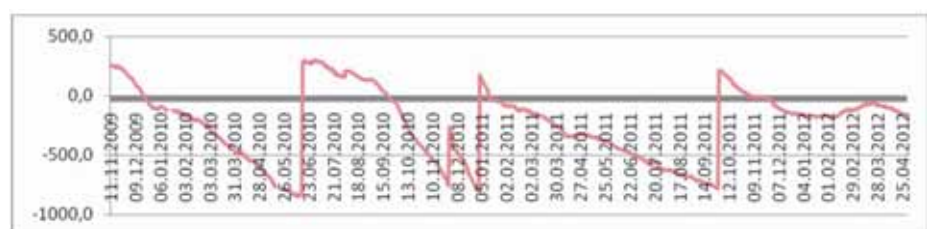


Рис. 3



Рис. 4

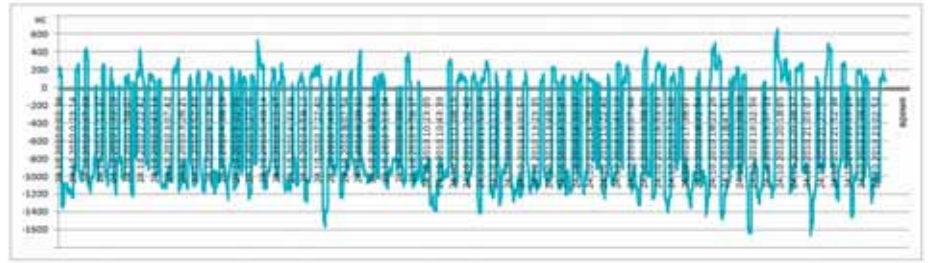


Рис. 5

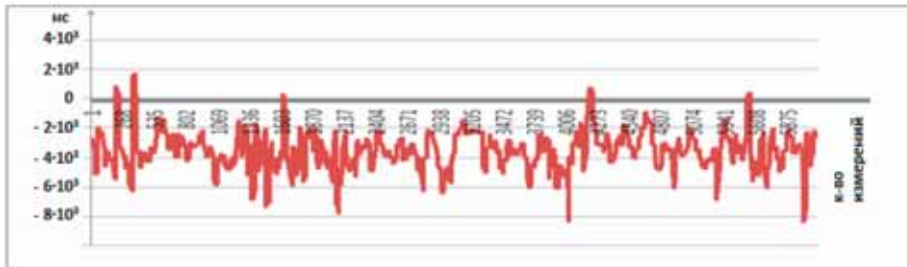


Рис. 6

В соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений времени и частоты [3] ВЭВЧ получает единицу времени от Государственного первичного эталона единицы времени и частоты (ГПЭВЧ) Украины, который хранится в ННЦ «Институт метрологии». Поэтому шкала времени ВЭВЧ сравнивается со шкалой времени ГПЭВЧ. Для внешних сличений используются сигналы спутниковых радионавигационных систем GPS/ГЛОНАСС. Во время аттестации ВЭВЧ допустимые границы расхождения его шкалы времени со шкалой времени ГПЭВЧ составляли не более ± 1 мкс.

На рис. 3 продемонстрировано расхождение шкалы времени UTC (UC), воспроизводимой ВЭВЧ ГП «Укрметртестстандарт», и шкалы времени UTC (UA), воспроизводимой ГПЭВЧ. Расхождения шкал были вызваны неточной установкой частоты новых водородных генераторов, вносивших вклад в групповую частоту ВЭВЧ. В результате исследований метрологические ха-

рактеристики генераторов уточнялись и шкалы корректировались. С учетом коррекций расхождение не превышает паспортное значение ВЭВЧ ± 1 мкс.

Для передачи СВ национальной шкалы (киевское время) по сети Интернет был создан сервер времени (рис. 4), который работает по протоколу NTP и имеет адрес kyivtime.org. По этому же адресу находятся и статистические данные контроля сигналов времени NTP-серверов по отношению к kyivtime.org, с которыми может ознакомиться каждый желающий.

Тестирование РТР оборудования совместно с ВЭВЧ ГП «Укрметртестстандарт». Согласно [7], с целью проверки возможности использования протокола РТР для восстановления тактовой частоты были проведены линейные испытания РТР оборудования «Мастер» и «Клиент» на сети Intranet в транспортной среде IP/MPLS/Ethernet двух операторов мобильной связи Украины.

В ГП «Укрметртестстандарт» с помощью того же протокола были про-

ведены экспериментальные исследования качества передачи сигналов для синхронизации времени часов. Для тестирования с сентября 2010 г. по февраль 2011 г. использовались два канала ведомственной сети ОАО «Укртелеком». Согласовывались сигналы с помощью кабельного модема фирмы WATSON и конверторов интерфейса ETH/E1 фирмы DYNAMIX.

Обобщенная схема тестирования по этапам. 1. РТР оборудование размещалось в ГП «Укрметртестстандарт» на ВЭВЧ. Точность воспроизведения шкалы времени «Клиентом» составила $\pm 1,5$ мкс (заложено в оборудовании).

2. Сигнал распространялся по кольцу «малой дальности»: ГП «Укрметртестстандарт» (ВЭВЧ) – ОАО «Укртелеком» (узел связи «Святошино») – ГП «Укрметртестстандарт» (ВЭВЧ). Скорости передачи – 64, 216 и 512 кбит/с; 1; 2 и 4 Мбит/с; расстояние между объектами – около 32 км; точность воспроизведения шкалы «Клиентом» – не хуже 10 мкс на скоростях 512 кбит/с; 1, 2 и 4 Мбит/с. Точность ухудшалась до 100 мкс на скорости 216 кбит/с и 1 мс на скорости 64 кбит/с.

3. Сигнал распространялся по кольцу «большой дальности»: ГП «Укрметртестстандарт» (ВЭВЧ, Киев) – ННЦ «Институт метрологии» (ГПЭВЧ, Харьков) – ГП «Укрметртестстандарт» (ВЭВЧ, Киев). Расстояние – порядка 810 км; скорость передачи – 2 Мбит/с; точность воспроизведения шкалы «Клиентом» – не хуже 10 мкс.

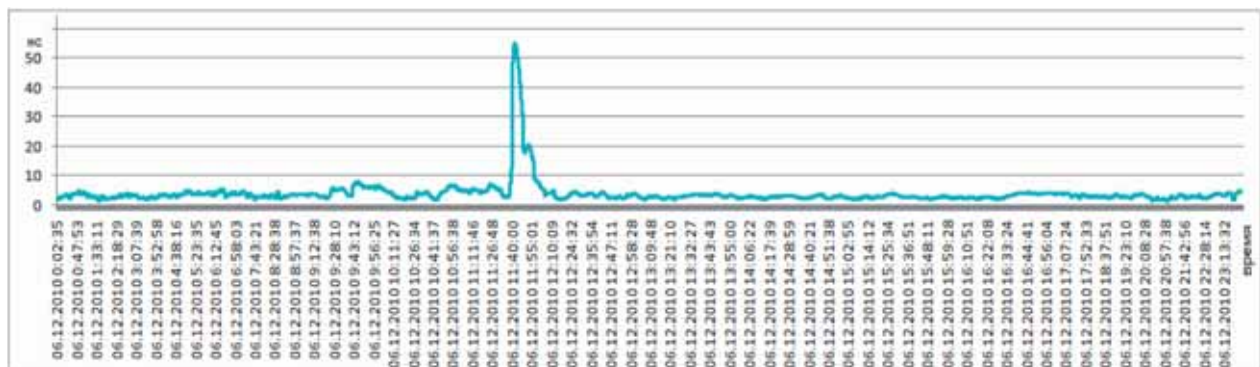


Рис. 7

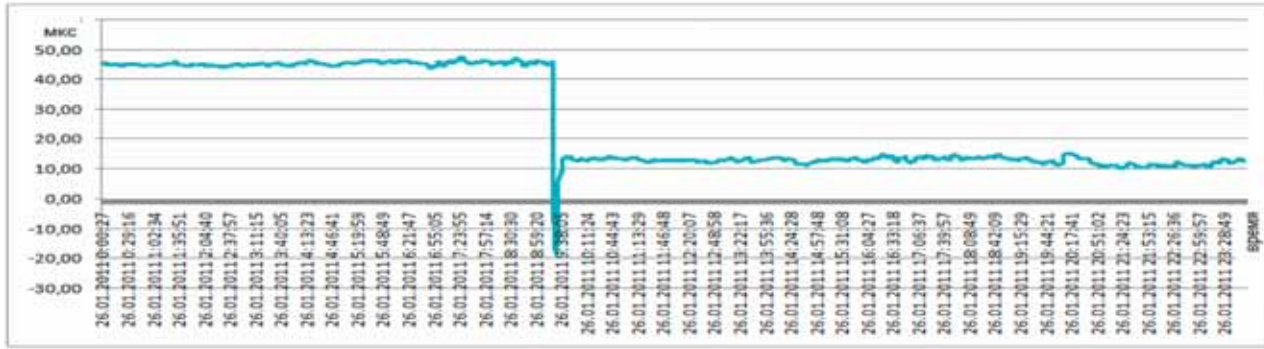


Рис. 8

Расстояние между объектами более 400 км	Скорости передачи		
	512 кбит/с	1 Мбит/с	2 Мбит/с
Постоянная составляющая, мкс	5,582	3,951	3,504
Случайная составляющая, мкс	0,976	0,679	0,267

Таким образом, проведено тестирование комплекса оборудования («Мастер» и «Клиент») в местной сети до 32 км (ГП «Укрметрестстандарт») и в сети длиной до 810 км по территории Украины (выделенные каналы корпоративной сети ОАО «Укртелеком»). Полученная точность передачи СВ в локальной сети в пределе 1 мкс (ограничивается характеристиками самого оборудования), а на расстоянии 810 км – до 10 мкс [8].

На рис. 5 представлен результат измерений во время тестирования оборудования передачи СВ по протоколу прецизионного времени в местной сети ГП «Укрметрестстандарт». Измерения проводились 30 раз в минуту каждые 5 мин. Постоянная составляющая на суточном интервале измерения – минус 588,6 нс; СКО – 591,2 нс.

На рис. 6 приведен результат измерений во время тестирования на выделенной местной линии ОАО «Укртелеком» в Киеве. Длина местной линии – 32 км. Измерения проводились 30 раз в минуту каждые 5 мин. Постоянная составляющая результатов измерений на протяжении 18 ч – минус 3,5 мкс; СКВ – 1,3 мкс.

На рис. 7 показан результат измерений во время тестирования на выделенной линии по кольцу «большой дальности» со сменой скоростей с 1 на 2 Мбит/с. На графике видно изменение скорости, сопровождающиеся потерей синхронизации в виде выброса.

На последнем этапе тестирования оборудование «Мастер» было установлено на ГПЭВЧ в Харькове, оборудование «Клиент» осталось на ВЭВЧ в Киеве. Процесс синхронизации шкал времени «Мастер» и «Клиент» осуществлялся на расстоянии более 400 км.

Тестирование проводилось на разных скоростях передачи по каналам E1 и Ethernet. Передавались 1 пакет и 64 пакета в секунду. На рис. 8 в графическом виде представлен результат измерений во время тестирования по каналу E1. Постоянная составляющая результатов измерения по каналу E1 на скорости 1 пакет/с составила 45 471 нс, СКО – 12 224 нс, а на скорости 64 пакета/с – 12 772 нс, СКО – 1031 нс.

Во всех случаях постоянная составляющая задержки может быть убрана программно-аппаратным способом до уровня флуктуаций в сети.

Зависимость результатов измерений от скорости передачи в канале на 1-часовых интервалах времени для расстояния более 400 км представлена в таблице.

Также было проведено тестирование совместимости RTP оборудования ГП «Укрметрестстандарт» с оборудованием других производителей на возможность использования Интернета как среды передачи сигналов по протоколу RTP. В обоих случаях получен положительный результат.

Работы проводились с целью внедрения дистанционно в метрологическую практику: синхронизацию частот (синтонизацию) генераторов, PRC; синхронизацию шкал времени стандартов частоты и времени; синхронизацию часов.

Выводы. 1. Результаты испытаний модернизированного оборудования ВЭВЧ ГП «Укрметрестстандарт» подтверждают его возможности как высокоточного и высокостабильного источника сигналов синхронизации времени и частоты.

2. Учитывая результаты исследований протокола RTP для передачи СВ

и восстановления тактовой частоты, ВЭВЧ ГП «Укрметрестстандарт» может с высокой точностью передавать сигналы для синхронизации часов в национальной шкале времени не только для потребителей СВ, но и оказать содействие операторам связи в решении задач частотно-временного обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савчук А.В., Шапошников В.Н., Черняк И.П. Теоретические основы синхронизации текущего времени в телекоммуникациях // Зв'язок. – 2007. – № 3. – С. 1–5.
2. Бирюков Н.Л., Триска Н.Р. Краткий обзор работ и анализ тенденций в области частотно-временного обеспечения сетей связи // Материалы 11-й междунар. научно-практ. конф. «Эволюция транспортных сетей. Сети будущего: проблемы синхронизации и распределения времени». – Украина, Ивано-Франковск, 23–25 мая 2012 г. – С. 5–14.
3. ДСТУ 3538:2009. Государственная поверочная схема для средств измерения времени и частоты.
4. www.ukrcsm.kiev.ua
5. Закон Украины «О метрологии и метрологической деятельности» (в редакции от 15.06.2004 г. №1765-IV).
6. Головня М., Величко О. Модернизаций Вторинний эталон одиниць часу та частоти, який зберігається в ДП «Укрметрестстандарт» // Метрологія та прилади. – 2010. – № 6. – С. 7–10.
7. Гайдаманчук В.А., Савчук А.В. Восстановление тактовой частоты по протоколу сличения времени на перевалочной транспортной сети мобильной связи // Зв'язок. – 2011. – №1. – С. 23–28.
8. Мухаровский М.Я., Головня М.В., Нижник А.Д. и др. Передача времени по каналам электросвязи с использованием протокола прецизионного времени // IEEE 1588, Vol.2. – Системи обробки інформації. – 2011. – Вип. 6 (96). – С. 175–180.