

ПУТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРЕЦИЗИОННОЙ ШКАЛЫ ВРЕМЕНИ НАЦИОНАЛЬНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

DOI: 10.36724/2072-8735-2020-14-2-17-24

Рыжков Анатолий Васильевич,
МТУСИ, Москва, Россия, ryzhkov.anatoly@yandex.ru

Шварц Михаил Львович,
МТУСИ, Москва, Россия, mschwartz@smsync.ru

Ключевые слова: шкала времени, сетевая синхронизация, сетевые протоколы времени NTP, PTP и SIRF, методы сличения и распределения шкал времени, магистральная и мобильная сети связи, когерентная сеть.

В последние два десятилетия в мировой практике большое внимание уделяется распределению сигналов единого и точного времени (ЕТВ) от государственных (национальных) эталонов частоты и времени по волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС) в качестве основной среды доставки сигналов ЕТВ с дополнением сигналами спутниковых радионавигационных систем (СРНС). Обобщен опыт сличения и воспроизведения шкалы времени (ШВ) ведущих часов сетей электросвязи с государственной ШВ UTC(SU), как через систему ГЛОНАСС/GPS, так и через среду ВОЛС с непосредственным подключением к эталонам Государственной (национальной) службы времени и частоты (ГСВЧ).

Рассмотрены два основных направления уменьшения погрешности воспроизведения и хранения единиц частоты и времени у потребителя:

- создание новых технических средств (стандартов частоты и времени и аппаратуры внешних сличений);
- внедрение прецизионной среды распространения и аппаратуры сличений ведомых часов.

Проведен анализ совершенствования опорных источников частоты и времени, применяемых на сетях связи, по материалам Рекомендаций МСЭ-Т серий G.81xx и G.82xx. Приведены точностные характеристики. Оценены возможности ВОЛС по доставке и распределению сигналов ЕТВ, сделан однозначный вывод о приоритетности их использования там, где это только возможно. Представлены многоуровневая система распределения и доставки сигналов ЕТВ потребителю по ВОЛС, облик современного (перспективного) первичного эталона частоты и времени (ПЭВЧ) и структурная схема частотно-временного обеспечения сети связи общего пользования для создания когерентной системы ЕТВ.

Информация об авторах:

Рыжков Анатолий Васильевич, г.н.с., д.т.н., профессор, МТУСИ, Москва, Россия

Шварц Михаил Львович, начальник отдела, к.т.н., МТУСИ, Москва, Россия

Для цитирования:

Рыжков А.В., Шварц М.Л. Пути формирования прецизионной шкалы времени национальной сети связи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Том 14. №2. С. 17-24.

For citation:

Ryzhkov A.V., Schwartz M.L. (2020) Ways of forming a precision time scale of the national communication network. T-Comm, vol. 14, no.2, pp. 17-24. (in Russian)

Введение

В настоящее время промышленность, транспорт, оборона, наука, телекоммуникации, наземная и космическая навигация ориентированы преимущественно на использование сигналов единого точного времени (ЕТВ), передаваемых спутниковыми радионавигационными системами (СРНС). Однако, из-за отсутствия альтернативных решений по доставке сигналов ЕТВ, возможные преднамеренные/непреднамеренные воздействия (физические или электромагнитные, включая чрезмерную активность Солнца) на СРНС могут привести к катастрофическим последствиям в части обороны и безопасности страны. Важность наличия прецизионной шкалы времени (ШВ) в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП) подтвердим примером. Беспилотный космический корабль Boeing CST-100 Starliner, как заявил глава NASA Джим Брайденстайн в Twitter, не выполнил задачу стыковки с МКС 21 декабря 2019 г. и вернулся на Землю из-за нештатной ситуации на борту, вызванной сбоем в системе подсчета полетного времени, израсходовав при этом больше топлива, чем предполагалось. Из-за сбоя в диагностике функциональных отказов – неточных или неправильно принятых меток времени теряется хронологическая достоверность телеметрической информации, нарушается последовательность выполнения программ в пространственно разнесенных сетевых элементах, возможно пропадание архивных данных и нарушение безопасности доступа к ресурсам сети.

В последние два десятилетия в мировой практике большое внимание уделяется распределению сигналов ЕТВ от государственных (национальных) эталонов частоты и времени по волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС) в качестве основной среды не отрицая использование сигналов СРНС [1]. Например, на 42-й международной встрече по системам и приложениям точного времени (Precise time and time interval (PTTI)), прошедшей в США, штат Вирджиния 15-18 ноября 2010 г., сформулирована задача достижения к 2030 г. в глобальных сетях связи точности ШВ на уровне десятков наносекунд. Попытаемся доказать реальность достижения таких точностей на примере использования ВОЛС в качестве системы распределения и доставки сигналов ЕТВ.

Пути уменьшения погрешности воспроизведения и хранения единиц частоты и времени у потребителя.

Уменьшение погрешности воспроизведения и хранения единиц частоты и времени у потребителя в мировой и отечественной практике идет по двум основным направлениям.

Первое из них связано с совершенствованием и созданием новых технических средств (стандартов частоты и времени и аппаратуры внешних сличений), находящихся в компетенции национальных служб времени и частоты того или иного государства. Например, национальный институт по стандартам и технологиям США (NIST) официально запустил атомные часы NIST-F2 (2014 г.), которые являются самым точным гражданским стандартом времени и частоты. Часы NIST-F2 обеспечивают втрое лучшую точность по сравнению с часами NIST-F1, работающими с 1999 г., обеспечивающими относительную точность воспроизведения единицы времени – секунды – порядка $3 \cdot 10^{-16}$ (уход часов составляет 1 секунду за 70 миллионов лет). Погрешность измерения в NIST-F2 не превышает 1 секунды за 300 мил-

лионов лет. Государственный первичный эталон единицы времени, частоты и национальной ШВ России (ГЭТ 1-2018) обеспечивает точность порядка $3 \cdot 10^{-16}$ и соответствует лучшим зарубежным аналогам. Системы СРНС, связи и даже системы электроснабжения (стандарт МЭК 61850) полагаются именно на атомные часы. По словам ученых из этой области знаний даже небольшое улучшение в работе подобных приборов ведет к появлению новых технологий.

Наблюдается аналогичное улучшение характеристик первичных опорных источников частоты и времени, используемых в сетях электросвязи, вызванное ростом скоростей передачи информации, обеспечением достоверности информации, минимизацией задержек в сетях связи, определяющих качество связи, разнообразием предоставляемых услуг и различных приложений.

На первом этапе развития ВОЛС требования к стабильности частоты были определены в Рекомендациях Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) серии G.8xx. В частности, в G.811 (редакция от 09/1999) сформулированы требования к первичным эталонным источникам (ПЭИ) и к первичным эталонным генераторам (ПЭГ) сетей связи с коммутацией каналов, относительные точность и стабильность частоты которых должны быть не хуже $1 \cdot 10^{-11}$. Затем эти требования были ужесточены в G.811.1 (редакция от 08/2017) – не хуже $1 \cdot 10^{-12}$. Обычно ПЭГ представляет собой комплекс из трех эталонных источников частоты – 2 атомных стандарта (цезий или водород) и 1 приемник сигналов СРНС + вторичный задающий генератор (ВЗГ). При этом ПЭГ выдает в сеть только тактовую частоту.

В Рекомендации G.8272/Y.1367 (10/2012) определены характеристики синхронизации первичных эталонов частоты и времени (ПЭВЧ – Primary Reference Time and Clock – PRTC), предназначенных для временной синхронизации в сетях связи с коммутацией пакетов с использованием двухстороннего прецизионного сетевого протокола времени – РТР (Precision Time Protocol). Нормируемая **точность ШВ для ПЭВЧ ± 100 нс** за период активной эксплуатации. ПЭВЧ в качестве эталонов использует стандарты частоты (цезиевые или водородные) и синхронизатор ШВ по сигналам СРНС, а также ВЗГ в качестве формирователя эталонных синхросигналов частоты.

Для реализации высоких точностей формирования, передачи и подстройки ШВ использованием протокола РТР применяются быстродействующие программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) с тактовой частотой более 100 МГц, которые выступают в роли цифрового вычислительного синтезатора частот, основанного на цифровом накоплении и управлении начальной фазой.

В Рекомендации G.8272.1 (2016) определены характеристики усовершенствованного ПЭВЧ – уПЭВЧ (ePRTC), в составе которого также используется комбинация трех эталонов частоты, включая приемник СРНС и модуль комбайнера, формирующего высокоточную ШВ. Нормируемая **точность шкалы времени ± 30 нс**.

В разрабатываемой новой версии **Рекомендации G. 8275** (ожидаемое завершение в 2020 г.) речь идет о когерентной системе, на основе уПЭВЧ (cp-PRTC), получающих опорный сигнал ЕТВ непосредственно от эталонов ГСВЧ по протоколу РТР специального профиля – White Rabbit (проект стандарта IEEE 1588v3, 2019 г.). **Субнаносекундная точность синхро-**

синхронизации в этой версии сервера RTP достигается путём организации передачи и приёма данных в едином выделенном оптическом волокне, усовершенствованием самого протокола обмена между ведущими и ведомыми часами и калибровки всех элементов системы, а также получением сигналов ЕТВ от ГСВЧ. Для реализации когерентного режима работы уПЭВЧ между ними также организуются связи по протоколу RTP.

Для реализации когерентной системы также может использоваться специальная отечественная аппаратура передачи сигналов времени и частоты (АПСВЧ) с оптическим модемом (производитель ООО «АЛТО», Россия) по выделенным оптическим соединениям с непосредственным подключением к источникам ШВ ГСВЧ. Характеристики сп-РТС будут определяться характеристиками национальных государственных эталонов времени и частоты (ГЭВЧ), а также качеством оптических соединений через ВОЛС.

Второе направление повышения точности ШВ у потребителя связано с внедрением прецизионной аппаратуры сличений ведомых часов у потенциальных клиентов по ведущим часам, например, в России по часам ГСВЧ. Сигналы ЕТВ национальной шкалы РФ (UTC (SU)) распространяются различными средствами и методами, включая ВОЛС, радиостанции, телевидение, СНРС, телефонные линии и «возимые часы» (рисунок 1 по данным на начало нынешнего столетия). Потребитель получает сигналы ЕТВ с точностью, зависящей от погрешностей, вносимых средствами формирования, передачи, восстановления и методами распределения сигналов.

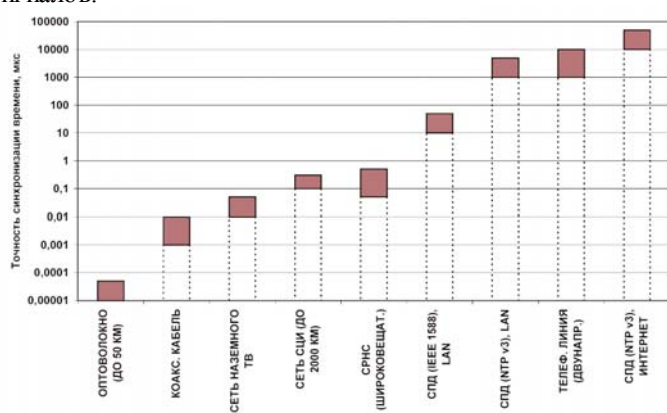


Рис. 1. Точность синхронизации времени в различных сетях

Для формирования прецизионной ШВ национальной сети связи безальтернативным вариантом является использование ВОЛС. Так, например, оператор связи ЗАО «Компания ТрансТелеКом» (ТТК), один из крупнейших операторов связи в России, завершил в 2017 г. процесс перевода всего международного магистрального трафика на сеть Long Haul DWDM. Ультрасовременная сеть ТТК обеспечивает безопасную передачу трафика на тысячи километров с малым количеством точек регенерации и минимальной задержкой сигнала, а, следовательно, с минимальными асимметрией и вариациями задержки передачи сигналов времени в прямом и обратном направлениях, открывающей возможность реализации когерентной сети. Под точкой регенерации трафика понимается узел сети, на котором происходит оптоэлектрическое преобразование каналов DWDM, т.е. превращение оптического сигнала в электрический сигнал и обратно.

На рисунке 2 представлено сравнение максимальной ошибки MRTIE и девиации TDEV временного интервала на трассе Новосибирск – Челябинск для трактов СЦИ и DWDM. Желтая кривая – СЦИ, моренго – DWDM, синяя – ограничительная Маска G.812, зеленая для частоты СНРС приемника относительно частоты системы ТСС тракта передачи, подверженного температуре окружающей среды (волоконно-оптический кабель на опорах контактной сети).

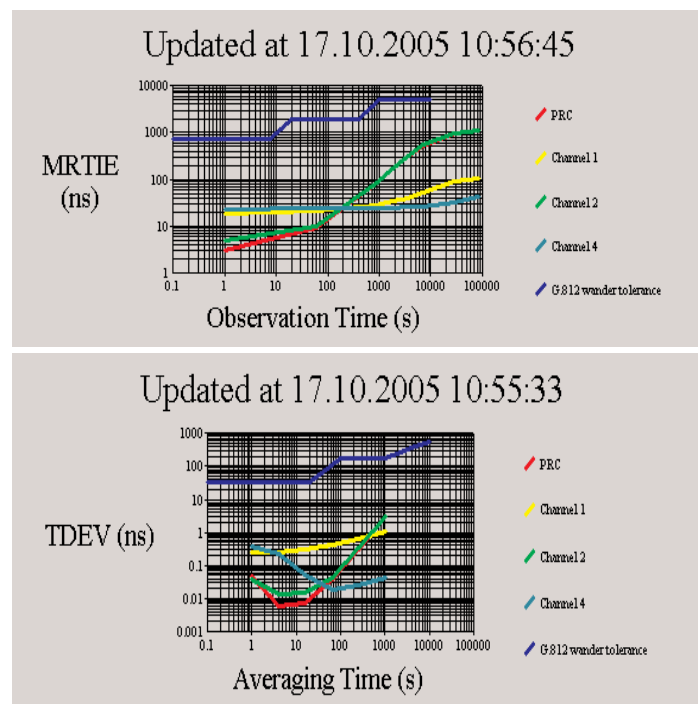


Рис. 2. Значения МОВИ и ДВИ в трактах СЦИ и DWDM на трассе Новосибирск – Челябинск

Технология Long Haul DWDM позволяет создавать участки безрегенераторной передачи в наземных сетях связи на расстояниях более 4000 км (это длина маршрута от Санкт-Петербурга до Новосибирска). При этом задержка сигнала на участке сети от Франкфурта до Гонконга составляет всего 153 мс.

В будущем, в рамках развития сети Long Haul DWDM планируется увеличить количество точек ввода-вывода трафика, что улучшит доступность сети не только для зарубежных клиентов, но и для внутрироссийских. Это позволит обеспечить доступ операторам сетей связи пятого поколения (5G) к магистральной сети связи.

Сети 5G особенно нуждаются не только в передаче больших объемов информации, но и в получении высокоточных сигналов синхронизации по частоте, фазе и времени. Например, военные эксперты предвидят (Центр исследования глобализации (Centre for Research on Globalization, Монреаль, Канада)), что система 5G будет играть важную роль в использовании гиперзвукового оружия – ракет, в том числе с ядерными боеголовками, которые движутся со скоростью с числом Маха выше 5 (в пять раз выше скорости звука). Чтобы направлять их по переменным траекториям, меняя направление за доли секунды для ухода от ракет-перехватчиков, необходимо собирать, обрабатывать и передавать огромные объемы данных в очень короткие сроки.

То же самое необходимо для активации защиты в случае нападения с использованием этого типа оружия. Поскольку времени для принятия таких решений недостаточно, то единственная возможность – полагаться на автоматические системы, связанные между собой через сети 5G, обеспечивающие высокоточную сетевую синхронизацию по частоте, фазе и времени. Локальные сети этого типа уже работают в США, Швейцарии, Китае и Южной Корее. Через пять лет до 20% мобильного трафика будет идти через 5G [https://www.rbc.ru/trends/industry/5db9815a9a79475ea95ea9d0].

Протоколы сличения времени

Протокол сетевого времени (Network Time Protocol – NTP) – протокол общего пользования. Несмотря на название, NTP – это не только и не столько протокол, это, скорее, комплексная технология систематического распространения времени от национальных стандартов по Интернету, по частным и корпоративным сетям. Технология оказалась всеобъемлющей, вездесущей и не зависящей от частных интересов. Она развивалась от NTPv1 до NTPv4, продолжает совершенствоваться и стала хрестоматийной [2]. Конечная цель NTP состоит в том, чтобы синхронизировать часы во всех охваченных компьютерах с точностью до нескольких миллисекунд по отношению к UTC. Результаты использования серверов NTP первого уровня (Stratum 1) ГСВЧ в интересах любого потребителя представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений по Методике с использованием серверов NTP первого уровня ГСВЧ

№ п/п	Город	Адрес в Интернете	Точка приема	Точность, мс
1	Москва (Менделеево)	ntp1.vniiftri.ru ntp2.vniiftri.ru ntp3.vniiftri.ru ntp4.vniiftri.ru	МГУСИ	2 – 3 Через Stratum 2 (ССВ-1Г) 5 – 6 мс
2	Иркутск	ntp1.vniiftri.irkutsk.ru ntp1.vniiftri.irkutsk.ru	МГУСИ	4 – 6
3	Хабаровск	ntp1.vniiftri.khv.ru ntp1.vniiftri.khv.ru	МГУСИ	5 – 8

Протокол прецизионного времени (Precision Time Protocol – PTP). PTP также прошёл несколько версий от PTPv1 (2005) [3] до PTPv3 (2020) [G. 8275] и имеет несколько профилей для различных областей техники – связи, энергетики, телевидения и т.п. Основная цель использования PTP – достижение прецизионной (субмикросекундной) синхронизации ШВ за счет высокой скорости обмена сообщениями и применения аппаратных часов. PTP протокол позволяет обеспечить не только высокую точность синхронизации ШВ (доли мкс), но и воспроизвести у пользователя сигнал стандартной частоты с высокой точностью.

Это особенно актуально для пакетных сетей, в том числе для сетей мобильной и сотовой связи (требуемая точность порядка 100 нс), не имеющих из-за пакетной передачи информации доступа к системе тактовой сетевой синхронизации (ГСС) магистральных сетей и в смешанных сетях с коммутацией каналов и пакетов.

Например, при работе в цепи PTP сервер – СПД на участке Москва – Новосибирск – Москва – PTP клиент (рис. 3)

точность воспроизведения частоты составила лучше $1 \cdot 10^{-12}$ за трое суток. При этом девиация фазы не превышала 800 нс. Это результаты эксперимента 2012 года с применением устаревшего оборудования PTPv2 с профилем настроек по рек. G.8265.1, связанного через СПД без поддержки протокола.

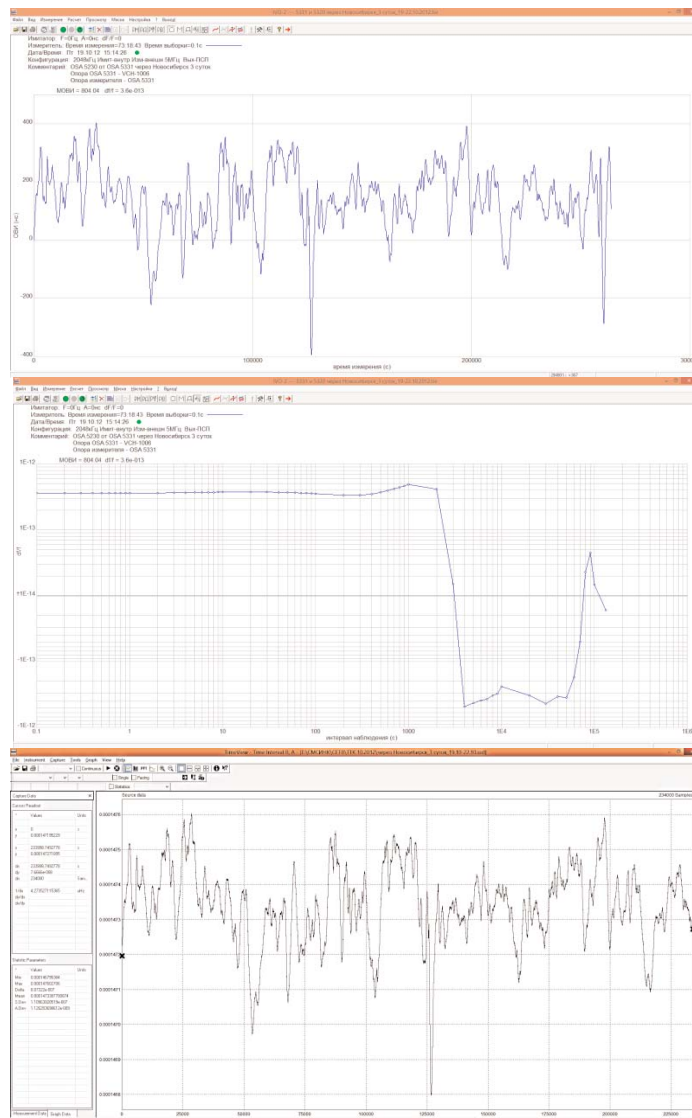


Рис. 3. Восстановление частоты и фазы: PTP сервер – СПД Москва – Новосибирск – Москва – PTP-клиент. Отклонения частоты – не более $1 \cdot 10^{-12}$, девиация фазы – не более 800 нс

Протокол реализован в ряде устройств многих производителей:

- **гроссмейстерские часы (Telecom Grandmaster, GM – Источник Сигналов Синхронизации (ИСС))** – основной источник данных о времени, оснащенный встроенным приемником сигналов СРНС. GM способны получать информацию о точном времени не только от системы СРНС, но и от эталонов ГСВЧ по протоколу PTP для резервирования (режим работы APTS - Assisted Partial Timing Support, т.е. возможность автоматического выбора источника ШВ для GM);
- **ведущие часы (Primary reference time clocks, PC)** – источник данных о времени, по которому синхронизируются другие часы в сети (сигналы приёмников СРНС, эталоны времени ГСВЧ).

– **ведомые часы (Telecom Slave Clock, TSC)** – конечное устройство с поддержкой протокола PTP, которое синхронизируется по протоколу PTP; получает информацию в формате протокола PTP от ведущего устройства PTP; формирует необходимые данные в различных форматах протоколов и сигналов времени для устройств пользователей.

– **прозрачные часы (Telecom Transparent Clock, TC)** – встроенное в коммутатор Ethernet устройство, которое измеряет время прохождения пакетов PTP через коммутатор и записывает измеренное значение в выходном пакете, что даёт возможность оконечным часам вычислить одностороннюю задержку пакета и учесть асимметрию времени передачи и приёма.

– **пограничные часы (Telecom Boundary Clock, BC)** – часы, оснащенные несколькими портами PTP и способные выступать ведомыми часами по отношению к вышестоящим источникам сигналов времени и ведущими по отношению к нижестоящим устройствам.

Оценка точности ШВ производится по параметру, называемому **ошибка времени (ОВ) (Time Error – TE)** фазы сигнала 1PPS (т.е. сигнала, обозначающего момент времени начала отсчёта новой секунды), который определяется точностью установки фазы в сравнении с эталонной ШВ (для РФ это UTC(SU)). На выходе оборудования ПЭВЧ и ИСС величина ОВ не должна превышать ± 100 нс согласно нормам рек. МСЭ-Т G.8272, а для модифицированных версий (уПЭВЧ и уИСС) – не более ± 30 нс по рек. МСЭ-Т G.8272.1.

Кроме того, версия PTP протокола White Rabbit (Белый Кролик) доказывает, что субнаносекундная точность достижима в Ethernet на базе ВОЛС с минимальным числом переприемов.

Протокол SIRF (Binary Protocol Specification)

При построении опорной сети ЕТВ может использоваться аппаратура распределения сигналов времени (АРСВ) [4] или её улучшенная версия – АПСВЧ, специально разработанная для передачи сигналов времени по ВОЛС в свободных битах (Sa4-Sa8) заголовка потока E12 посредством цифровых систем передачи сети с коммутацией каналов (TDM). АРСВ разрабатывалась в соответствии с техническими требованиями ОАО «НИИАС» и ЗАО «Компания ТрансТелеКом», утвержденными ОАО «РЖД».

Аппаратура АРСВ предназначена для работы в составе системы ЕТВ, формирования и передачи сигналов ШВ по цифровым каналам ВОЛС на большие расстояния по протоколу SIRF. Шаг коррекции шкалы времени в АРСВ составляет 15,26 нс, в АПСВЧ – менее 1 нс. Реализовано ее сопряжение с ГЭВЧ, позволяющее строить систему ЕТВ, привязанную с требуемой точностью к шкале UTC (SU) через ВОЛС. Такие системы внедрены и эксплуатируются в ОАО «РЖД» и ЗАО «Компания ТрансТелеКом» с выходом на ЦБ РФ. Способ защищен патентом РФ [5].

Проведенные исследования позволили определить общие подходы к построению опорной сети ЕТВ с использованием АРСВ, обладающей при соответствующей организации трактов передачи точностью в десятки наносекунд, повышенной информационной безопасностью и стойкостью к электромагнитной обстановке, исключением активности (влияния) солнца и гарантией качества услуги.

При использовании АПСВЧ точность может быть повышена до единиц наносекунд.

Макет АПСВЧ испытан на базе ГСВЧ в институте ВНИИФТРИ. Потенциальная точность сличений шкал времени пространственно разнесенных стандартов частоты и времени с использованием оптических преобразователей (модемов) и ВОЛС протяженностью до 100 км (одноинтервальная линия) < 600 пс. Использование ее в составе sp-PRTC предложено в [6]. Рисунок 4 иллюстрирует, соответственно, возможную работу PTP по IP, а работу АРСВ по СЦИ.

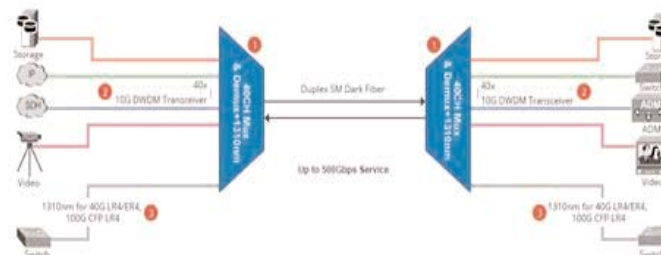


Рис. 4. Тракт DWDM

Структура системы формирования прецизионной шкалы времени национальной сети связи

В [7] представлен вариант реализации частотно-временного обеспечения сетей связи общего пользования (ССОП), направленный на обеспечение устойчивого функционирования, безопасности и целостности ССОП, преследующий цель создания в ССОП многоуровневой системы опорных узлов формирования шкалы времени (ОУФШВ). ОУФШВ [6] (рис. 5) могут и должны размещаться на ведущих узлах связи – местах расположения ПЭГ и ВЗГ, местах точек ввода-вывода трафика сети Long Haul DWDM. Благодаря высокой стабильности ПЭИ (например, для водородного стандарта типа VCN 1008С суточная относительная нестабильность частоты выходного сигнала лучше $2 \cdot 10^{-14}$, т.е. ОВ не более 2 нс в течение суток [8]) и использованию приемника сигналов СНРС для коррекции ШВ ОУФШВ поддерживает ШВ с точностью лучше, чем ± 30 нс в течение 15 суток, что спасает от возможных коллизий на сети связи.

Для прослеживаемости формируемых ШВ относительно UTC(SU) и обеспечения требуемых метрологических характеристик актуальной является задача синхронизации ОУФШВ первого уровня с использованием эталонной базы ГСВЧ РФ. При этом, в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений времени и частоты ГОСТ 8.129-99, передаётся размер единиц времени и частоты от государственных эталонов времени и частоты к рабочим эталонам ОУФШВ.

Эталонные времени и частоты ГСВЧ, расположенные в различных регионах России (Московская область, Новосибирск, Иркутск, Хабаровск, Петропавловск-Камчатский и др.), позволяют формировать ШВ, расхождение которых относительно UTC(SU) не превышает нескольких единиц наносекунд. По эталонам ГСВЧ можно сличать (синхронизировать) рабочие эталоны ОУФШВ по ВОЛС непосредственно и/или через систему ГЛОНАСС. Первый вариант, как уже отмечалось, предпочтителен, так как не подвержен электромагнитным воздействиям, включая преднамеренные помехи, не связан с особенностями размещения антенн СНРС и должен использоваться с первым приоритетом.

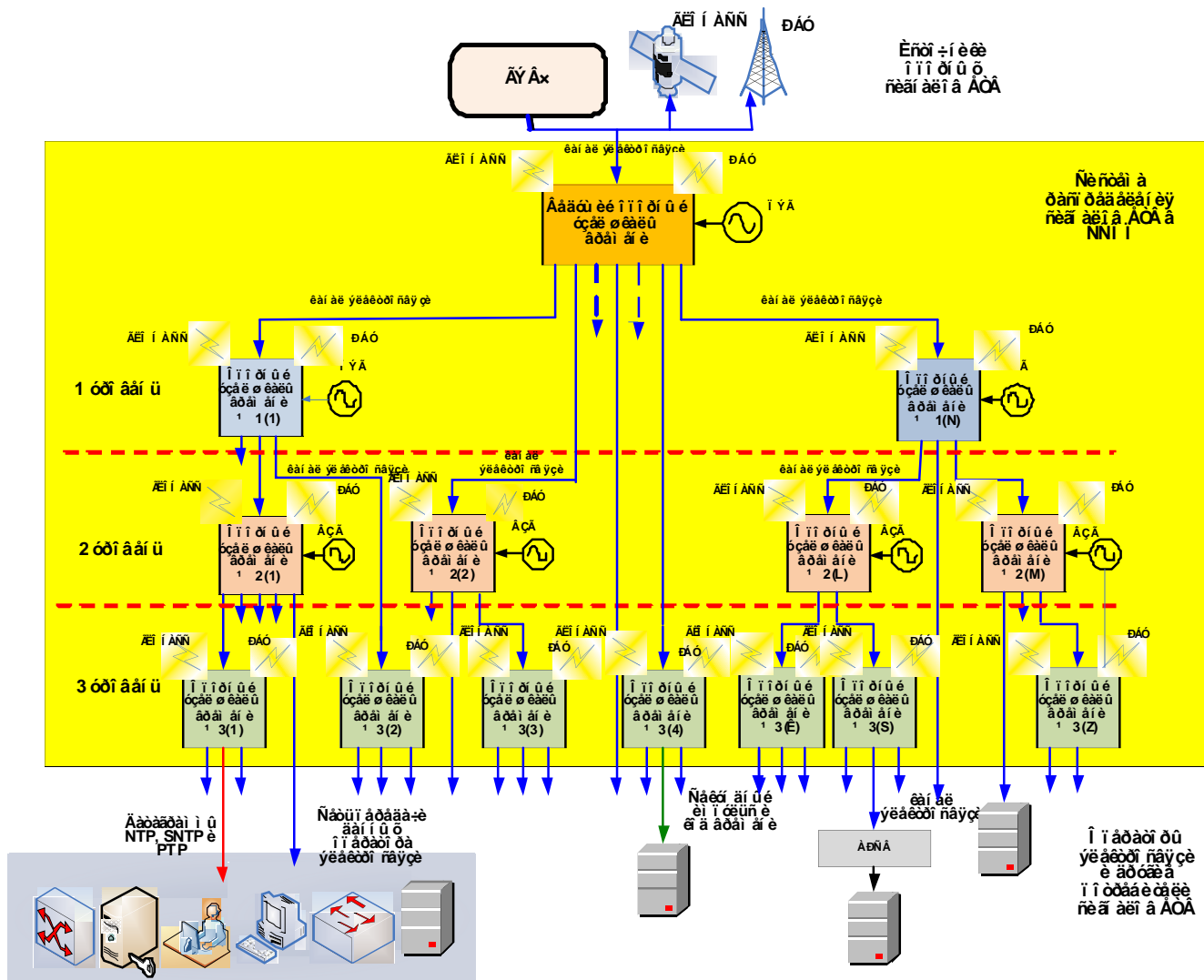


Рис. 5. Многоуровневая система опорных узлов ШВ (ОУФШВ)

cnPRTC Functional block diagram (logical view)

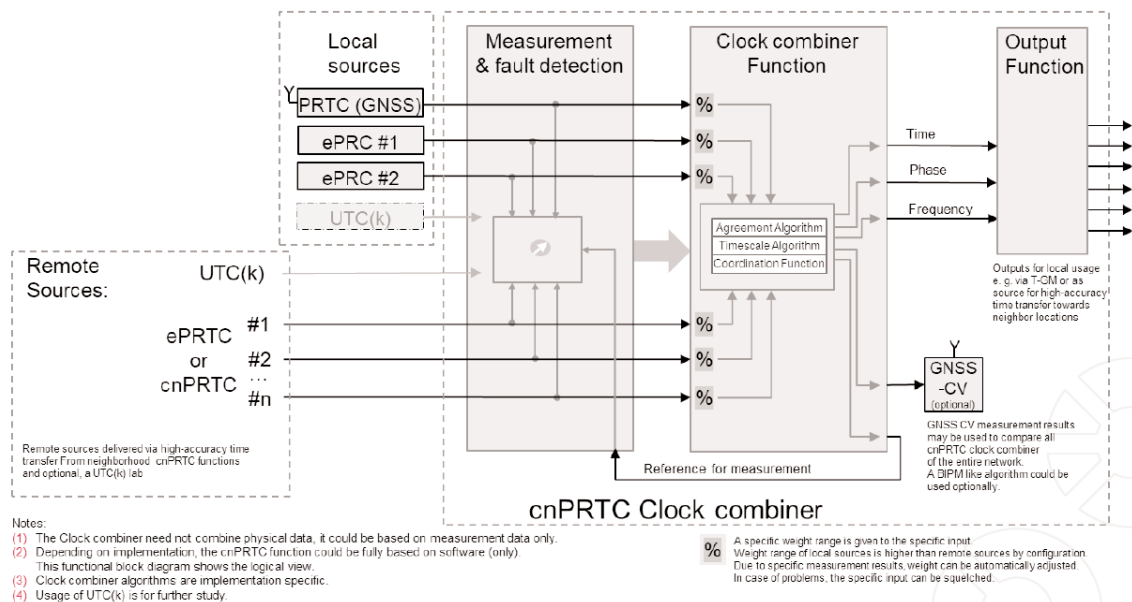


Рис. 6. Функциональная схема cn-PRTC

Его реализацию возможно осуществить с помощью АПСВЧ с оптическим модемом производства ООО «АЛТО» или РТРv3 (White Rabbit) с предельной (доли наносекунд) точностью. Второй, резервный вариант, с использованием приемника сигналов ГЛОНАСС/GPS.

Оба варианта позволяют осуществить синхронизацию ОУФШВ ССОП с погрешностью, не превышающей единицы, десятки наносекунд, соответственно. Совместное использование вариантов гарантирует высокую надежность сети связи в целом и качество услуг.

На рисунке 6 представлена функциональная схема сп-РRTC (когерентный уПЭВЧ, фактически реализующий функции ОУФШВ), который синхронизируется через ВОЛС по сигналам эталонов ГСВЧ. В результате все, связанные взаимной синхронизацией сп-РRTC, превращают ССОП с несколькими зонами синхронизации, работающими между собой в псевдосинхронном режиме, в единую когерентную сеть с единой системой сетевой синхронизации частоты и времени, а также единой системой мониторинга и управления (рис. 7).

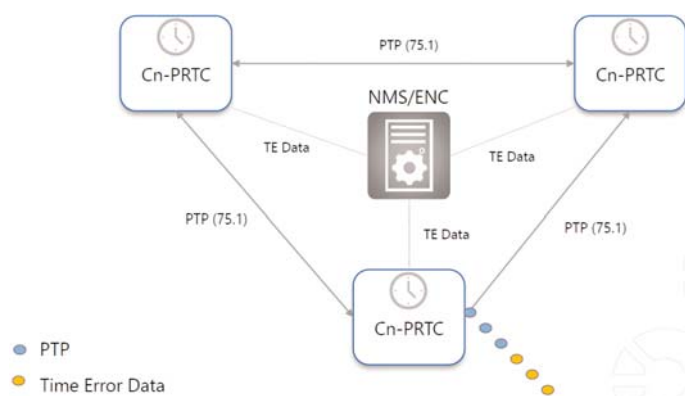


Рис. 7. Когерентная сеть сп-РRTC

Наличие в России нескольких основных операторов фиксированной связи с реализованной технологией Long Haul DWDM позволяет иметь достаточное количество доступных точек ввода-вывода трафика сетей Long Haul DWDM, включая места дислокации вторичных задающих генераторов, укомплектованных модулями серверов NTP и РТР, в том числе для систем синхронизации ШВ на основе протокола РТР в соответствии с рекомендациями:

- G.8272/Y1.367 – (11/2011) – РRTC (ПЭВЧ)
- G.8272.1/Y1.367.1 – (11/2016) – РRTC (уПЭВЧ)
- G.8273.1/Y.1.368.1 (планируется) – Telecom Grandmaster;
- G.8273.2/Y.1.368.2 (01/2017) – Telecom Boundary Clock;
- G.8273.3/Y.1.368.3 (01/2017) – Telecom Transparent Clock;
- G.8275/Y.1.367 (07/2013) – Распределение времени и фазы в пакетных сетях (Time and phase distribution through packet networks);
- G.8275.1/Y.1.367.1 (06/2016) и G.8275.2/Y.1.367.2 (06/2016) – "Телеком профиль" протокола точного времени РТР для фазовой/временной синхронизации (Precision time protocol telecom profile for phase/time synchronization).

Заключение

Таким образом, на основе анализа развития оборудования частотно-временного обеспечения и технологий сетей связи, рассмотрены пути формирования и распределения прецизионной ШВ национальной сети связи с привязкой к шкале UTC (SU). Актуальность и техническая реализация не вызывают сомнений. Приведены ожидаемые точностные характеристики ШВ на входах/выходах ОУФШВ в точках ввода-вывода трафика сетей Long Haul DWDM, включая места дислокации вторичных задающих генераторов, укомплектованных NTP и РТР серверами. К этим опорным точкам могут подключаться операторы связи, метрологические центры и любые потребители высокоточных сигналов времени и частоты в соответствии с нормами Рекомендаций МСЭ-Т, определяющими бюджет ошибки в ведомых часах РТР сетей связи, например, G.8271.1.

Решение проблем, на наш взгляд, сдерживается отсутствием согласованных действий министерств, ведомств и операторов связи, затратами на необходимую модернизацию сетей в части оборудования частотно-временного обеспечения – реализации ОУФШВ, привязкой ОУФШВ высшего уровня к эталонам ГСВЧ по РТР или через АПСВЧ. Пока что операторы связи ориентируются на свои силы и используют для синхронной работы своих сетей только сигналы СРНС.

Общий вывод – имеются все необходимые предпосылки для решения проблемы. Дело за согласованными действиями министерств, ведомств и операторов связи, реализацией технологий и разработкой нормативных правовых актов.

Литература

1. Рыжков А.В. Опорная сеть системы единого точного времени на основе ВОЛП // Электросвязь. 2008. № 10. С. 54-56.
2. Mills D.L. Computer Network Time Synchronization: The Network Time Protocol. Boca Raton, FL: CRC Press, 2006. 304 p.
3. IEEE 1588-2008, «IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems», IEEE, 2008.
4. Иванов А.В. Аппаратура распределения сигналов времени как элемент единой частотно-временной синхронизации // Электросвязь. 2008. № 10. С. 62-65.
5. Васильев О.К., Верихо А.М., Новожилов Е.О., Рыжков А.В., Слоняев А.Н. Способ построения системы единого точного времени с использованием двунаправленных цифровых каналов электросвязи (патент РФ № 2409901), опубликован 20.01.2011 г.
6. Волкодаев Б.В., Дрига И.А., Мещанин В.Ю., Насонов А.Ю., Рыжков А.В. Формирователь опорных сигналов частоты и времени (патент РФ № 2592475С1), опубликован: 20.07.2016 г., Бюл. № 20.
7. Рыжков А.В., Коган С.Н., Блинов И.Ю., Насонов А.Ю., Хазов М.Л. Проблемы и пути решения передачи сигналов времени по сети общего пользования Российской Федерации // Вестник связи, 2014. № 1. С. 17-21.
8. Зуев Э.В., Рыжков А.В., Пелюшенко А.С., Саматов В.И., Сахаров Б.А. Первичный эталонный источник VCN-1008С системы тактовой сетевой синхронизации в цифровых сетях // Электросвязь. 2013. № 2. С. 32-33.
9. Рыжков А.В., Колтунов М.Н., Насонов А.Ю., Шварц М.Л. Проблемы сличения шкал времени в пакетных сетях электросвязи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 11. С. 10-17.
10. Колтунов М.Н., Шварц М.Л. Актуальные вопросы применения оборудования частотно-временного обеспечения на ЕСЭ России // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2018. Т. 9. № 2. С. 113-120.

WAYS OF FORMING A PRECISION TIME SCALE OF THE NATIONAL COMMUNICATION NETWORK

Anatoliy V. Ryzhkov, Moscow Technical University of communications and Informatics (MTUCI), Moscow, Russia,
ryzhkov.anatoly@yandex.ru

Mikhail L. Schwartz, Moscow Technical University of communications and Informatics (MTUCI), Moscow, Russia,
Mschwartz@smsync.ru

Abstract

Over the past two decades, in world practice, much attention has been paid to the distribution of signals of a universal and accurate time, formed by state (national) standards of frequency and time. Herewith the transmission of signals through fiber-optic communication lines (FOCL) is considered with the addition of signals from satellite radio navigation systems (SRNS). The article summarizes the experience of comparing and reproducing the time scale of telecommunication networks master clocks with the national scale (UTC (SU) in Russia) both through the SRNS (GLONASS/GPS) system and through the fiber optic link with direct connection to the State (national) standards of time and frequency. Two main directions of reducing the error in the reproduction and storage of frequency and time units in the consumer are considered:

- creation of new technical means (frequency and time standards and equipment for external comparisons);
- introduction of precision distribution media and equipment for comparisons of slave clocks.

The analysis of the improvement of the reference sources of frequency and time used on communication networks is carried out based on the ITU-T Recommendations of the G.81xx and G.82xx series.

The possibilities of fiber optic link for the delivery and distribution of timing signals are evaluated, an univocal conclusion is made on the priority of their use where possible. The article presents a multilevel system for distributing and delivering timing signals to a consumer via FOCL, the appearance of a modern (promising) the coherent primary reference time clock (cn-PRTC), and a structural diagram of a time-frequency provision of a public communication network for creating a coherent time scale system.

Keywords: time scale, network synchronization, network time protocols (NTP, PTP), methods of comparison and distribution of time scales, backbone and mobile communication networks, coherent network.

References

1. Ryzhkov A.V. (2008). The backbone network of a single accurate time system based on fiber optic link. *Telecommunication*. No. 10, pp. 54-56.
2. Mills D.L. (2006). *Computer Network Time Synchronization: The Network Time Protocol*. Boca Raton, FL: CRC Press. 304 p.
3. IEEE 1588-2008, "IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems", IEEE, 2008.
4. Ivanov A.V. (2008). The distribution equipment of time signals as an element of a single time-frequency synchronization. *Telecommunication*. No. 10, pp. 62-65.
5. Vasiliev O.K., Verigo A.M., Novozhilov E.O., Ryzhkov A.V., Slyunyaev A.N. (2001). The way to build a single accurate system time using bidirectional digital telecommunication channels (RF patent No. 2409901), published on January 20, 2011.
6. Volkodaev B.V., Driga I.A., Meshchanin V. Yu., Nasonov A.Yu., Ryzhkov A.V. (2016). Reference signals generator of frequency and time (RF patent No. 2592475C1), published: July 20, 2016, Bull. Number 20.
7. Ryzhkov A.V., Kogan S.N., Blinov I.Yu., Nasonov A.Yu., Khazov M.L. (2014). Problems and solutions for transmitting time signals over public communication networks of the Russian Federation. *Vestnik svyazi*. No. 1, pp. 17-21.
8. Zuev E.V., Ryzhkov A.V., Pelyushenko A.S., Samatov V.I., Sakharov B.A. (2013). Primary reference source of the VCH-1008C system clock network synchronization in digital networks. *Telecommunication*. No. 2, pp. 32-33.
9. Ryzhkov A.V., Koltunov M.N., Nasonov A.Yu., Schwartz M.L. (2017). Problems of comparing time scales in packet telecommunication networks. *T-Comm*. Vol. 11. No. 11, pp. 10-17.
10. Koltunov M.N., Schwartz M.L. (2018). Actual issues of the use of time-frequency support equipment on the ESE Russia. *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing*. Vol. 9. No. 2, pp. 113-120.

Information about authors:

Anatoliy V. Ryzhkov, DPhil, Scientific-research part, Moscow Technical University of communications and Informatics (MTUCI), Moscow, Russia

Mikhail L. Schwartz, PhD, Scientific-research part, Moscow Technical University of communications and Informatics (MTUCI), Moscow, Russia