



Научно-практический семинар
**Единое точное время в пакетных сетях:
требования, задачи и их решения от АО «Время-4»**

Перспективы и направления развития системы единого и точного времени в национальном масштабе

АО «Время-4»
Докладчик Шварц Михаил Львович

20–22 октября 2026 года, г. Нижний Новгород



Современные технологии систем частотно-временной синхронизации в пакетных сетях связи

- ✓ PRTC (ПЭИВЧ) + цепочка 10 или 20 ВС
- ✓ Модемы VCH-608M на участке ГЭВЧ – ПЭИВЧ
- ✓ Выделенный канал ОТС в DWDM
- ✓ Поддержка систем синхронизации RTP сетями ТСС (СЦИ, SyncE)
- ✓ Резервный канал передачи шкалы времени в потоках E1 СЦИ с помощью аппаратуры APCB



Потребители прецизионных систем частотно-временной синхронизации

Сети связи 4G TDD

- SynchroEthernet + PTP с фазовым профилем
- ✓ точность шкалы времени $<1,5$ мкс
- ✓ точность частоты: 10^{-11} по отношению к номиналу

Сети связи 5G

- SynchroEthernet + PTP с фазовым профилем
- ✓ точность шкалы времени $<150 \div 250$ нс
- ✓ точность частоты: 10^{-12} по отношению к номиналу
- ✓ Улучшенные генераторы всех уровней



Потребители прецизионных систем частотно-временной синхронизации

Сети цифрового телевидения

➤ SynchroEthernet + PTP с фазовым профилем

- ✓ точность шкалы времени $< 1,5 \text{ мкс}$
- ✓ точность частоты: 10^{-11} по отношению к номиналу

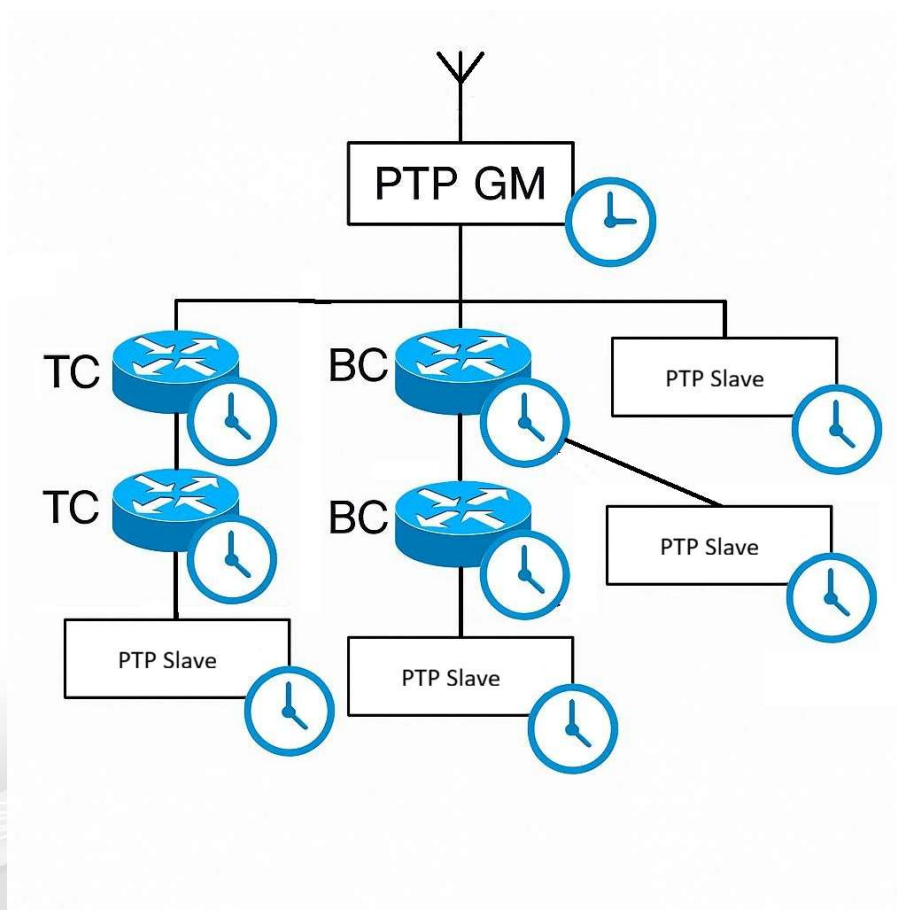
«Цифровая подстанция»

➤ PTP с фазовым профилем IEC 61.850-9.3 и C.37.238

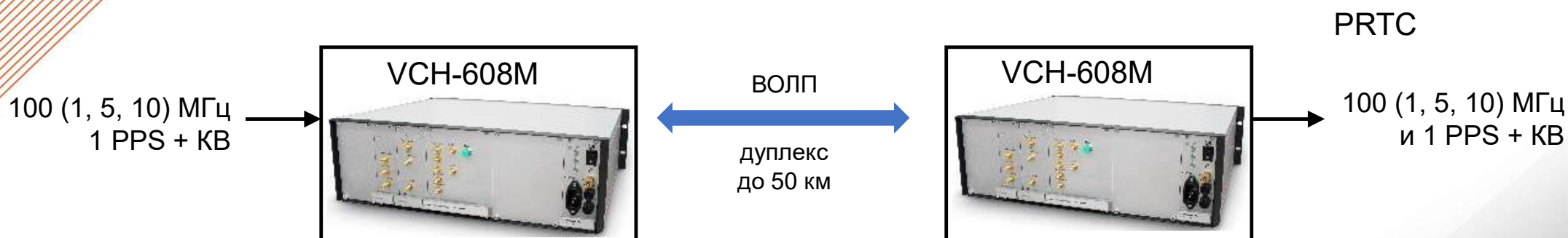
- ✓ точность шкалы времени $< 1 \text{ мкс}$

Прецизионный протокол времени (PTP)

- PTP – Precision Time Protocol
 - IEEE 1588-2008 версия 2.0
- Использует шкалу TAI (Начало отсчета 1970 год - Unix эпоха)
 - Использует аппаратные часы и аппаратное указание/чтение метки времени
- Определен для работы поверх L1 + L2 или L3/L4
 - Master – Slave
- Кодирование времени: 48 бит для числа секунд и 32 бита для дробной части

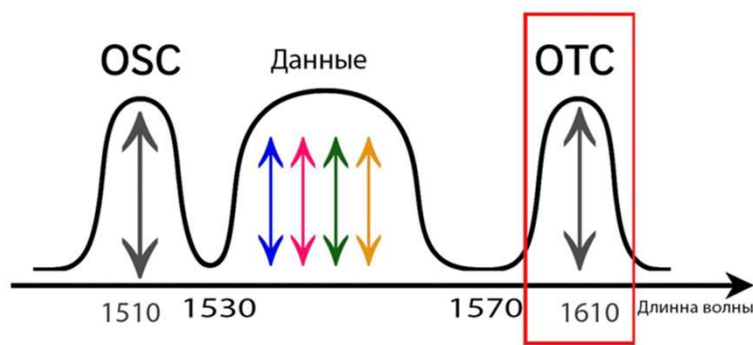
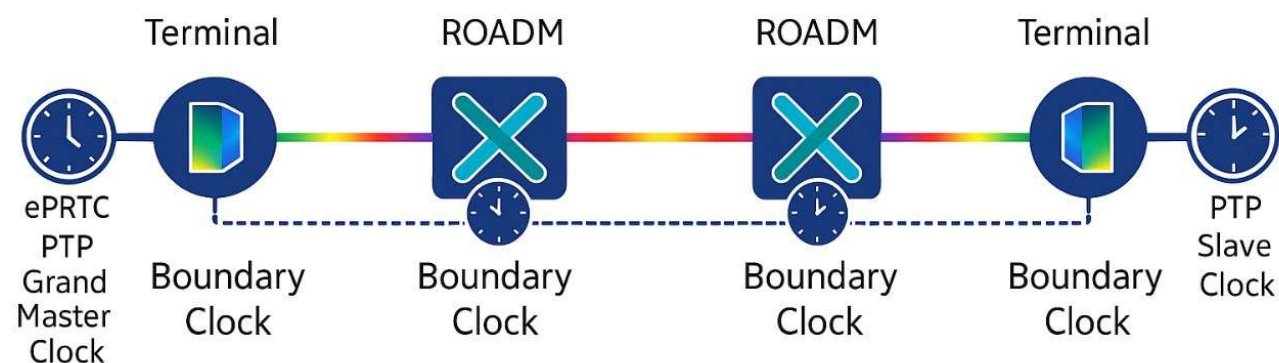
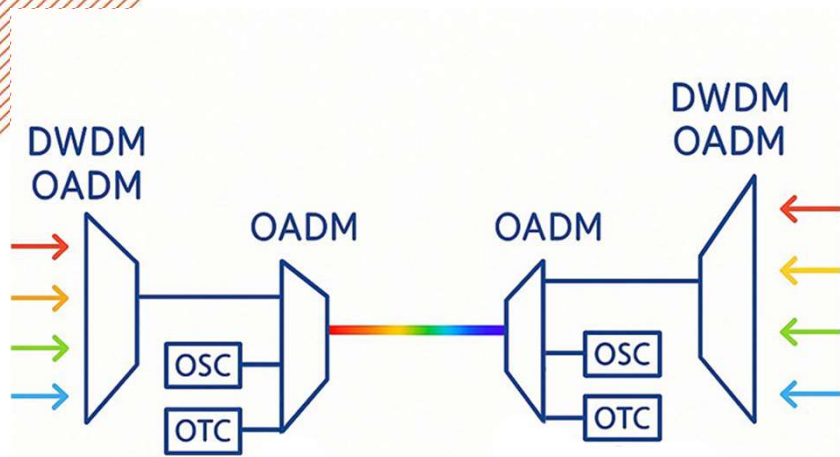


Оптические модемы для передачи эталонных сигналов частоты и времени



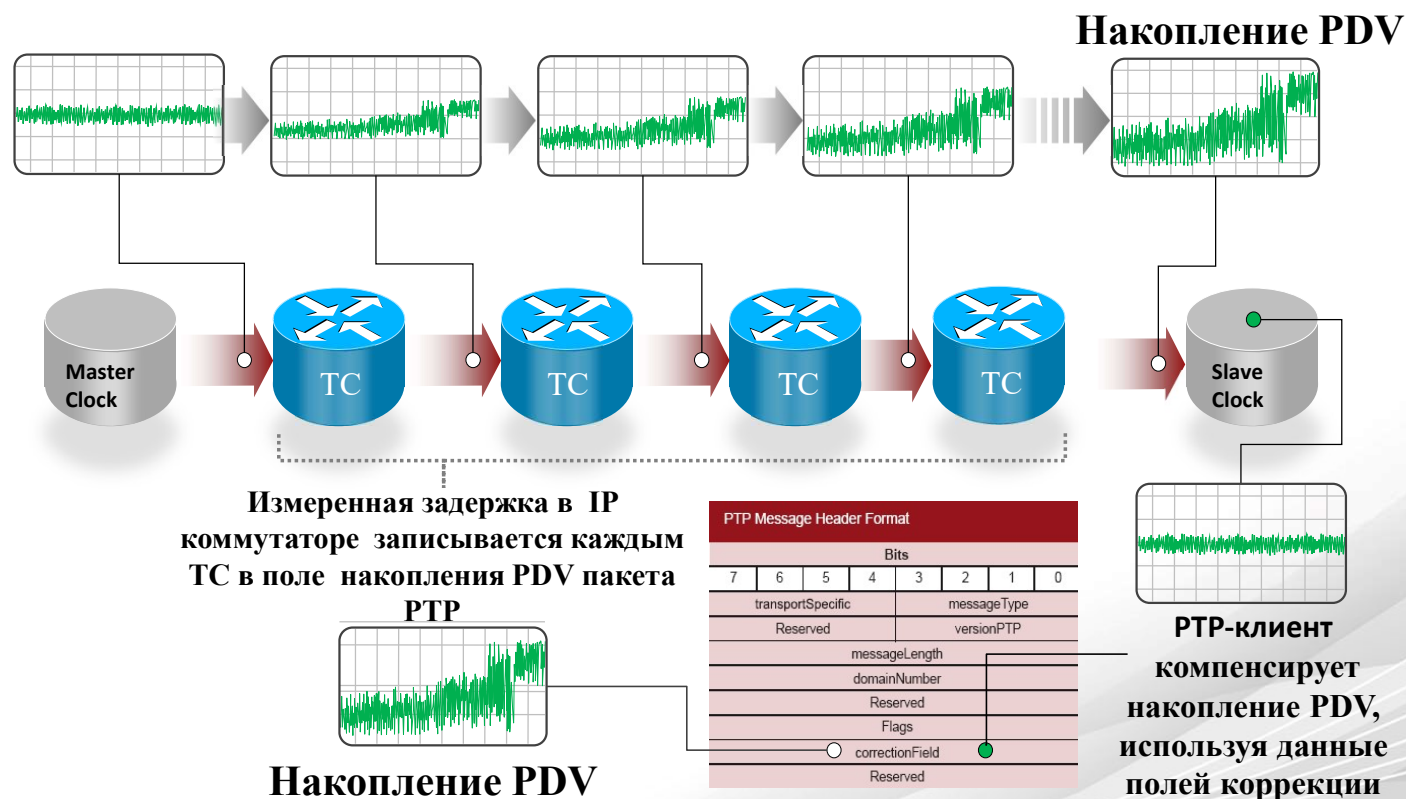
Вносимая сопряжённой парой модемов VCH-608M абсолютная погрешность синхронизации выходного сигнала времени 1PPS независимо от длины ВОЛП в диапазоне от 100 м до 50 км не превышает 200 пс

Оптический временной канал (ОТС) в DWDM



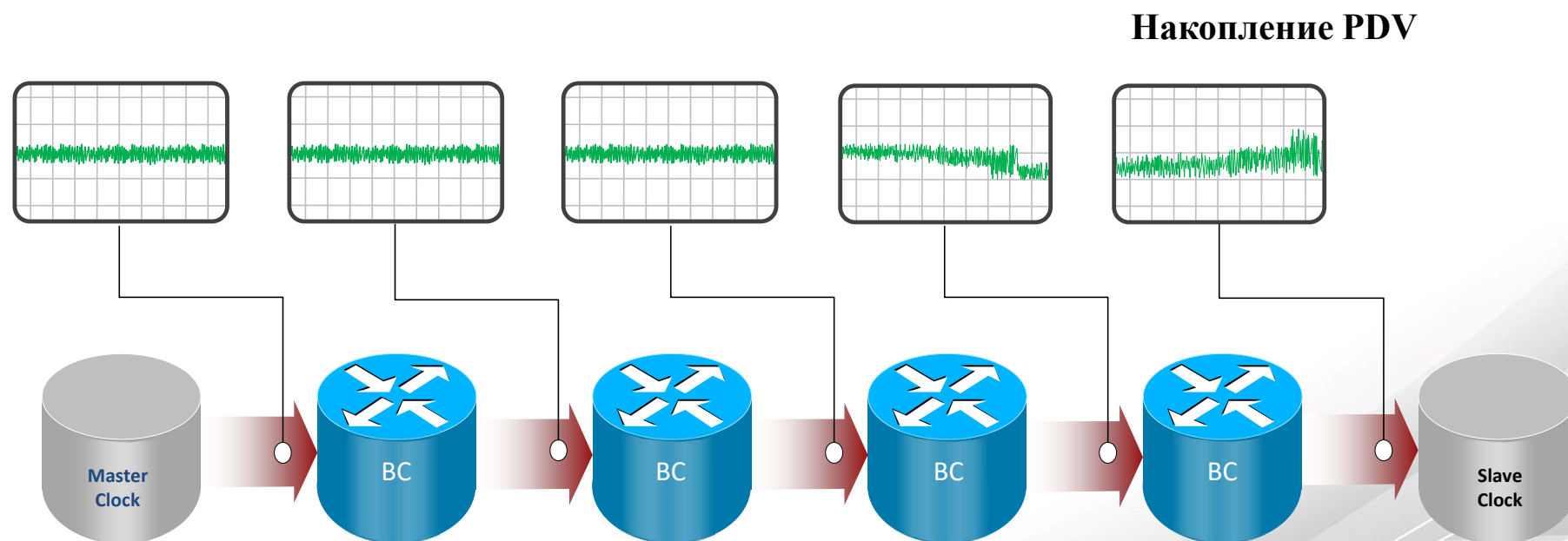
- ✓ Минимальные и предсказуемые задержки
- ✓ Независимость от клиентского трафика
- ✓ В ОТС для передачи синхронизации используется протокол PTP (IEEE 1588)
- ✓ Для передачи и вывода синхросигналов на транзитных узлах должна быть реализована функциональность Boundary Clock

Применение прозрачных часов (ТС)



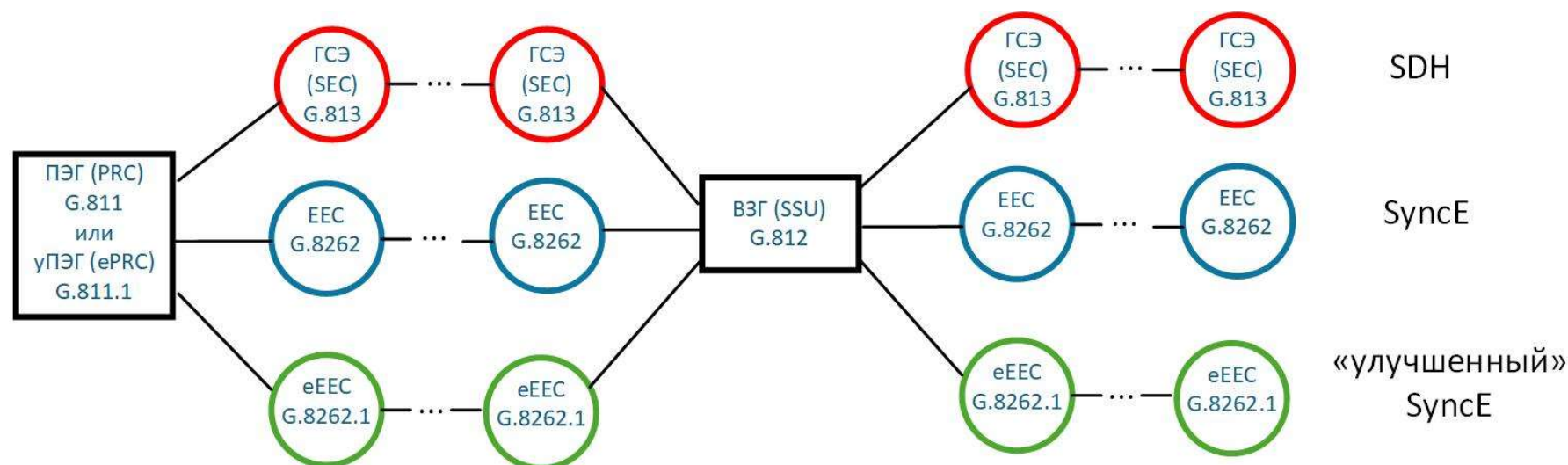
**Включение прозрачных часов (ТС)
с использованием полей коррекции ошибок**

Применение пограничных часов (BC)



На точность шкалы времени клиента влияет только
PDV линий связи и ошибки BC

Системы ТСС

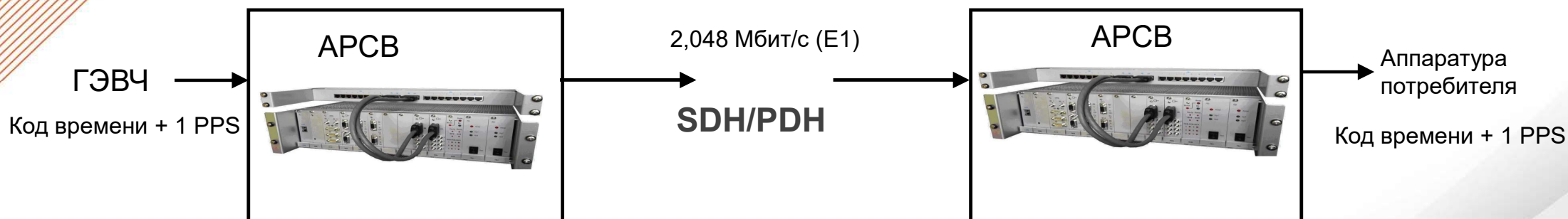


Рекомендация G.803:

- В цепочке синхронизации не должно быть более 60 элементов ГСЭ и не более 10 ВЗГ.
- Между ПЭГ и ВЗГ или ВЗГ и ВЗГ не более 20 ГСЭ.

Частота передаётся на физическом уровне в линейных сигналах по оптическому волокну с минимальными искажениями, что позволяет обеспечить передачу эталонной частоты на расстояния сотни и тысячи км

Аппаратура распределения сигналов времени (APCB)



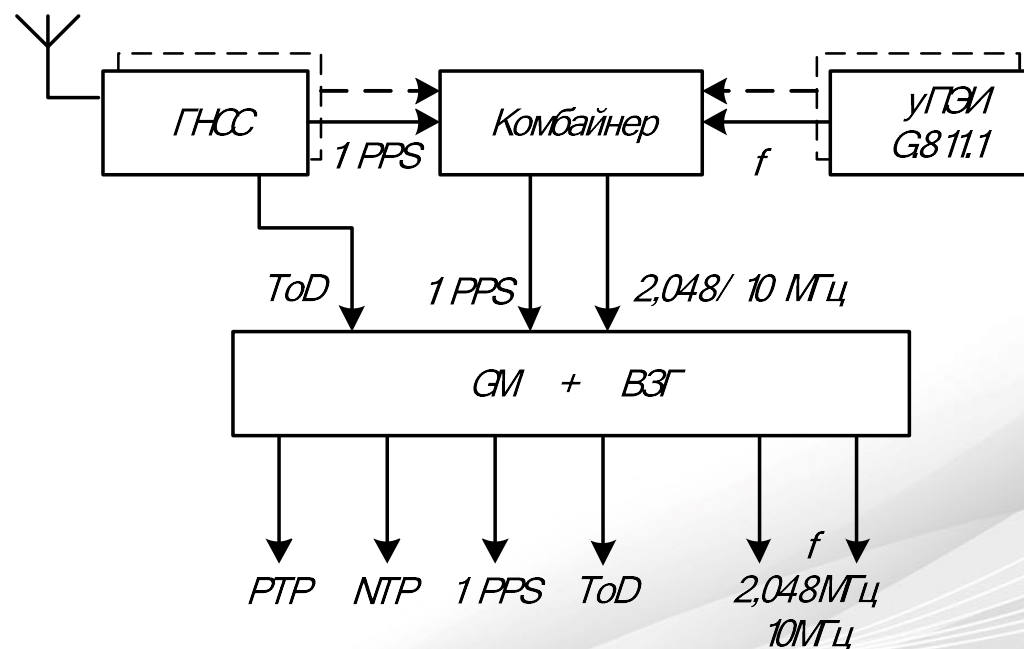
- ✓ Передача меток времени в потоках 2.048 Мбит/с (E1) в SDH/PDH
- ✓ Двусторонний обмен метками; точность до десятков нс благодаря предсказуемой асимметрии E1.

Рекомендации МСЭ-Т для систем синхронизации пакетных сетей

Направление стандартизации	Частотная синхронизация – серия G.826x		Фазовая (временная) синхронизация – серия G.827x	Когерентные системы временной синхронизации PTP v2.1
	SyncE	PTPv2.0	PTPv2.0	
Термины и определения, метрики	G.8260 G.810			
Общие принципы	G.8261		G.8271	
Сетевые нормы	G.823	G.8261.1	G.8271.1, G.8271.2	
Генераторное оборудование	G.8262 G.8262.1	G.8263, G.8266	G.8272, G.8272.1, G.8273, G.8273.2, G.8273.3, G.8273.4	G.8272.2
Архитектура сети синхронизации	G.8264	G.8265	G.8274, G.8275	G.8274, G.8275
Профили протокола РТР	–	G.8265.1	G.8275.1, G.8275.2	IEEE 1588-2019

Структура уПЭВЧ

уПЭВЧ
G8272.1

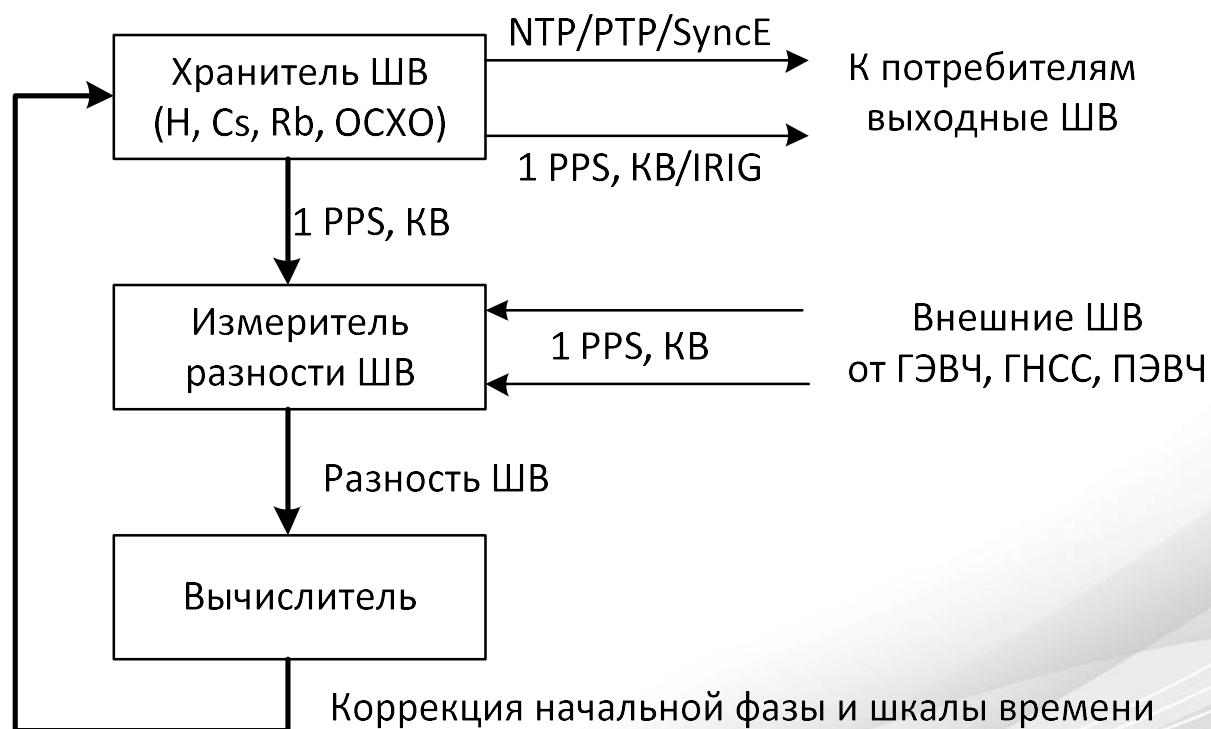


Структура уПЭВЧ (ePRTC) согласно рекомендации МСЭ-Т G.8272.1

Ведущие часы на базе хранителей шкалы времени

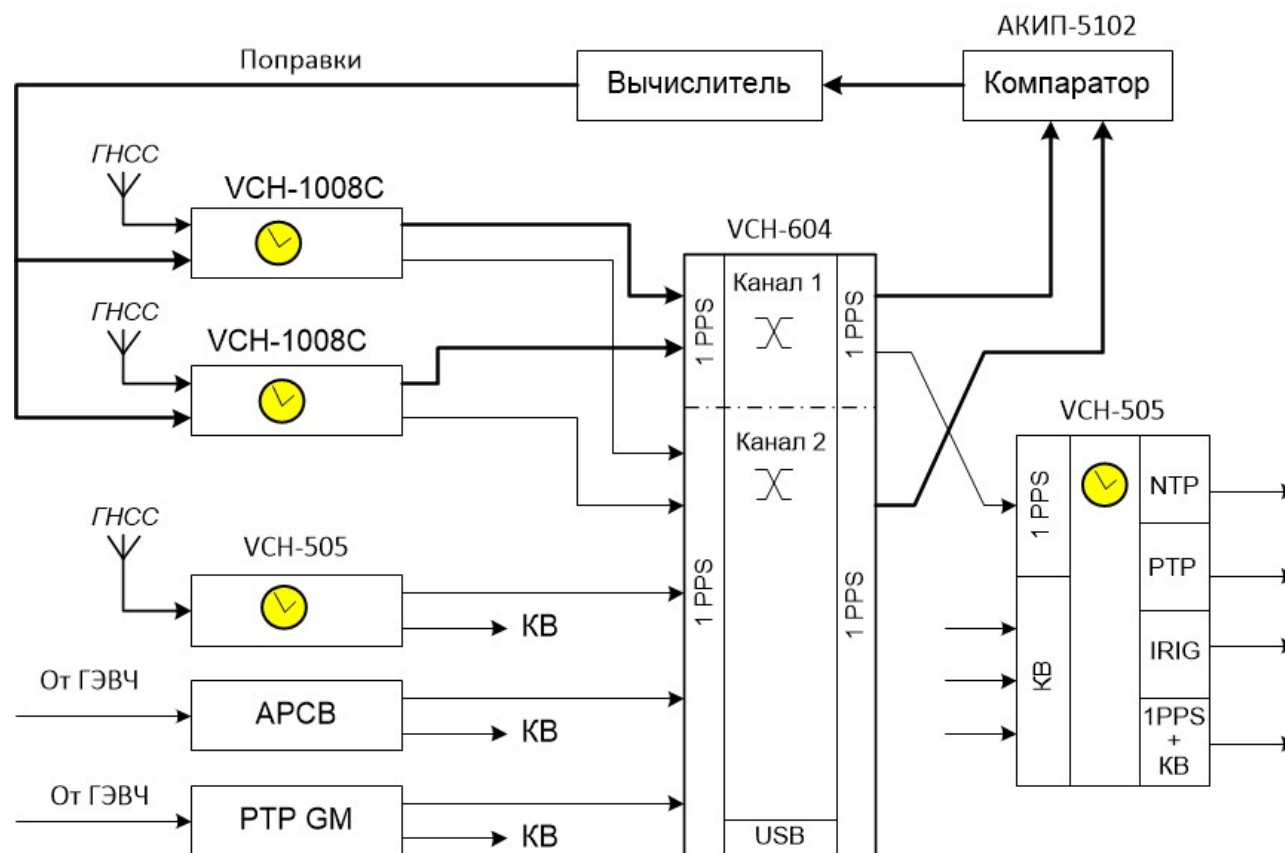
- APNT – Assured Position, Navigation and Timing: системы, в которых формирование шкалы времени осуществляется рабочим эталоном с периодической подстройкой или коррекцией по принятым данным об эталонной шкале времени
- Если наблюдается существенная разница между рабочей и принятой шкалой, то принятая шкала подлежит отбраковке (запрещению) для коррекции рабочей шкалы
- Дополнением к этой структуре может и должна служить система обнаружения помехи типа spoofing

Ведущие часы на базе хранителей шкалы времени



Формирование шкалы времени ведущих часов на базе технологии APNT

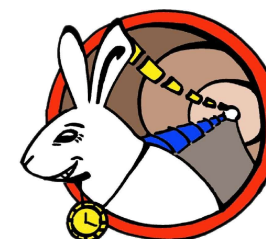
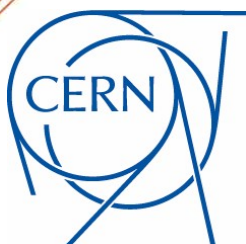
Ведущие часы на базе хранителей шкалы времени



Реализация ведущих часов на базе технологии APNT

Перспективная когерентная система синхронизации

- В Приложениях 7 и 10 рекомендации МСЭ-Т G.8275 описана система когерентных ПЭВЧ – кгПЭВЧ (coherent PRTC – cnPRTC);
- Описание кгПЭВЧ дано в новой рекомендации МСЭ-Т - G.8272.2
- кгПЭВЧ предполагают совместное, когерентное взаимодействие между собой;
- Все связанные между собой кгПЭВЧ вырабатывают усреднённую групповую шкалу времени, включая групповую частоту;
- В этой системе будут участвовать национальные эталоны частоты и времени – UTC(k)
- Для связи между кгПЭВЧ или между UTC(k) и кгПЭВЧ применяется протокол RTP v2.1 (IEEE1588-2019)



Протоколы White Rabbit и PTP версии 2.1

- Протокол White Rabbit — это расширение протокола PTP, разработанное в CERN, для синхронизации измерительного оборудования с субнаносекундной точностью
 - ✓ Выравнивание частоты (SyncE)
 - ✓ Грубая подстройка фазы (PTP версии 2.1)
 - ✓ Точная подстройка фазы (Digital Dual Mixer Time Difference).
 - ✓ Автоматическое фазовое выравнивание на физическом уровне (DDMTD)
 - ✓ Типовая точность: до ~50 ps*

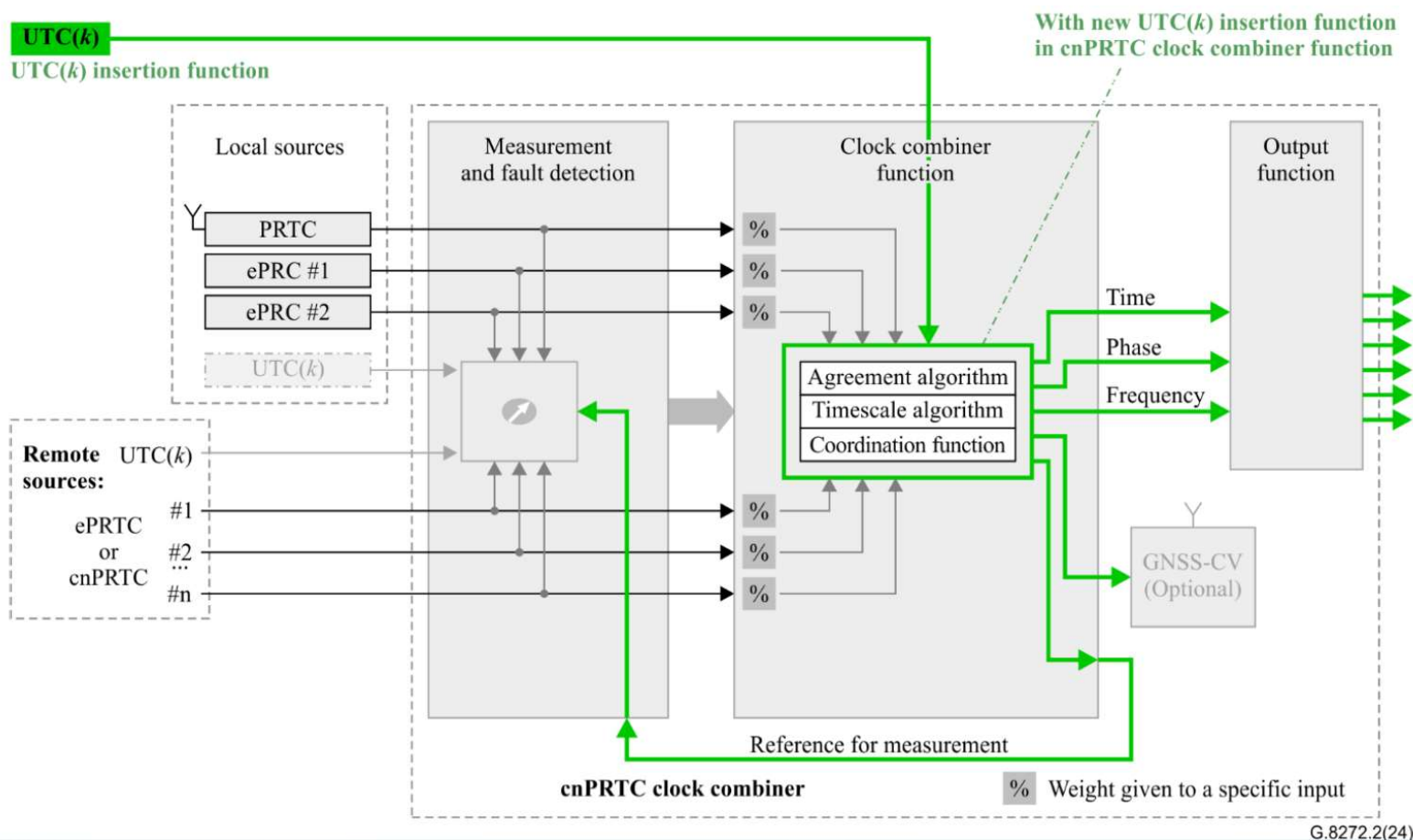
*- при калиброванной оптической линии связи, высококачественных калиброванных Bi-directional SFP-трансиверах и стабильной температуре

Протоколы White Rabbit и PTP версии 2.1

- Основные новые возможности:
 - ✓ Мульти доменная структура (несколько временных доменов параллельно)
 - ✓ Асимметрия (стандартизованные средства описания/учёта асимметрии канала);
 - ✓ Диагностика/мониторинг (расширенные наборы данных, служебные TLV,
 - ✓ отчётность по качеству времени/задержкам);
 - ✓ Гибридные архитектуры (сосуществование разных профилей/классов устройств и доменов);
 - ✓ Безопасность (усиленное внимание к целостности/аутентичности временных
 - ✓ сообщений — на уровне рекомендаций и TLV).

- **PTP v2.1 совместим с PTP v2.0** (Эволюционный и постепенный переход)

Перспективная когерентная система синхронизации

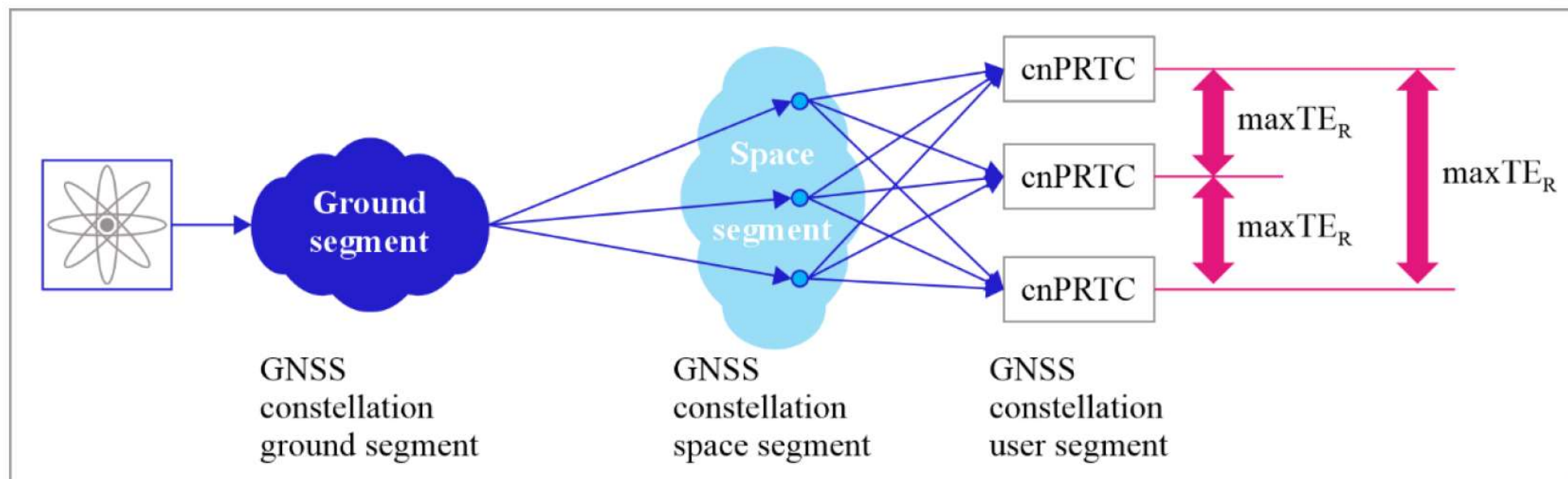


Модифицированная функциональная блок-схема кГПЭВЧ (Приложение А рек. МСЭ-Т G.8272.2)

20–22 октября 2026 года, г. Нижний Новгород

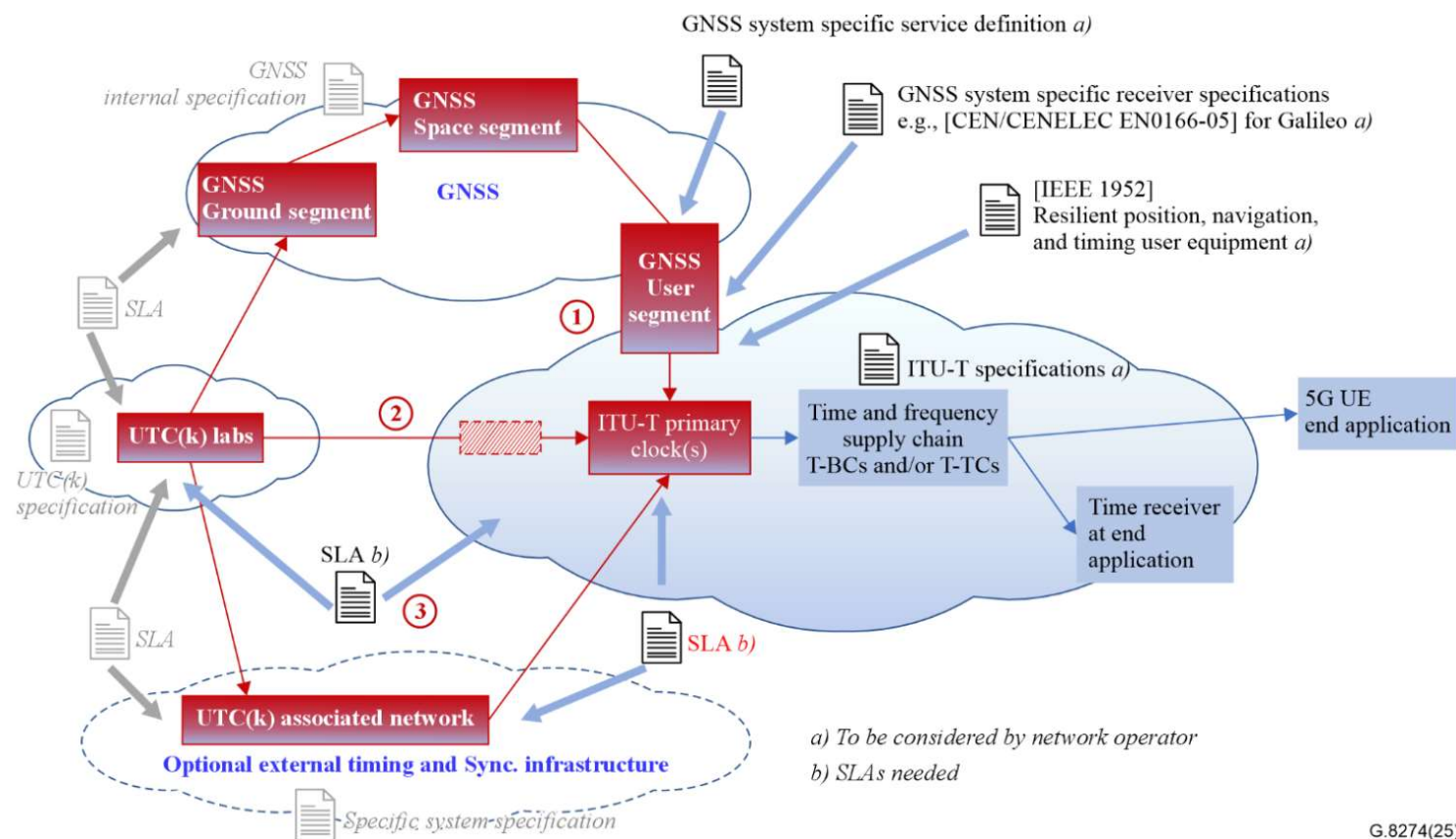
Понятие когерентности кгПЭИВЧ

- ✓ Точность ШВ на выходе кгПЭИВЧ : $< \pm 30 \text{ нс}$
- ✓ Разность ШВ между кгПЭИВЧ: $< \pm 40 \text{ нс}$



G.8272.2(24)-Amd.1(25)

Взаимодействие когерентной системы синхронизации с ГЭВЧ



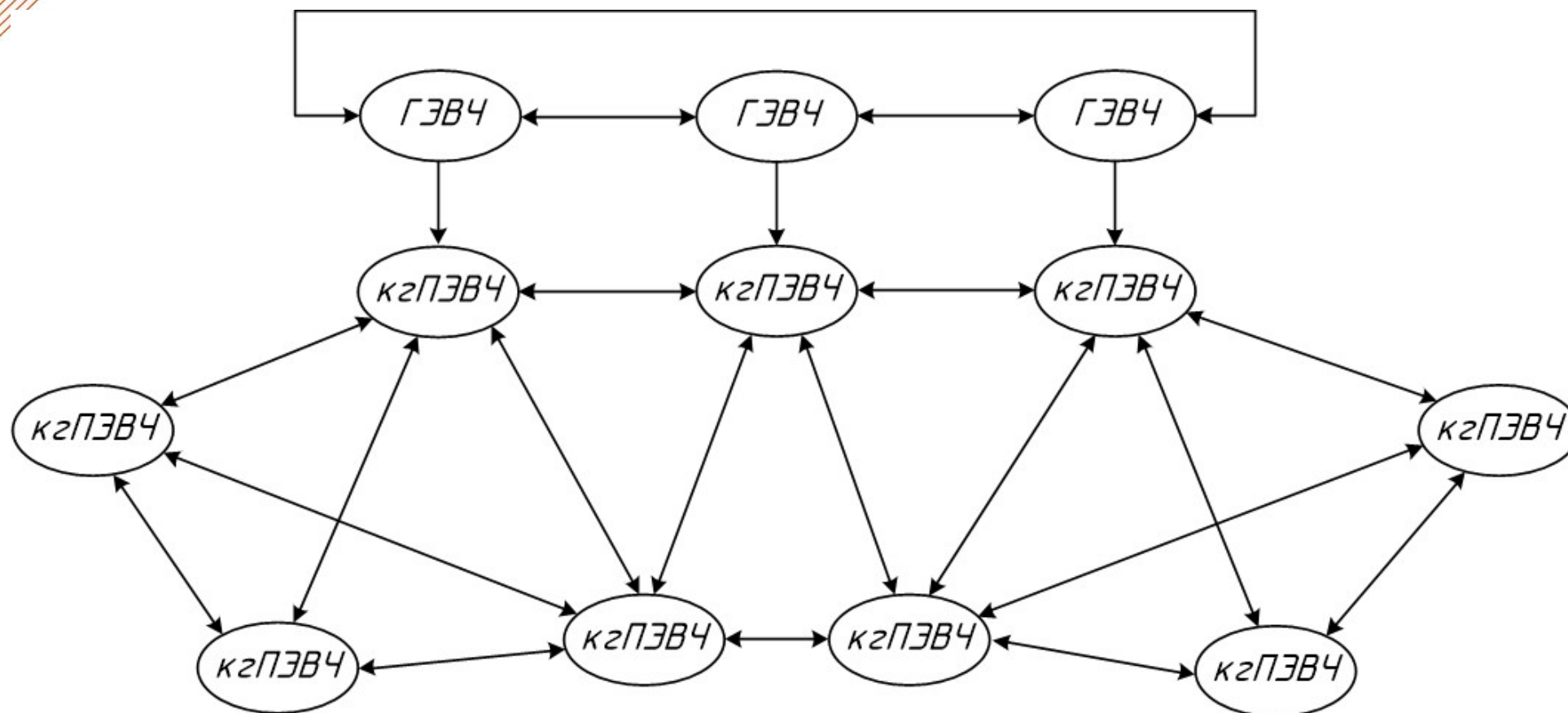
G.8274(25)



Взаимодействие когерентной системы синхронизации с ГЭВЧ

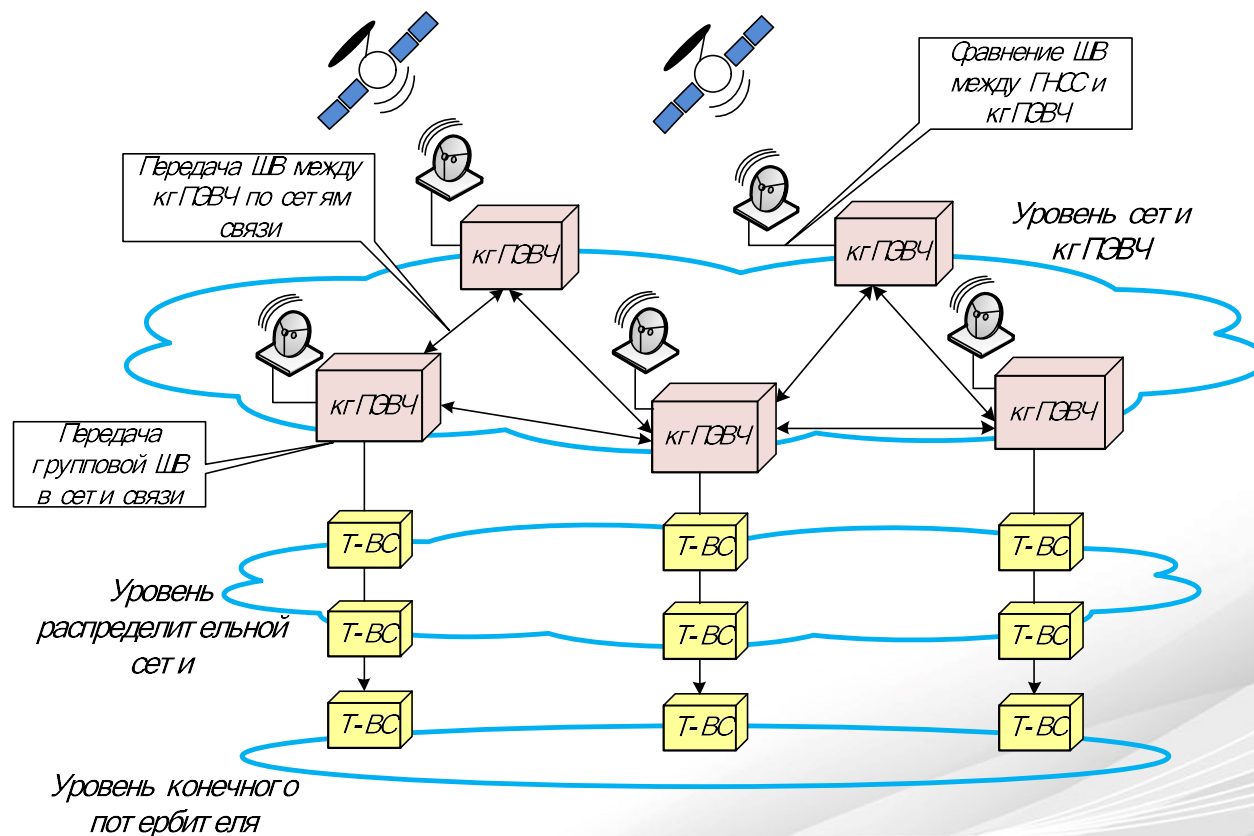
1. Организация подключение к ГЭВЧ или Вторичным эталонам времени и частоты
2. Необходима нормативная база для организации присоединений сетей связи к эталонам времени и частоты, а также заключения соглашений SLA на техническое обслуживание
3. Объекты государственного и вторичных эталонов времени и частоты должны иметь инфраструктуру для организации присоединения сетей связи: помещения, электроснабжение, кабельные вводы и кроссы, доступность для техперсонала и т.п.
4. Необходима нормативная база в части метрологического обеспечения оборудования и когерентных систем синхронизации
5. Необходима разработка и внедрение новых СИ и базы возимых часов

Перспективная когерентная система синхронизации



Структура когерентной сети (Приложение V рек. МСЭ-T G.8274)

Перспективная когерентная система синхронизации



Структура когерентной ССОП

20–22 октября 2026 года, г. Нижний Новгород

Эволюция сетевых эталонных источников синхронизации

- ПЭГ, G.811: сети ТСС, $2x\text{Cs}/\text{H}$ ($\Delta F/f < \pm 1 \cdot 10^{-11}$)
- ПЭИВЧ, G.8272, $\text{ОВ} < \pm 100$ нс, сети фазовой (временной синхронизации), опираются на сети ТСС, $2x\text{Cs}/\text{H} + \text{ГНСС}$ диапазонный
- уПЭГ, G.811.1, сети ТСС для 5G, $2x\text{Cs}/\text{H}$ (улучшенной точности $\Delta F/f < \pm 1 \cdot 10^{-12}$)
- уПЭИВЧ, G.8272.1, $\text{ОВ} < \pm 30$ нс, опираются на уПЭГ, фазовая синхронизация в 5G, $2x\text{Cs}/\text{H} + \text{ГНСС}$ 2-х диапазонный + комбайнер
- кгПЭИВЧ, G.8272.2, $\text{ОВ} < \pm 30$ нс, опираются на уПЭГ, когерентная сеть, $2x\text{Cs}/\text{H} + \text{ГНСС}$ 2-х диапазонный + ГЭВЧ + кгПЭИВЧ + комбайнер + формирователь групповой шкалы времени + RTPv2.1

Эволюция систем частотно-временного обеспечения

- Дооборудование ПЭГ до ПЭИВЧ: добавление GrandMaster PTP
- Дооборудование ПЭИВЧ до уПЭИВЧ: улучшенные ПЭИ + улучшенный GrandMaster (2-х диапазонный приёмник + комбайнер)
- Дооборудование уПЭИВЧ до кгПЭИВЧ: PTPv2.1, связи с кгПЭИВЧ/ГЭВЧ

Все указанные устройства помимо функций временной синхронизации также являются источниками эталонной частоты для систем тактовой синхронизации (SyncE, СЦИ).

Система кгПЭИВЧ должна реализовываться совместными усилиями операторов связи магистральных сетей связи и метрологической служб первичного и вторичных эталонов частоты и времени.



Метрологическое обеспечение эталонных источников синхронизации

- ПЭГ, G.811: $\Delta F/f < \pm 1 \cdot 10^{-11}$, могут контролироваться существующими СИ
- ПЭИВЧ, G.8272, $ОВ < \pm 100$ нс, могут контролироваться существующими СИ
- уПЭГ, G.811.1, $\Delta F/f < \pm 1 \cdot 10^{-12}$, требуется возимый стандарт частоты
- уПЭИВЧ, G.8272.1, $ОВ < \pm 30$ нс, требуются возимые часы или СИ нового поколения + стабильный приём ГНСС
- кгПЭИВЧ, G.8272.2, $ОВ < \pm 30$ нс, требуются возимые часы или СИ нового поколения + стабильный приём ГНСС

**Современные СИ не обеспечивают точность формирования
опорной шкалы времени с $ОВ < \pm 10$ нс и $\Delta F/f < \pm 3 \cdot 10^{-13}$.**

Предложения в части метрологического обеспечения перспективных систем частотно-временного обеспечения сетей связи

- ПЭГ, G.811: $\Delta F/f < \pm 1 \cdot 10^{-11}$, ежегодная проверка силами оператора связи
- ПЭИВЧ, G8272, $OB < \pm 100$ нс, ежегодная проверка силами оператора связи
- уПЭГ, G.811.1, $\Delta F/f < \pm 1 \cdot 10^{-12}$, ежегодная проверка силами оператора связи с участием метрологической службы
- уПЭИВЧ, G.8272.1, $OB < \pm 30$ нс, ежегодная проверка силами оператора связи с участием метрологической службы
- кгПЭИВЧ, G.8272.2, $OB < \pm 30$ нс, ежегодная проверка силами оператора связи с участием метрологической службы

Выводы

- ✓ Развитие систем связи, в том числе внедрение систем связи 5G, требуют создания единой системы частотно-временного обеспечения на базе единой сети кгПЭИВЧ.
- ✓ В рамках МСЭ-Т развивается тематика создания когерентной системы синхронизации на основе принципов APNT технологии, в том числе выпущены новые рекомендации, для которых уже готовятся обновления по мере разработки вопроса.
- ✓ Когерентная система синхронизации позволяет обеспечить независимость от наличия и качества приёма сигналов ГНСС, используя различные технологии передачи шкалы времени по наземным линиям связи.
- ✓ Для реализации перспективных систем частотно-временного обеспечения необходимо тесное взаимодействие сетей связи с метрологическими службами государственных эталонов частоты и времени, как в организационном плане, так и в части разработки соответствующих НПА.