

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.987.1

(03/2016)

СЕРИЯ G: СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ,
ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Цифровые участки и система цифровых линий –
Оптические линейные системы для местных сетей
и сетей доступа

**Пассивные волоконно-оптические сети
с поддержкой 10-гигабитных скоростей
передачи (XG-PON): общие требования**

Рекомендация МСЭ-Т G.987.1

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ G
СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ, ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТЕЛЕФОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ЦЕПИ	G.100–G.199
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕХ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ	G.200–G.299
ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЛИНИЯМ	G.300–G.399
ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ИЛИ СПУТНИКОВЫХ ЛИНИЙ И ИХ СОЕДИНЕНИЕ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОВОДНЫМИ ЛИНИЯМИ	G.400–G.449
КООРДИНАЦИЯ РАДИОТЕЛЕФОНИИ И ПРОВОДНОЙ ТЕЛЕФОНИИ	G.450–G.499
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ И ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	G.600–G.699
ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	G.700–G.799
ЦИФРОВЫЕ СЕТИ	G.800–G.899
ЦИФРОВЫЕ УЧАСТКИ И СИСТЕМА ЦИФРОВЫХ ЛИНИЙ	G.900–G.999
Общие положения	G.900–G.909
Параметры волоконно-оптических кабельных систем	G.910–G.919
Цифровые участки с иерархической скоростью передачи, основанной на скорости передачи 2048 кбит/с	G.920–G.929
Цифровые линейные системы передачи по кабелю с неиерархической скоростью передачи	G.930–G.939
Цифровые линейные системы, обеспечиваемые службами передачи данных с ЧРК	G.940–G.949
Цифровые линейные системы	G.950–G.959
Цифровые участки и цифровые системы передачи для абонентского доступа к ЦСИС	G.960–G.969
Волоконно-оптические подводные кабельные системы	G.970–G.979
Оптические линейные системы для местных сетей и сетей доступа	G.980–G.989
Сети доступа на металлических кабелях	G.990–G.999
КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ СИСТЕМ – ОБЩИЕ И СВЯЗАННЫЕ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ АСПЕКТЫ	G.1000–G.1999
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ	G.6000–G.6999
ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ – ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	G.7000–G.7999
АСПЕКТЫ ПЕРЕДАЧИ ПАКЕТОВ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ	G.8000–G.8999
СЕТИ ДОСТУПА	G.9000–G.9999

Для получения более подробной информации просьба обращаться к перечню Рекомендаций МСЭ-Т.

Рекомендация МСЭ-Т G.987.1

Пассивные волоконно-оптические сети с поддержкой 10-гигабитных скоростей передачи (XG-PON): общие требования

Резюме

В Рекомендации МСЭ-Т G.987.1 рассматриваются общие требования к системам пассивных оптических сетей с поддержкой 10-гигабитных скоростей передачи (XG-PON), которые должны служить руководством и стимулом для разработки спецификаций физического уровня и уровня сходимости передачи. Общие требования включают примеры услуг, интерфейсов "пользователь–сеть" (UNI) и интерфейсов узла услуг (SNI), а также основные конфигурации развертывания, требуемые операторами сетей. Кроме того, в настоящую Рекомендацию включены системные и эксплуатационные требования, направленные на удовлетворение потребностей в поддержке различных коммерческих и бытовых приложений.

Хронологическая справка

Издание	Рекомендация	Утверждение	Исследовательская комиссия	Уникальный идентификатор*
1.0	МСЭ-Т G.987.1	13.01.2010 г.	15-я	11.1002/1000/10410
1.1	МСЭ-Т G.987.1 (2010 г.) Попр. 1	22.04.2012 г.	15-я	11.1002/1000/11498
2.0	МСЭ -Т G.987.1	29.03.2016 г.	15-я	11.1002/1000/12794

Ключевые слова

Асимметричные сети XG-PON (X – 10 Гбит/с), общие требования, TDMA.

* Для получения доступа к Рекомендации наберите в адресном поле вашего браузера URL-адрес <http://handle.itu.int/>, а затем уникальный идентификатор Рекомендации.
Пример: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи и информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

На Всемирной ассамблее по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяются темы для изучения Исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соблюдение положений данной Рекомендации осуществляется на добровольной основе. Однако данная Рекомендация может содержать некоторые обязательные положения (например, для обеспечения функциональной совместимости или возможности применения), и в таком случае соблюдение Рекомендации достигается при выполнении всех указанных положений. Для выражения требований используются слова "следует", "должен" ("shall") или некоторые другие обязывающие выражения, такие как "обязан" ("must"), а также их отрицательные формы.

Употребление таких слов не означает, что от какой-либо стороны требуется соблюдение положений данной Рекомендации.

ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на вероятность того, что практическое применение или выполнение настоящей Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, действительности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, доказываются ли такие права членами МСЭ или другими сторонами, не относящимися к процессу разработки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещения об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для выполнения настоящей Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что вышесказанное может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ по адресу: <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2019

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

Содержание

	Стр.
1	Сфера применения 1
2	Справочные документы 1
3	Определения 3
3.1	Термины, определенные в других документах 3
3.2	Термины, определенные в настоящей Рекомендации 3
4	Сокращения и акронимы 3
5	Архитектура оптической сети доступа 3
5.1	Архитектура сети 3
5.2	Эталонная конфигурация 6
6	Сценарии перехода 12
6.1	Переход с существующей PON на XG-PON 13
6.2	Переход с XG-PON1 на XG-PON2 14
6.3	Наложение XG-PON, или гибридная XG-PON 14
6.4	Варианты архитектуры RE 14
7	Требования к услугам 15
7.1	Услуги 15
7.2	Допуск на максимальную/среднюю задержку передачи сигнала 16
7.3	Максимальный размер пакета Ethernet 16
7.4	Возможности и качество синхронизации 16
7.5	Эмуляция выделенной линии T1/E1 17
7.6	QoS и управление трафиком 17
8	Требования к физическому уровню 18
8.1	Характеристики оптоволокна 18
8.2	Оптические длины волн XG-PON 18
8.3	Битовые скорости 18
8.4	Бюджет оптической мощности 19
8.5	Коэффициент ветвления 19
8.6	Расстояние по оптоволокну 20
9	Требования системного уровня 20
9.1	Энергосбережение и энергоэффективность 20
9.2	Аутентификация/идентификация/шифрование 21
9.3	Динамическое распределение пропускной способности (DBA) 21
9.4	Безопасность для глаз 22
10	Эксплуатационные требования 22
10.1	Управление ONU 22
10.2	Надзор за PON 22
11	Устойчивость и защита в ODN 23

	Стр.
Дополнение I. Практические примеры архитектуры системы XG-PON.....	24
I.1 Службы, UNI и SNI.....	24
I.2 Типичные архитектуры систем	25
I.3 Стеки протоколов служб.....	27
Дополнение II. Требования по синхронизации беспроводных сетей в сценарии СВU	38
Дополнение III. Резервирование внешней сети доступа	39
Дополнение IV. Работа с использованием стандарта IEEE 1588: основные принципы.....	42
Дополнение V. Работа с использованием стандарта IEEE 1588: сценарии использования синхронизации частоты и времени суток	43
Дополнение VI. Работа с использованием стандарта IEEE 1588.....	48
Библиография	49

Рекомендация МСЭ-Т G.987.1

Пассивные волоконно-оптические сети с поддержкой 10-гигабитных скоростей передачи (XG-PON): общие требования

1 Сфера применения

В настоящей Рекомендации рассматриваются общие требования к системам пассивных оптических сетей с поддержкой 10-гигабитных скоростей передачи (XG-PON), которые должны служить руководством и стимулом для разработки спецификаций физического уровня и уровня сходимости передачи. Общие требования включают примеры услуг, интерфейсов "пользователь–сеть" (UNI) и интерфейсов узла услуг (SNI), а также основные конфигурации развертывания, требуемые операторами сетей. Кроме того, в настоящую Рекомендацию включены системные и эксплуатационные требования, направленные на удовлетворение потребностей в поддержке различных коммерческих и бытовых приложений.

В настоящей Рекомендации в максимально возможной степени сохраняются характеристики из [ITU-T G.982] и Рекомендаций МСЭ-Т серий G.983.x и G.984.x. Это призвано обеспечить обратную совместимость с существующими оптическими распределительными сетями (ODN), соответствующими этим Рекомендациям. Кроме того, в настоящей Рекомендации описывается механизм, обеспечивающий возможность беспрепятственного перехода абонентов с гигабитных сетей PON (общий термин для обозначения сетей G-PON и GE-PON) на сети XG-PON с использованием технологии мультиплексирования с разделением по длине волны (WDM), определенной в Рекомендациях МСЭ-Т серии G.984.x.

Имеются два типа сетей XG-PON в зависимости от скорости передачи по восходящей линии – XG-PON1 с восходящим каналом 2,5 Гбит/с и XG-PON2 с восходящим каналом 10 Гбит/с, причем сеть XG-PON2, являющаяся симметричной, может называться XGS-PON. В первом выпуске настоящей Рекомендации рассматривается только сеть XG-PON1, а сеть XG-PON2 будет рассмотрена в более позднем выпуске, когда технология станет более зрелой.

2 Справочные документы

Указанные ниже Рекомендации МСЭ-Т и другие источники содержат положения, которые путем ссылки на них в данном тексте составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все Рекомендации и другие ссылки могут подвергаться пересмотру; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается изучить возможность применения последнего издания Рекомендаций и других источников, перечисленных ниже. Список действующих на настоящее время Рекомендаций МСЭ-Т публикуется регулярно. Ссылка на документ в данной Рекомендации не придает ему как отдельному документу статус Рекомендации.

[ITU-T G.652]	Рекомендация МСЭ-Т G.652 (2009 г.), <i>Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля.</i>
[ITU-T G.657]	Рекомендация МСЭ-Т G.657 (2012 г.), <i>Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля, не чувствительного к потерям наизгибе.</i>
[ITU-T G.703]	Recommendation ITU-T G.703 (2016), <i>Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces.</i>
[ITU-T G.808.1]	Recommendation ITU-T G.808.1 (2014), <i>Generic protection switching – Linear trail and subnetwork protection.</i>
[ITU-T G.810]	Recommendation ITU-T G.810 (1996), <i>Definitions and terminology for synchronization networks.</i>
[ITU-T G.813]	Recommendation ITU-T G.813 (2003), <i>Timing characteristics of SDH equipment slave clocks (SEC).</i>

- [ITU-T G.902] Recommendation ITU-T G.902 (1995), *Framework Recommendation on functional access networks (AN) – Architecture and functions, access types, management and service node aspects.*
- [ITU-T G.982] Recommendation ITU-T G.982 (1996), *Optical access networks to support services up to the ISDN primary rate or equivalent bit rates.*
- [ITU-T G.983.1] Рекомендация МСЭ-Т G.983.1 (2005 г.), *Оптические системы широкополосного доступа, базирующиеся на пассивной оптической сети (PON).*
- [ITU-T G.983.2] Рекомендация МСЭ-Т G.983.2 (2005 г.), *Спецификация интерфейса контроля и управления ONT для системы В-PON.*
- [ITU-T G.983.3] Рекомендация МСЭ-Т G.983.3 (2001 г.), *Система широкополосного оптического доступа с расширенными функциональными возможностями за счет использования распределения по длинам волн.*
- [ITU-T G.984.1] Recommendation ITU-T G.984.1 (2008), *Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): General characteristics.*
- [ITU-T G.984.2] Рекомендация МСЭ-Т G.984.2 (2003 г.), *Пассивные волоконно-оптические сети с поддержкой гигабитных скоростей передачи (G-PON): Спецификация зависимого от физической среды (PMD) уровня.*
- [ITU-T G.984.3] Рекомендация МСЭ-Т G.984.3 (2014 г.), *Пассивные оптические сети с возможностью передачи на гигабитных скоростях (G-PON): Технические характеристики передачи на уровне сходимости.*
- [ITU-T G.984.4] Recommendation ITU-T G.984.4 (2008), *Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): ONT management and control interface specification.*
- [ITU-T G.984.5] Recommendation ITU-T G.984.5 (2007), *Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Enhancement band.*
- [ITU-T G.984.5 Amd.1] Recommendation ITU-T G.984.5 Amd.1 (2009), *Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Enhancement band, plus Amendment 1.*
- [ITU-T G.984.6] Recommendation ITU-T G.984.6 (2008), *Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Reach extension.*
- [ITU-T G.987] Recommendation ITU-T G.987 (2012), *10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations, and acronyms.*
- [ITU-T G.987.2] Recommendation ITU-T G.987.2 (2016), *10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification.*
- [ITU-T G.987.3] Рекомендация МСЭ-Т G.987.3 (2014 г.), *Пассивные волоконно-оптические сети с поддержкой 10-гигабитных скоростей передачи (XG-PON): спецификация уровня конвергенции передачи.*
- [ITU-T G.988] Recommendation ITU-T G.988 (2012), *ONU management and control interface (OMCI) specification.*
- [ITU-T G.8261] Рекомендация МСЭ-Т G.8261/ Y1361 (2013 г.), *Аспекты хронирования и синхронизации в пакетных сетях.*
- [ITU-T G.8262] Рекомендация МСЭ-Т G.8262/Y.1362 (2015 г.), *Характеристики хронирования ведомых тактовых генераторов оборудования синхронного Ethernet.*
- [ITU-T J.185] Recommendation ITU-T J.185 (2012), *Transmission equipment for transferring multi-channel television signals over optical access networks by frequency modulation conversion.*

[ITU-T J.186]	Recommendation ITU-T J.186 (2008), <i>Transmission equipment for multi-channel television signals over optical access networks by sub-carrier multiplexing (SCM)</i> .
[ITU-T Y.2001]	Рекомендация МСЭ-Т Y.2001 (2004 г.), <i>Общий обзор СПИ</i> .
[ITU-T Y.2201]	Рекомендация ITU-T Y.2201 (2009 г.), <i>Требования к СПИ МСЭ-Т и возможности этих сетей</i> .
[DSL Forum TR-156]	Broadband Forum TR-156 (2008), <i>Using G-PON Access in the context of TR-101</i> .
[IEC 60825-2]	IEC 60825-2 (2007), <i>Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS)</i> .
[IEEE 1588]	IEEE 1588-2008, <i>IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems</i> .
[MEF 10.1]	MEF 10.1 (2006), <i>Ethernet Service Attributes Phase 2</i> .

3 Определения

3.1 Термины, определенные в других документах

См. пункт 3 [ITU-T G.987].

3.2 Термины, определенные в настоящей Рекомендации

Отсутствуют.

4 Сокращения и акронимы

См. пункт 4 [ITU-T G.987].

Кроме того, в настоящей Рекомендации используются следующие сокращения.

FTTO	Fibre To The Office	Волокно до офиса
MTU	Multi-Tenant Unit	Многопользовательский блок
XGS-PON	10 Gbit/s Symmetrical Passive Optical Network	Симметричная пассивная оптическая сеть 10 Гбит/с
XTC	XG-PON Transmission Convergence	Конвергенция передачи XG-PON

5 Архитектура оптической сети доступа

5.1 Архитектура сети

Оптический сегмент системы локальной сети доступа может быть либо активным, либо пассивным и иметь архитектуру точка–точка либо точка – много точек. На рисунке 5-1 показаны рассматриваемые архитектуры, такие как волокно до дома (FTTH), волокно до сотовой станции (FTTCell), волокно до здания/бордюра (FTTB/C), волокно до распределительного шкафа (FTTCab) и т. д. Общим элементом всех архитектур, показанных на рисунке 5-1, является оптическая распределительная сеть (ODN); следовательно, распространенность этой системы может возрасти до мировых масштабов.

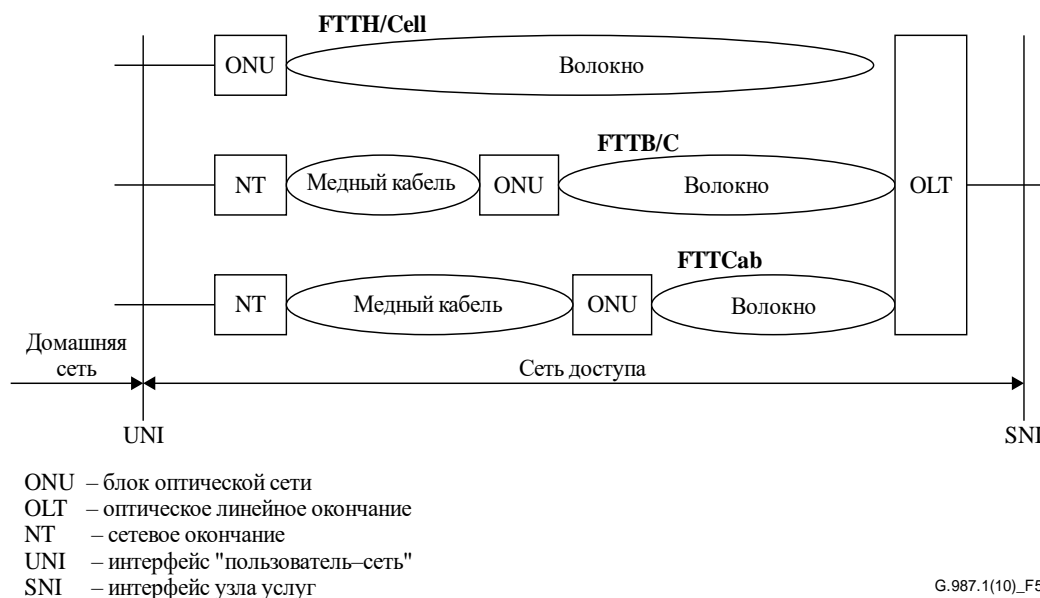


Рисунок 5-1 – Архитектура сети

ПРИМЕЧАНИЕ. – ONU, поддерживающий FTTH, обычно называют ONT (см. [ITU-T G.987]).

Разница между этими вариантами FTТх заключается главным образом в поддерживаемых услугах и местоположении ONU, а не в самой ODN, поэтому в настоящей Рекомендации их можно рассматривать как один вариант. Следует отметить, что один оптический интерфейс OLT может сочетаться с несколькими сценариями, описанными ниже.

Для того чтобы обеспечить дополнительный оптический бюджет в целях увеличения расстояния и/или дополнительного пассивного разветвления, необходимо повысить мощность расширителей дальности действия [ITU-T G.984.6], описанных в Рекомендациях МСЭ-Т серии G.984.x, с помощью XG-PON.

5.1.1 Сценарий FTТВ

Сценарий FTТВ делится на два вида: сценарий с блоками для многоквартирных домов (MDU) и сценарий с многопользовательскими блоками (MTU) для предприятий или смешанных сред. Каждому сценарию соответствуют следующие категории услуг.

5.1.1.1 FTТВ для жильцов многоквартирных домов, обслуживаемых MDU

- Асимметричные широкополосные услуги (например, IPTV, услуги цифрового вещания, видео по требованию (VoD), загрузка файлов и т. д.).
- Симметричные широкополосные услуги (например, широковещательная передача контента, электронная почта, обмен файлами, дистанционное обучение, телемедицина, онлайн-игры и т. д.).
- POTS – сеть доступа должна иметь возможность предоставлять гибкие услуги узкополосной телефонной связи с использованием эмуляции (полное воспроизведение традиционных услуг) или имитации (предоставление почти таких же услуг, как традиционные).

5.1.1.2 FTТВ для бизнес-пользователей, обслуживаемых MTU

- Симметричные широкополосные услуги (например, групповое программное обеспечение, широковещательная передача контента, электронная почта, обмен файлами и т. д.).
- POTS – сеть доступа должна иметь возможность предоставлять гибкие услуги узкополосной телефонной связи с использованием эмуляции (полное воспроизведение традиционных услуг) или имитации (предоставление почти таких же услуг, как традиционные).
- Частная линия – сеть доступа должна иметь возможность предоставлять гибкие услуги частной линии по нескольким тарифам.

5.1.2 Сценарии FTТCurb и FTТCab

В рамках этих сценариев рассматриваются следующие категории услуг:

- асимметричные широкополосные услуги (например, IPTV, услуги цифрового вещания, VoD, загрузка файлов и т. д.);
- симметричные широкополосные услуги (например, широковещательная передача контента, электронная почта, обмен файлами, дистанционное обучение, телемедицина и т. д.);
- POTS – сеть доступа должна иметь возможность предоставлять гибкие услуги узкополосной телефонной связи с использованием эмуляции (полное воспроизведение традиционных услуг) или имитации (предоставление почти таких же услуг, как традиционные);
- транзитная передача xDSL.

5.1.3 Сценарий FTTH

В рамках этого сценария рассматриваются следующие категории услуг:

- асимметричные широкополосные услуги (например, IPTV, услуги цифрового вещания, VoD, загрузка файлов и т. д.);
- симметричные широкополосные услуги (например, широковещательная передача контента, электронная почта, обмен файлами, дистанционное обучение, телемедицина, онлайн-игры и т. д.);
- POTS – сеть доступа должна иметь возможность предоставлять гибкие услуги узкополосной телефонной связи с использованием эмуляции (полное воспроизведение традиционных услуг) или имитации (предоставление почти таких же услуг, как традиционные).

5.1.4 Сценарий FTTO

Сценарий волокно до офиса (FTTO) относится к ONU, предназначенным для клиентов из сферы малого бизнеса. В рамках этого сценария рассматриваются следующие категории услуг:

- симметричные широкополосные услуги (например, групповое программное обеспечение, широковещательная передача контента, электронная почта, обмен файлами и т. д.);
- POTS – сеть доступа должна иметь возможность предоставлять гибкие услуги узкополосной телефонной связи с использованием эмуляции (полное воспроизведение традиционных услуг) или имитации (предоставление почти таких же услуг, как традиционные);
- частная линия – сеть доступа должна иметь возможность предоставлять гибкие услуги частной линии по нескольким тарифам.

5.1.5 Сценарий беспроводной сети FTTCcell

В рамках этого сценария ONU будут называться блоками транзитной передачи до сотовой станции (СВU), которые должны обеспечивать соединение с базовыми станциями беспроводной сети:

- симметричные услуги TDM (например, транзитная передача до сотовой станции 2G);
- симметричные/асимметричные пакетные широкополосные услуги (например, транзитная передача до сотовой станции 3G/4G);
- точки беспроводного доступа.

На рисунке 5-2 представлены примеры сценариев применения XG-PON.

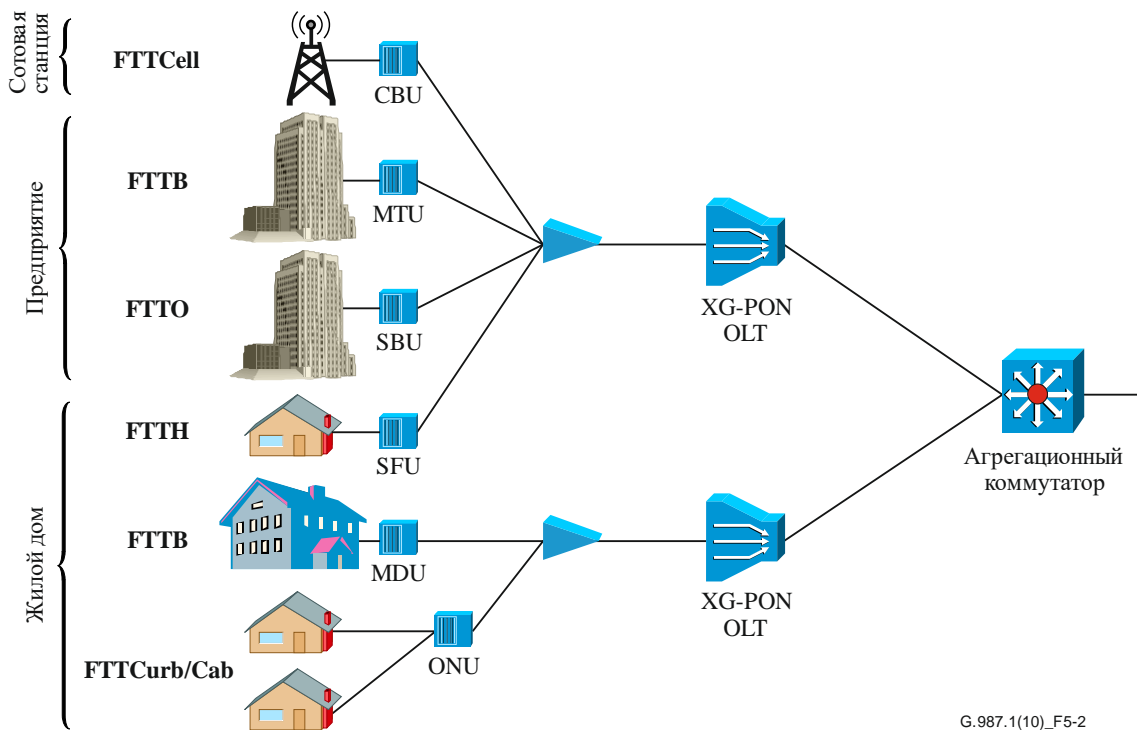


Рисунок 5-2 – Сводная схема некоторых сценариев XG-PON

5.1.6 Условия окружающей среды в сценариях работы вне помещений

Для поддержки широкого спектра сценариев и приложений необходимо определить оптические параметры OLT и ONU, чтобы обеспечить работу вне помещений.

5.2 Эталонная конфигурация

На рисунке 5-3 представлена простая общая эталонная конфигурация XG-PON, очень похожая на соответствующую конфигурацию из Рекомендаций МСЭ-Т серий G.983.x и G.984.x.

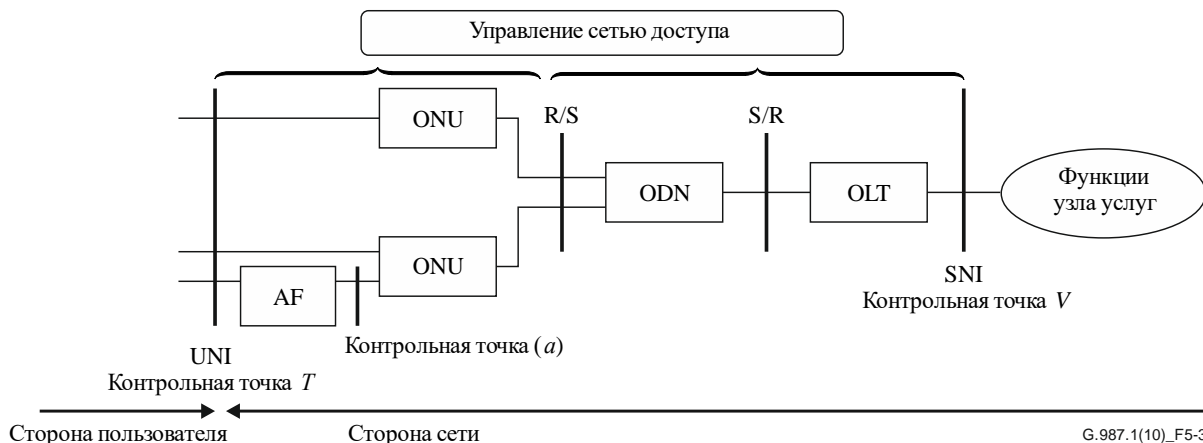


Рисунок 5-3 – Общая эталонная конфигурация XG-PON

В дополнение к рисунку 5-3 в случае развертывания сети XG-PON с услугой наложения РЧ-видеосигналов ODN может использовать устройство WDM или оптический соединитель/разветвитель для объединения сигналов XG-PON и РЧ-видеосигналов. Соединитель/разветвитель можно также использовать для обеспечения разветвления на центральной станции (СО). Такая архитектура показана на рисунках 5-5 и 5-6.

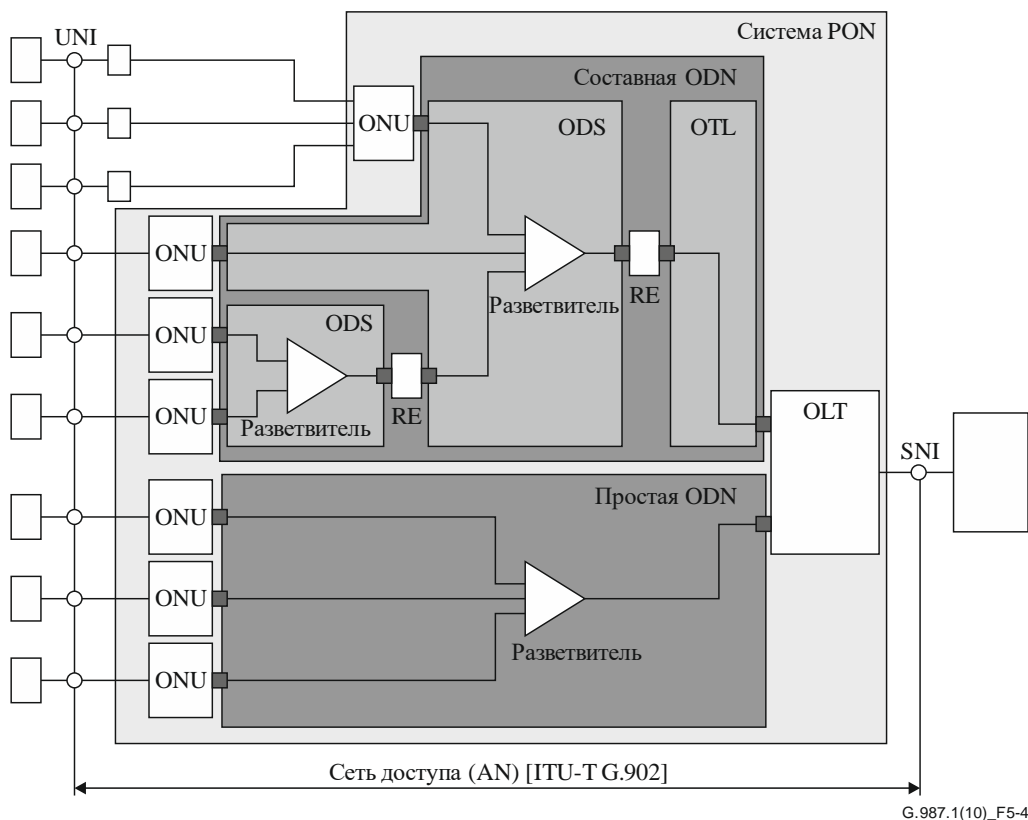


Рисунок 5-4 – Эталонная архитектура сети доступа

На рисунке 5-4 представлена эталонная архитектура общей оптической сети доступа (OAN), применяемая для XG-PON. В нее входят OLT, ряд ONU и промежуточная распределительная оптическая сеть. Как показано на рисунке 5-4, ODN XG-PON может состоять из одной пассивной оптической распределительной секции (ODS) или группы пассивных ODS, связанных с расширителями дальности действия (RE) [ITU-T G.987].

5.2.1 Варианты архитектуры ODN

Для сосуществования XG-PON1 или XG-PON2 и дополнительных услуг, таких как G-PON и услуги распределения видеосигналов, можно использовать архитектуру ODN разного типа. На рисунках 5-5 и 5-6 приведены эталонные схемы архитектур оптической сети доступа. Предполагается, что сигналы XG-PON (1 или 2), G-PON и видеосигналы передаются по одной и той же сети ODN с применением фильтров блокировки по длине волны (WBF).

Следует отметить, что на этих схемах представлены всего лишь эталонные конфигурации ODN и WBF, и они не ограничивают разнообразие будущих конструкций и реализаций. Кроме того, вопрос сосуществования XG-PON1 и XG-PON2 выходит за рамки данного пункта, поскольку оно не влияет на конфигурацию WDM.

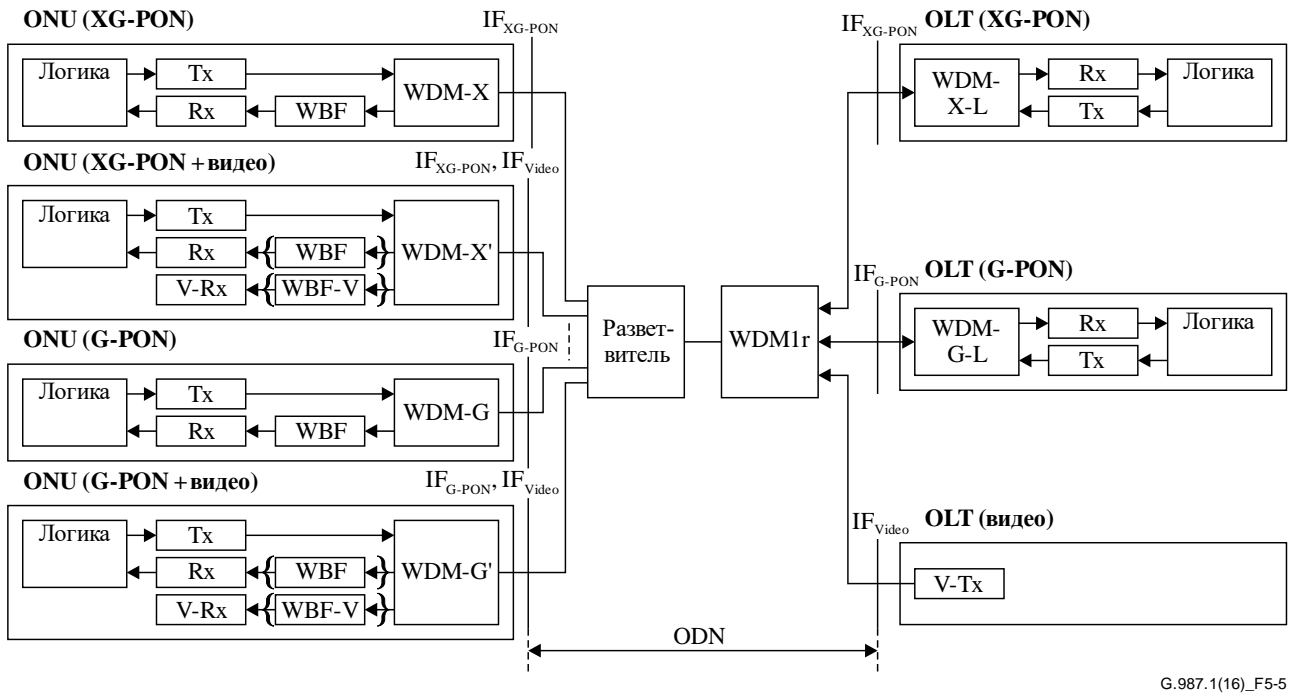


Рисунок 5-5 – Эталонная конфигурация оптической сети для обеспечения сосуществования XG-PON и G-PON с применением WDM1r

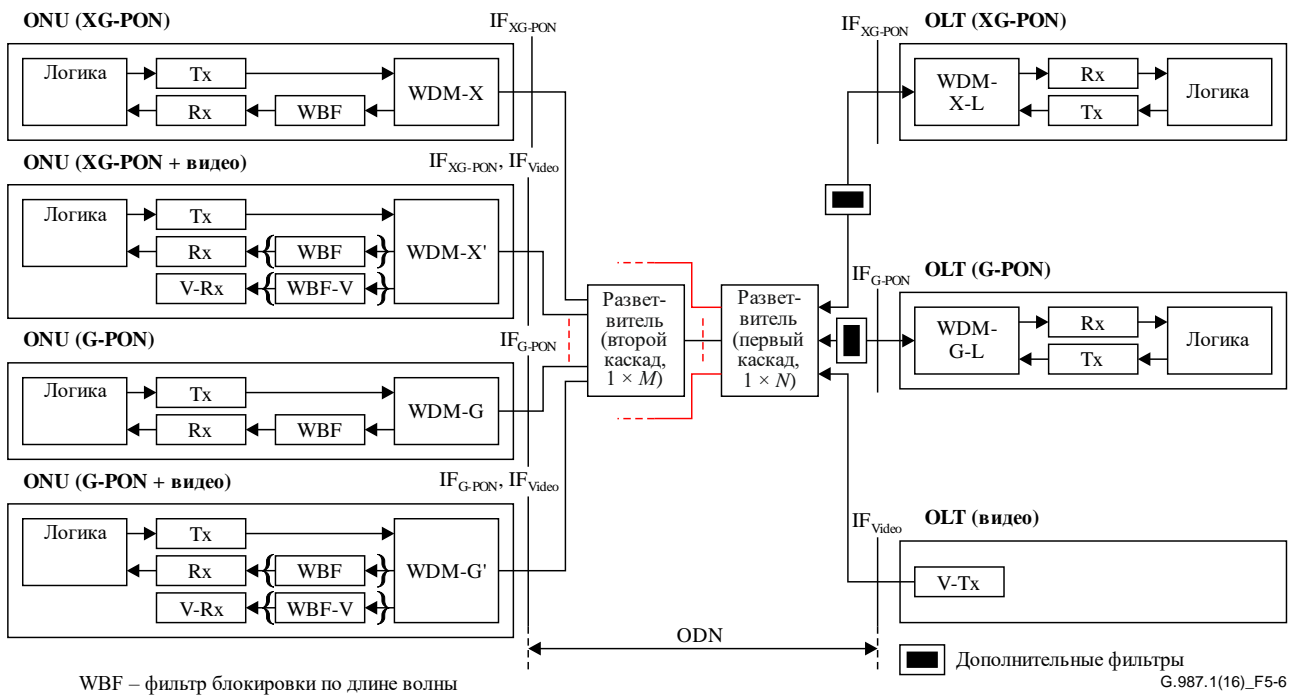


Рисунок 5-6 – Эталонная конфигурация оптической сети для обеспечения сосуществования XG-PON с применением разветвителя

ПРИМЕЧАНИЕ. – Если предполагается обеспечение сосуществования сетей XG-PON с применением разветвителя, то в OLT при реализации WDM-X-L и WDM-G-L следует использовать усиленную фильтрацию или дополнительную фильтрацию (как показано на рисунке 5-6 с изменениями, указанными выше), чтобы гарантировать требуемую изоляцию. Эти фильтры, в тех случаях когда они используются в вариантах реализации OLT, выходят за рамки [ITU-T G.987].

Ниже перечислены функции WBF и WDM, обеспечивающие возможность сосуществования G-PON и XG-PON, как показано на рисунках 5-5 и 5-6:

- Tx – оптический передатчик;
- Rx – оптический приемник;
- V-Tx – передатчик видеосигналов;
- V-Rx – приемник видеосигналов;
- WBF – фильтр блокировки по длине волны для блокировки помех в приемнике;
- WBF-V – фильтр блокировки по длине волны для блокировки помех в приемнике видеосигналов;
- WDM-X – фильтр WDM в ONU XG-PON для объединения/разделения длин волн восходящего и нисходящего потоков XG-PON;
- WDM-X' – фильтр WDM в ONU XG-PON для объединения/разделения длин волн восходящего и нисходящего потоков XG-PON и выделения видеосигнала(ов);
- WDM-G – фильтр WDM в ONU G-PON для объединения/разделения длин волн восходящего и нисходящего потоков G-PON;
- WDM-G' – фильтр WDM в ONU G-PON для объединения/разделения длин волн восходящего и нисходящего потоков G-PON и выделения видеосигнала(ов);
- WDM-X-L – фильтр WDM в OLT XG-PON для объединения/разделения длин волн восходящего и нисходящего потоков XG-PON;
- WDM-G-L – фильтр WDM в OLT G-PON для объединения/разделения длин волн восходящего и нисходящего потоков G-PON в одном или нескольких каналах;
- WDM1r – фильтр WDM, который может быть расположен на центральной станции для объединения/разделения длин волн сигналов XG-PON и G-PON и иногда используется для объединения видеосигналов.

5.2.2 Рабочая длина волны G-PON и XG-PON

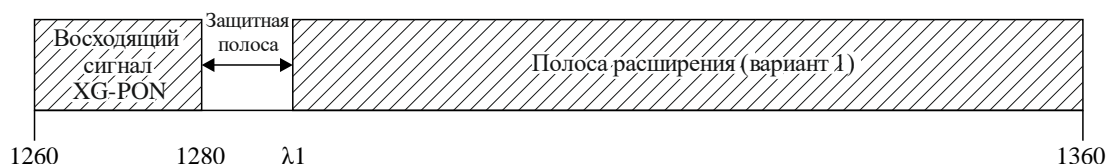
Диапазон длин волн сигнала нисходящего потока XG-PON1 в одноволоконной системе составляет 1575–1580 нм (1575–1581 нм для применения вне помещений), а диапазон длин волн сигнала восходящего потока XG-PON1 – 1260–1280 нм. В данном пункте переопределяется зарезервированный диапазон длин волн и задается допуск на сигналы помех ONU XG-PON1 для обеспечения возможности сосуществования XG-PON и дополнительных услуг, таких как G-PON и видеослужбы.

На рисунке 5-7 и в таблице 5-1 приведен план распределения длин волн, включая диапазоны длин волн, зарезервированные для дополнительных услуг. Диапазон длин волн сигнала нисходящего потока XG-PON называется основной полосой. Зарезервированные диапазоны называются полосой расширения. Полоса расширения может использоваться для G-PON и/или видеослужб. Диапазон длин волн для видеослужб остается таким, как он определен в [ITU-T G.983.3].

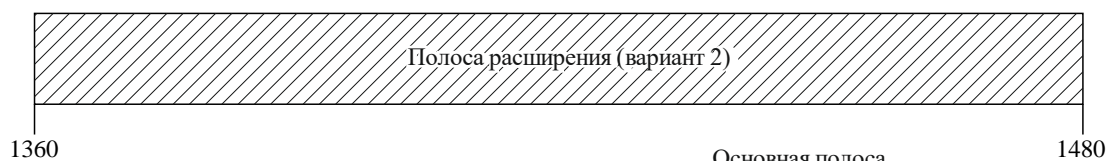
Защитная полоса отделяет восходящий и нисходящий потоки XG-PON от полосы расширения. Помехи между сигналами в этих двух полосах приводят к взаимному ухудшению качества сигнала, поэтому их необходимо уменьшить до незначительного уровня. Для получения требуемой изоляции вне защитной полосы используются WBF. Значения длин волн, указанные в таблице 5-1, учитывают защитные полосы, которые можно обеспечить с помощью имеющихся на рынке недорогих WBF.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В схеме WDM длины волн в полосе расширения можно использовать для передачи не только нисходящего, но и восходящего сигнала.

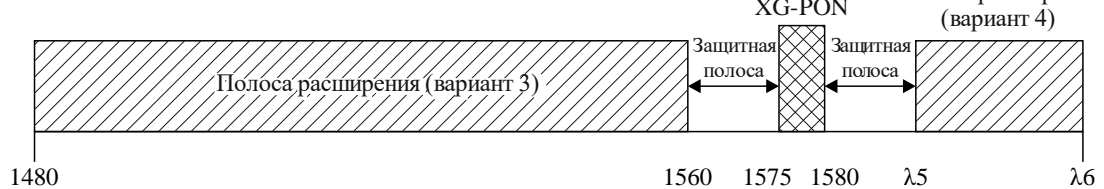
Диапазон длин волн 1,3 мкм



Промежуточный диапазон длин волн



Диапазон длин волн 1,5 мкм



G.987.1(16)_F5-7

Рисунок 5-7 – Распределение длин волн

Таблица 5-1. Параметры распределения длин волн на рисунке 5-7

Элементы	Условные обозначения	Единицы измерения	Номинальное значение	Примеры применения
Восходящий поток XG-PON1				Для использования в восходящем потоке XG-PON1
Нижний предел	–	нм	1260	
Верхний предел	–	нм	1280	
Полоса расширения (вариант 1)				Для использования в восходящем потоке G-PON (уменьшенный вариант 1290–1330 нм)
Нижний предел	$\lambda 1$	нм	1290	
Верхний предел	–	нм	1330	
Полоса расширения (вариант 2)				Для будущего использования. ПРИМЕЧАНИЕ. – Эти значения носят информативный характер. Потери в этой полосе не гарантированы ни для компонентов оптического разветвления PON (то есть разветвителей мощности), указанных в [b-ITU-T G.671], ни для оптических волокон, описанных в [ITU-T G.652] А и В (кроме волокон с низким пиком поглощения воды).
Нижний предел	–	нм	1360 (информативное)	
Верхний предел	–	нм	1480 (информативное)	
Полоса расширения (вариант 3)				Для использования в нисходящем потоке G-PON (1480–1500 нм) и/или для услуг распределения видеосигналов (1550–1560 нм)
Нижний предел	–	нм	1480	
Верхний предел	–	нм	1560	
Нисходящий поток XG-PON (основная полоса)				Для использования в нисходящем потоке XG-PON1 (примечание 2)
Нижний предел	–	нм	1575	
Верхний предел	–	нм	1580	

Таблица 5-1. Параметры распределения длин волн на рисунке 5-7

Элементы	Условные обозначения	Единицы измерения	Номинальное значение	Примеры применения
Полоса расширения (вариант 4)				Для будущего использования. ПРИМЕЧАНИЕ. – Значение верхнего предела выбирается оператором из диапазона от TBD (подлежит определению) до 1625 нм с учетом следующих факторов: потери на изгибах оптического волокна, которые возрастают с увеличением длины волны; потери в фильтре, который разделяет/объединяет контрольный сигнал и сигнал(ы) пользователя (при использовании оптической системы контроля).
Нижний предел	λ_5	нм	Подлежит определению (TBD)	
Верхний предел	λ_6	нм	TBD – 1625	
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – При наличии нескольких длин волн в одной и той же полосе расширения следует рассматривать подходящие защитные полосы. ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В случае OLT-операций вне помещений допустим расширенный диапазон длин волн 1575–1581 нм.				

5.2.3 Интерфейс "пользователь–сеть" (UNI) и интерфейс узла услуг (SNI)

Как показано на рисунке 5-3, ONU предоставляет интерфейс UNI конечным пользователям, а OLT – интерфейс SNI для базовой сети. Типы интерфейсов UNI/SNI зависят от услуг, предоставляемых поставщиком услуг. См. [ITU-T G.902].

- Примеры UNI описаны в пункте I.1.2.
- Примеры SNI описаны в пункте I.1.3.

5.2.4 Интерфейс в контрольных точках S/R и R/S

Интерфейс в контрольных точках S/R и R/S оптического порта OLT и ONU обозначается IF_{XG-PON}. Это PON-интерфейс, который поддерживает все элементы протокола, необходимые для передачи между OLT и ONU.

5.2.5 Уровневая структура оптической сети XG-PON

Эталонная модель протокола подразделяется на уровень физической среды, уровень конвергенции передачи (ТС) и уровень тракта (см. [ITU-T G.902] и Рекомендации серии МСЭ-Т G.984.x). Пример, относящийся к XG-PON, приведен в таблице 5-2. В сети XG-PON уровень тракта соответствует уровню инкапсуляции X-GEM.

Таблица 5-2. Уровневая структура сети XG-PON

Уровень тракта			
Уровень среды передачи (примечание)	Уровень ХТС	Адаптация	Инкапсуляция X-GEM
		Передача PON	DBA Выделение полосы пропускания для порта X-GEM Обработка QoS и управление T-CONT Конфиденциальность и безопасность Выравнивание кадров Ранжирование Синхронизация пакетов Синхронизация битов/байтов
	Уровень физической среды		Адаптация E/O Мультиплексирование с разделением по длине волны Волоконное соединение
ПРИМЕЧАНИЕ. – Уровень среды передачи должен обеспечивать соответствующие функции OAM.			

Уровень ХТС подразделяется на подуровни передачи и адаптации PON, что соответствует подуровню конвергенции передачи сети X-GEM, переносящей данные разного типа. Подуровень передачи PON завершает требуемую функцию передачи в ODN. Функции, специфичные для PON, завершаются подуровнем передачи PON, что не прослеживается из подуровня адаптации.

Рассматриваются два уровня – зависимый от физической среды уровень и уровень ТС.

6 Сценарии перехода

Гигабитные сети PON, такие как G-PON (серия Рекомендаций МСЭ-Т G.984.x) и 1G-EPON ([IEEE 802.3]), стандартизованы и в настоящее время развертываются во всем мире. Ввиду постоянного роста спроса на полосу пропускания со стороны потребительских и коммерческих приложений наиболее общим требованием к сетям PON следующего поколения (NG-PON) является обеспечение большей пропускной способности по сравнению с гигабитными PON. Кроме того, учитывая крупные вложения денежных средств в развертывание гигабитных PON, главным образом в создание волоконной инфраструктуры и соответствующие затраты времени на это, NG-PON должны защитить инвестиции в существующие мегабитные сети PON, гарантируя беспрепятственный и плавный переход абонентов с гигабитных PON на NG-PON. Сосуществование XG-PON и G-PON, которое рассматривается в настоящей Рекомендации, обеспечивается благодаря расширениям плана длин волн, описанным в [ITU-T G.984.5 Amd.1], где также представлена возможность трансляции вещательного телевидения в отдельной полосе. Сосуществование с другими существующими системами PON требует дальнейшего изучения и в этой версии настоящей Рекомендации не рассматривается.

Существует несколько сценариев перехода для удовлетворения потребностей различных поставщиков услуг. Это объясняется тем, что разные стратегии внедрения услуг могут влиять на требования, предъявляемые к характеристикам NG-PON. В этом пункте описаны два возможных сценария перехода.

Сценарий перехода на основе действующих сетей PON

Этот сценарий относится к развертыванию сети в тех местах, где уже имеется действующая система PON и операторы решили использовать существующую волоконную инфраструктуру для предоставления услуги передачи данных с более высокой скоростью с использованием XG-PON. Некоторым абонентам существующей гигабитной системы PON может потребоваться переход на такие более высокоскоростные услуги, и оператор может перевести этих абонентов на систему XG-PON, в то время как другие абоненты будут продолжать обслуживаться гигабитной PON. В определенный момент, когда абонентов гигабитной PON останется мало, некоторые операторы могут осуществить принудительный перевод абонентов с гигабитной PON на XG-PON. При этом сценарии вполне вероятно, что сосуществование гигабитных PON и XG-PON будет продолжаться в течение относительно длительного времени. В аналогичном, но несколько отличающемся сценарии

перехода оператор сети может пожелать полностью заменить существующую гигабитную PON на XG-PON. В этом случае будет целесообразно одновременно эксплуатировать гигабитную PON и XG-PON и переводить абонентов по одному. Но окно обновления становится намного короче.

При этом сценарии предъявляются следующие общие требования:

- в том случае, если ресурс волокна ограничен, должна поддерживаться работа гигабитной PON и XG-PON по одному и тому же волокну;
- прерывание обслуживания для непереуведенных абонентов должно быть сведено к минимуму;
- в случае полного перехода XG-PON должна поддерживать/эмулировать все унаследованные услуги G-PON.

Сценарий перехода на основе создания новых PON с нуля

Перевод сети доступа на инфраструктуру FTTx требует крупнейших инвестиций со стороны поставщиков услуг и может занять много времени. Когда технология XG-PON станет зрелой, поставщики услуг могут заинтересоваться использованием XG-PON для замены меднокабельной инфраструктуры или развертывания сети в совершенно новом месте в целях повышения пропускной способности и/или коэффициента ветвления. Место, в котором гигабитной PON ранее не было, называется "зеленое поле PON". Этот сценарий поможет поставщикам услуг добиться лучших экономических показателей, обеспечивая такое же или лучшее предложение полосы пропускания для каждого пользователя по сравнению с гигабитной PON. В этом сценарии сосуществование с гигабитными PON не требуется.

6.1 Переход с существующей PON на XG-PON

Чтобы обеспечить возможность такого плавного перехода, во всех ONU должно быть реализовано наложение посредством технологии WDM в соответствии с распределением оптических длин волн, описанным в [ITU-T G.984.5 Amd.1]. Разумеется, за оператором останется выбор между использованием этой возможности или осуществлением полной замены активных устройств PON с первого дня процесса модернизации.

В переходный период, чтобы обеспечить одновременную работу G-PON и XG-PON, в сети устанавливается объединитель/разветвитель WDM1r, как показано на рисунке 6-1.

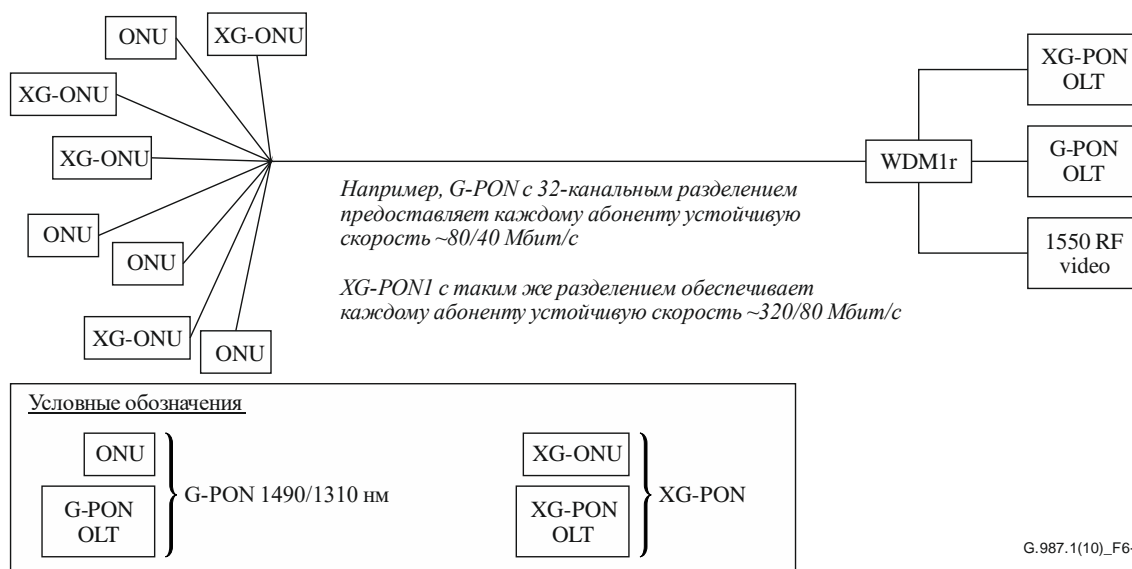


Рисунок 6-1 – Пример сосуществования G-PON и XG-PON с возможностью наложения видеосигналов

Может использоваться сосуществование XG-PON в любой комбинации. В частности, XG-PON может сосуществовать только с наложением РЧ-видеосигналов, требуемые характеристики и параметры WDM1r приведены в [ITU-T G.984.5 Amd.1].

6.2 Переход с XG-PON1 на XG-PON2

Необходимость сосуществования XG-PON1 и XG-PON2 по-прежнему требует дальнейшего изучения и поэтому в этой версии не рассматривается, но, возможно, будет рассмотрена в следующей пересмотренной версии. Независимо от потребности в сосуществовании желательно поддерживать общий уровень ТС для XG-PON1 и XG-PON2, определенный на основе ТС систем G-PON с необходимыми усовершенствованиями.

6.3 Наложение XG-PON, или гибридная XG-PON

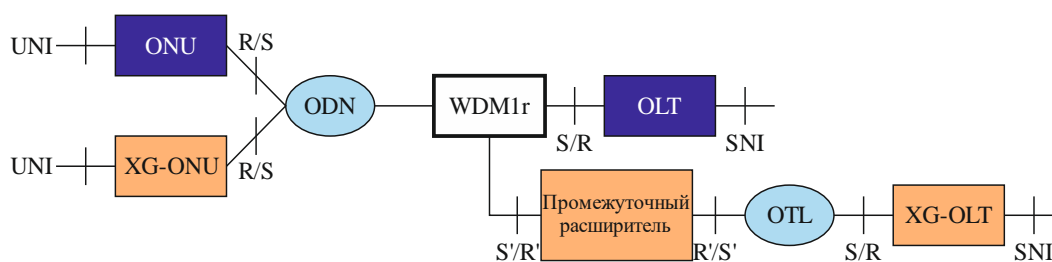
Возможно наложение нескольких сетей XG-PON на одну и ту же ODN для получения еще большей пропускной способности с использованием WDM. В таких расширениях решающее значение для функционирования этого подхода, предусматривающего наложение, имеет распределение спектра. Требования в отношении наложения XG-PON, или гибридной XG-PON, являются предметом дальнейшего изучения и будут изложены в следующей пересмотренной версии.

6.4 Варианты архитектуры RE

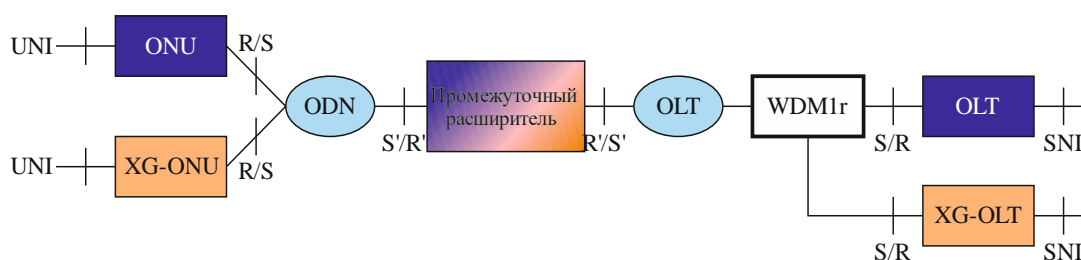
В данном пункте основное внимание уделяется промежуточным архитектурам, поскольку односторонние решения вроде тех, что описаны в [ITU-T G.984.6], станут частью каждого отдельного технологического решения и как таковые будут рассматриваться в качестве вариантов реализации OLT.

В мире XG-PON требуются две основные архитектуры с применением расширителей дальности действия, как показано на рисунке 6-2:

- одна для реализаций, в которых при переходе с G-PON на XG-PON будет происходить консолидация сети;
- другая для реализаций, в которых расширители RE уже развернуты для систем G-PON, и в этом случае будут возникать две ситуации в зависимости от технологии развернутого ранее RE:
 - либо RE с самого начала обладал возможностью покрытия требований G-PON и XG-PON; либо
 - развернутый ранее RE нужно заменить тем, который далее будем именовать RE "комбо".



Сценарий 1. Наложение G-PON/XG-PON с промежуточным расширителем только для XG-PON



Сценарий 2. Наложение G-PON/XG-PON с промежуточным расширителем

G.987.1(10)_F6-2

Рисунок 6-2 – Сценарии перехода с применением RE

Целью применения промежуточного RE является обеспечения дополнительного оптического бюджета с нормальными характеристиками OLT и ONU, чтобы можно было одновременно использовать все возможности технологии как по расстоянию, так и по разделению без выхода на максимум. При применении таких RE в требования, предъявляемые к OLT и ONU, не должны вноситься какие-либо изменения во избежание любых проблем совместимости. В среде XG-PON также будут рассматриваться многие другие варианты, разрабатываемые для [ITU-T G.984], которые направлены на экономию волокна в части OLT. Это является предметом дальнейшего изучения.

7 Требования к услугам

7.1 Услуги

Сети электросвязи развиваются в направлении от традиционных сетей с коммутацией каналов к сетям последующих поколений (СПП), основанным на коммутации пакетов (например, ориентированным на IP/Ethernet), которые способны эффективно предоставлять различные услуги на общей платформе (см. [ITU-T Y.2201] и [ITU-T Y.2001]). В дополнение к новым пакетным услугам СПП предоставляют и традиционные услуги, такие как TDM и POTS, используя либо эмуляцию (полное воспроизведение традиционной услуги), либо имитацию (предоставление почти такой же услуги, как традиционная).

От системы NG-PON требуется полная поддержка различных услуг для домашних абонентов, бизнес-клиентов и приложений транзитной передачи мобильного трафика путем обеспечения высокого качества обслуживания и высокой скорости передачи данных. Для согласования с концепцией СПП система NG-PON должна поддерживать традиционные услуги, такие как POTS и T1/E1, используя эмуляцию и/или имитацию, как показано в таблице 7-1.

- Вариант эмуляции обеспечивает передачу трафика в виде пакетов по сети PON (то есть от ONU до OLT) и, возможно, с некоторым уровнем агрегирования, а затем преобразует его обратно в соответствующий традиционный формат для передачи по традиционной сети.
- Вариант имитации – это сквозная доставка пакетов от устройства адаптации терминала CPE или ONU до сети доступа NG-PON и пакетной сети СПП.

Примеры услуг NG-PON приведены в таблице 7-1.

Таблица 7-1 – Примеры услуг NG-PON

№ п/п	Услуга		Примечание
1	Телефония	VoIP	
2		POTS	Среднее время задержки передачи сигнала между контрольными точками <i>T</i> и <i>V</i> (или (<i>a</i>) и <i>V</i>) должно быть менее 1,5 мс. В случае использования в сети эхоподавления среднее время задержки передачи сигнала между контрольными точками <i>T</i> и <i>V</i> (или (<i>a</i>) и <i>V</i>) в системе на основе PON может быть более продолжительным, если выполняются требования по сквозной задержке передачи. Должен обеспечиваться опорный сигнал 8 кГц (см. примечание). Сигнал в контрольных точках <i>T</i> и <i>V</i> должен быть непрерывным. Предполагается эмуляция и/или имитация, как указано в [ITU-T Y.2201]. Например, передача пакетированного голосового сигнала через ONU
3	ТВ (в режиме реального времени)	IPTV	Транспортировка с использованием многоадресной/одноадресной IP-передачи
		Цифровое телевизионное радиовещание	Транспортируется с использованием наложения РЧ-видеосигналов (см. [ITU-T G.983.3], [ITU-T J.185] и [ITU-T J.186])

Таблица 7-1 – Примеры услуг NG-PON

№ п/п	Услуга		Примечание
4	Выделенная линия	T1	Скорость передачи данных в канале 1,544 Мбит/с. Среднее время задержки передачи сигнала между контрольными точками <i>T</i> и <i>V</i> (или (<i>a</i>) и <i>V</i>) должно быть менее 1,5 мс. Предполагается главным образом эмуляция
5		E1	Скорость передачи данных в канале 2,048 Мбит/с. Среднее время задержки передачи сигнала между контрольными точками <i>T</i> и <i>V</i> (или (<i>a</i>) и <i>V</i>) должно быть менее 1,5 мс. Предполагается главным образом эмуляция
6	Высокоскоростной доступ в интернет		UNI обычно представляет собой гигабитный Ethernet
7	Транзитная передача мобильного трафика		Должна поддерживаться точная синхронизация по частоте/фазе/времени
8	Услуги VPN L2		Услуги Ethernet и т. д.
9	Услуги IP		VPN L3, VoIP и т. д.
ПРИМЕЧАНИЕ. – См. [ITU-T G.810], [ITU-T G.813], [ITU-T G.8261], [ITU-T G.703] и [ITU-T G.8262].			

Для коммерческих приложений система XG-PON должна предоставлять доступ к услугам Ethernet, таким как услуги виртуального Ethernet-соединения пункта с пунктом, многих пунктов со многими пунктами и корневого многопунктового соединения (соответственно E-Line, E-LAN и E-Tree). Система XG-PON также должна поддерживать точную синхронизацию по частоте/фазе/времени для транзитной передачи мобильного трафика.

В качестве общего требования система XG-PON должна поддерживать IPv6.

7.2 Допуск на максимальную/среднюю задержку передачи сигнала

XG-PON должна обеспечивать услуги, требующие максимальной средней задержки передачи сигнала 1,5 мс.

Если говорить конкретнее, системы XG-PON должны иметь максимальное среднее время задержки передачи сигнала менее 1,5 мс между контрольными точками *T* и *V* (или (*a*) и *V* – в зависимости от предпочтений оператора). См. пункт 12 [ITU-T G.982]. Это значение не учитывает задержки, вносимые функциями адаптации, такими как эмуляция каналов.

Хотя участком измерения задержки является участок между контрольными точками *T* и *V* для системы FTTH или (*a*) и *V* для другого приложения из [ITU-T G.982], в системе XG-PON контрольные точки не ограничиваются конфигурацией системы.

7.3 Максимальный размер пакета Ethernet

Технология XG-PON должна поддерживать кадры Ethernet с максимальной длиной 2000 байтов. Факультативно должны поддерживаться крупные кадры длиной более 2000 байтов и до 9000 байтов (обычно считается верхним пределом для крупных кадров). Если крупные кадры длиной более 2000 байтов используются для услуг, не зависящих от задержки, в той же сети PON, то передача таких крупных кадров не должна приводить к ухудшению качества услуг, чувствительных к задержке, а также к ухудшению синхронизации пакетной сети.

7.4 Возможности и качество синхронизации

Сетевым операторам выгодно использовать инфраструктуру и системы XG-PON для обеспечения высокой пропускной способности станций сетей сотовой подвижной связи. Для этого требуется

передача точной синхронизации и хронирования на сотовые станции. Для транзитной передачи, как правило, используются интерфейсы T1 или E1, которые обеспечивают необходимую синхронизацию и хронирование. Однако все большую важность приобретает обеспечение точной синхронизации и хронирования по пакетным интерфейсам (например, Ethernet), особенно для сотовых станций, работающих по беспроводной сети 3G/4G, там, где нет интерфейса T1/E1.

OLT XG-PON, используемые для этих целей, должны быть способны принимать высококачественные сигналы синхронизации, а также служить в качестве ведущего источника сигнала хронирования для ONU. ONU должны обеспечивать распределение сигналов точного хронирования/синхронизации на сотовые станции для удовлетворения их требований синхронизации по частоте/фазе/времени.

Для этой цели система XG-PON должна обеспечивать функцию передачи точной информации о фазе/времени между OLT и ONU с учетом задержки распространения и задержки обработки. Кроме того, погрешность, возникающая в сегменте PON, должна быть намного меньше точности опорного сигнала, чтобы оставался запас для других сегментов сети. В таблице П.1 содержится сводка требований по синхронизации для различных технологий беспроводной связи (см. пункт IV.2.2 [ITU-T G.8261]).

Механизмы распространения сигналов точного хронирования среди сотовых станций 3G/4G, например приведенные в [ITU-T G.8261] и [ITU-T G.8262], требуют дальнейшего изучения в зависимости от технико-экономических характеристик. Ввиду особой сложности доставки сигналов хронирования таким приложениям, как транзитная передача мобильного трафика, дополнительная функциональность может быть ограничена конкретными CBU ONU.

Вопросы распространения тактового сигнала, сценарии синхронизации частоты и времени суток, а также вопросы передачи сообщений ESMC через PON с поддержкой IEEE 1588v2 рассматриваются соответственно в Дополнениях IV, V и VI.

7.5 Эмуляция выделенной линии T1/E1

Для услуг эмуляции T1/E1 требуется, чтобы на обоих концах пакетной сети хронирование сигналов было одинаковым. Существует четыре метода, которые определены в пункте 8 [ITU-T G.8261].

- Синхронная работа сети – этот метод опирается на тактовый генератор с отслеживанием PRC, доступный на обоих концах пакетной сети. При этом методе рабочий тактовый сигнал не сохраняется.
- Дифференциальные методы – этот метод предусматривает кодирование разницы между рабочим тактовым сигналом и общим опорным тактовым сигналом и ее передачу по пакетной сети. На дальнем конце пакетной сети рабочий тактовый сигнал восстанавливается с использованием общего тактового сигнала, доступного на обоих концах сети.
- Адаптивные методы – этот метод основан только на времени прибытия пакетов (или времени между прибытиями). Существуют и другие формы адаптивных методов, основанные на использовании меток времени и нелинейной фильтрации для достижения лучших показателей.
- Опорный сигнал, доступный в оконечных системах TDM, – это тривиальный случай, когда на обоих концах пакетной сети имеется доступ к опорному сигналу хронирования.

В пункте 9.1 [ITU-T G.8261] указаны максимальные пределы дрейфа фазы для эмуляции каналов.

7.6 QoS и управление трафиком

Система XG-PON должна быть способна поддерживать несколько существующих и новых услуг в разных сегментах рынка, таких как потребительский сегмент, бизнес-сегмент и транзитная передача мобильного трафика. Как и G-PON, система XG-PON должна обеспечивать одновременный доступ и к пакетным услугам, таким как высокоскоростной доступ в интернет, IPTV и VoIP, и к традиционным услугам, таким как голосовая связь POTS и T1/E1. Кроме того, система XG-PON должна обеспечивать доступ и к услугам городской сети Ethernet операторского класса, таким как услуги виртуальных Ethernet-соединений пункта с пунктом, многих пунктов со многими пунктами и корневых многопунктовых соединений EVC, называемых соответственно E-Line, E-LAN и E-Tree, которые определены для бизнес-клиентов в спецификации Metro Ethernet Forum (MEF). Эти разновидности

услуг демонстрируют широкий спектр характеристик QoS; поэтому они требуют, чтобы системы обеспечивали соответствующие механизмы управления трафиком.

В отношении услуг телефонной связи POTS система XG-PON должна поддерживать качество голосовой связи POTS с гарантированной фиксированной пропускной способностью для соответствия требованиям малого времени задержки и низкого уровня дрожания. Аналогично система XG-PON должна поддерживать услуги TDM для бизнес-клиентов, такие как E1/DS1, а также приложения транзитной передачи мобильного трафика с гарантированной фиксированной шириной полосы для соответствия требованиям малого времени задержки, низкого уровня дрожания и точной синхронизации.

Чтобы обеспечить доступ к различным пакетным услугам, таким как IPTV, VoIP, L2/L3 VPN и высокоскоростной доступ в интернет, система XG-PON должна предоставлять по меньшей мере четыре класса услуг преобразования потоков UNI. Желательно, чтобы эта система предоставляла не менее шести классов услуг преобразования потоков UNI. Системой XG-PON также должна обеспечиваться поддержка в зависимости от приоритета отбрасывания пакетов, по крайней мере для двух классов трафика.

Помимо классов услуг на основе приоритета, указанных выше, а также описанных в [DSLIF TR-156], ONU XG-PON должны поддерживать услуги с регулируемой скоростью передачи (например, CIR/PIR) с функцией контроля соблюдения правил и формирования трафика в дополнение к управлению трафиком на основе приоритета, например, для коммерческих приложений и транзитной передачи мобильного трафика. ONU бизнес-клиентов также должны поддерживать в портах UNI отраслевую спецификацию, например [MEF 10.1]. Однако не требуется, чтобы система XG-PON обеспечивала полное выяснение MAC-адресов для всей городской сети Ethernet. Для предоставления полного набора услуг Ethernet эта система использует возможности городской сети Ethernet.

Система XG-PON должна поддерживать передачу любой комбинации трафика домашних абонентов, предприятий и транзитного мобильного трафика в пределах одной и той же PON, как показано на рисунке 5-2. Она также должна поддерживать сочетание абонентов и бизнес-пользователей в многоабонентском ONU. Система XG-PON должна поддерживать сочетание функций управления трафиком на основе скорости передачи данных (включая планирование CIR/PIR, контроль соблюдения правил, формирование и т. д.) и на основе приоритета в одной и той же PON и одном и том же ONU.

Система XG-PON должна обеспечивать поддержку VLAN N:1, VLAN 1:1 и доступа к VLAN для бизнес-услуг Ethernet (VBES) в одной и той же PON.

8 Требования к физическому уровню

Архитектура XG-PON основана на передаче по одному волокну.

8.1 Характеристики оптоволокна

Настоящая Рекомендация основана на развертывании сетей с использованием типов оптоволокон, описанных в [ITU-T G.652], которые широко применяются для G-PON. Развертываемые сети NG-PON также должны быть совместимы с волокнами более новых типов, определенных в [ITU-T G.657], которые отличаются малым допустимым радиусом изгиба.

8.2 Оптические длины волн XG-PON

Для обеспечения низкочастотной реализации такой совместимости необходимо использовать следующие длины волн:

- для восходящего потока – O-диапазон в пределах от 1260 до 1280 нм;
- для нисходящего потока – диапазон 1577 нм в пределах от 1575 до 1580 нм (с расширением для применения вне помещений – от 1575 до 1581 нм).

8.3 Битовые скорости

Для XG-PON определены два набора скоростей передачи, обозначаемых следующим образом:

- XG-PON1 – номинально 10 Гбит/с в нисходящем направлении и 2,5 Гбит/с в восходящем направлении;
- XG-PON2 – номинально 10 Гбит/с в нисходящем направлении и 10 Гбит/с в восходящем направлении.

В первом выпуске настоящей Рекомендации рассматривается только скорость передачи XG-PON1.

XG-PON2 будет рассмотрена в более позднем выпуске ввиду существующих в настоящее время технологических проблем, которые необходимо решить, чтобы получить недорогие конструктивные блоки, обеспечивающие передачу в пакетном режиме со скоростью 10 Гбит/с в восходящем направлении.

8.4 Бюджет оптической мощности

Номинальным требованием является сосуществование гигабитной PON и XG-PON в ODN с оптическим бюджетом класса В+. Из-за дополнительных потерь, вносимых устройством WDM1r, на рисунке 5-5 выбраны два номинальных класса бюджета мощности между двумя контрольными точками IF_{XG-PON} : Nominal1 (29 дБ) и Nominal2 (31 дБ) со значением коэффициента BER $1E-12$. Кроме того, сосуществование гигабитной PON и XG-PON в ODN с оптическим бюджетом С+ приводит к увеличению требуемого бюджета мощности, что обеспечивает возможность дополнительного разветвления в ODN с соответствующим запасом или, как вариант, увеличения поддерживаемой дальности действия системы.

Подробные спецификации номинальных классов и расширенного класса будут рассмотрены в [ITU-T G.987.2].

Вопрос расширения бюджета оптической мощности на основе расширителя дальности действия рассматривается в пункте, посвященном расширителю дальности действия.

8.5 Коэффициент ветвления

Поскольку многие операторы сетей построили свою инфраструктуру ODN с коэффициентом разветвления для гигабитных PON от 1 : 32 до 1 : 64, минимальным требуемым коэффициентом ветвления для сетей XG-PON в целях обеспечения описанного в пункте 6 сосуществования должен быть 1 : 64 (с учетом общего бюджета потерь). Общая реализация разветвителя гигабитной PON показана на рисунке 8-1 (а).

В этой модели особый случай представляет архитектура с простым ветвлением, когда $m = 64$ и $n = 1$ и разветвитель в узле доступа не требуется. Некоторые операторы сетей выразили заинтересованность в повышении коэффициента ветвления сверх 1 : 64 (например, от 1 : 128 до 1 : 256) для улучшения общих экономических характеристик XG-PON по сравнению с G-PON.

Такой высокий коэффициент ветвления весьма привлекателен, особенно в случае сценария внедрения, не зависящего от услуг. Более высокий коэффициент ветвления позволяет распространить PON на область транзитной передачи, как показано на рисунке 8-1 (b), и/или продлить PON до конечных пользователей, как показано на рисунке 8-1 (c), чтобы обеспечить гибкие конфигурации разветвителей и эффективно поддерживать различные сценарии развертывания. С учетом этих вариантов функция управления TDMA XG-PON должна поддерживать логическое разветвление на 256 (или, возможно, больше) каналов. Физическое разветвление на оптическом уровне должно быть тщательно подобрано с учетом зрелости и экономической эффективности оптических устройств. Расширение дальности действия можно использовать для повышения бюджета потерь и, таким образом, для реализации более высокого коэффициента ветвления на физическом уровне, особенно в случаях, представленных на рисунках 8-1 (b) и 8-1 (c), в дополнение к расширению номинальной дальности действия системы.

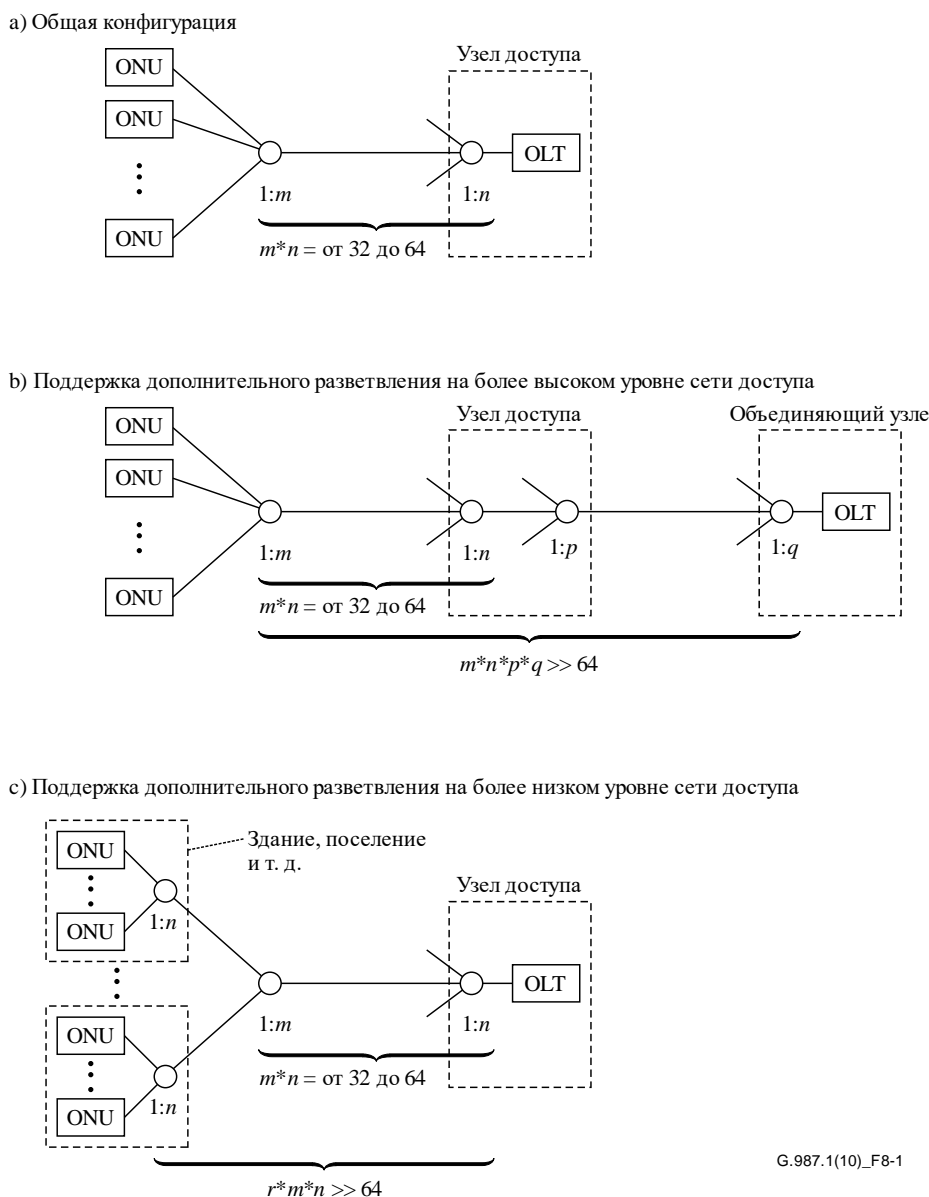


Рисунок 8-1 – Варианты архитектуры разветвителя XG-PON

8.6 Расстояние по оптоволокну

[ITU-T G.987] вводит понятия расстояния по оптоволокну и максимальной разности расстояний по оптоволокну.

Сеть XG-PON1 должна поддерживать максимальное расстояние по оптоволокну не менее 20 км.

Кроме того, уровень ТС XG-PON1 должен поддерживать максимальное расстояние по оптоволокну 60 км. Уровень ТС XG-PON1 также должен быть способен поддерживать максимальную разность расстояний по оптоволокну до 40 км. В дополнение к этому уровень ТС XG-PON1 должен быть способен настраивать максимальную разность расстояний по оптоволокну с шагом 20 км.

9 Требования системного уровня

9.1 Энергосбережение и энергоэффективность

Энергосбережение в системах сетей электросвязи становится все более важной задачей в плане сокращения эксплуатационных расходов операторов и уменьшения вклада сетей в выбросы парниковых газов. Основной целью функции энергосбережения в сетях доступа является как можно более длительное продолжение непрерывного предоставления жизненно важных услуг, таких как голосовая связь, с помощью резервной аккумуляторной батареи при отключении электроснабжения.

Например, некоторые операторы требуют минимальной устойчивости интерфейса жизненно важных услуг связи, которая составляет 4–8 часов работы после отключения электроснабжения. Таким образом уровень TC XG-PON, чтобы соответствовать требованиям по обслуживанию, должен поддерживать более высокую по сравнению с уровнем TC G-PON [ITU-T G.984] энергоэффективность, основываясь на механизмах, взятых из [b-ITU-T G-Sup.45]. Вторая цель состоит в общем понижении энергопотребления. Важное требование также заключается в том, чтобы не жертвовать качеством обслуживания и удобством для пользователей.

Вариантами обеспечения различных уровней энергосбережения в нормальном режиме эксплуатации могут служить режим полного обслуживания, режим дозирования или режим ожидания. Кроме того, при отключении энергоснабжения необходимо активировать сброс мощности в целях энергосбережения. Исходя из понимания того, что конкретные значения для XG-PON могут быть разными, в [b-ITU-T G-Sup.45] сравниваются показатели эффективности каждого метода энергосбережения, а также их влияние на качество обслуживания.

9.2 Аутентификация/идентификация/шифрование

Как и G-PON, XG-PON является системой, основанной на совместном использовании среды передачи, в которой все ONU в рамках одной и той же PON получают все данные. Соответственно должны быть приняты меры для исключения возможности маскировки под законного пользователя/спуфинга и отслеживания данных.

Для защиты от маскировки под законного пользователя/спуфинга должны быть стандартизированы механизмы аутентификации и идентификации. Использование этих механизмов необязательно, и их необходимость определяется оператором. В число этих механизмов, в частности, входят:

- определение серийного номера и/или регистрационного идентификатора ONU, использовавшегося в процессе регистрации ONU;
- аутентификация CPE на основе стандарта [b-IEEE 802.1X];
- эффективный механизм аутентификации.

При использовании функции энергосбережения необходим также простой, но безопасный метод идентификации для восстановления из режима ожидания.

Для защиты от отслеживания данных в ONU все одноадресные данные, передаваемые в нисходящем направлении, шифруются с использованием сильного и четко определенного алгоритма, например AES. Поэтому XG-PON также должна обеспечивать надежный механизм обмена ключами, необходимый для запуска связи с шифрованием. В восходящем направлении функция шифрования является необязательной и реализуется по усмотрению каждого оператора.

9.3 Динамическое распределение пропускной способности (DBA)

OLT XG-PON поддерживает DBA для эффективного совместного использования пропускной способности восходящего канала между соединенными ONU и объектами по переносу трафика в отдельных ONU на основе динамической индикации их активности. Динамическая индикация активности может быть основана на следующих двух методах:

- метод DBA на основе отчетов о состоянии (SR) заключается в использовании явных отчетов о заполнении буфера, запрашиваемых OLT и передаваемых ONU в ответ на этот запрос;
- при использовании метода DBA на основе контроля трафика (TM) OLT наблюдает за фактическим объемом трафика в сравнении с распределенными возможностями передачи в восходящем направлении.

Определение DBA включает эталонную модель, которая указывает идеальное распределение пропускной способности между конкурирующими объектами по переносу трафика в восходящем направлении при данных условиях нагрузки. Для обеспечения эффективного численного сопоставления вариантов реализации DBA стандарт содержит предлагаемые единицы измерения расхождения между реализацией DBA и эталонной моделью. Чтобы гарантировать взаимодействие при наличии нескольких поставщиков, стандарт определяет форматы запросов о состоянии SR DBA и отчетов о заполнении буфера, а также соответствующий протокол.

OLT может поддерживать любой из методов динамической индикации активности или их комбинацию. В спецификации требований не указывается, какие конкретные методы должны поддерживаться или как OLT использует полученную информацию динамической индикации активности и как реализован планировщик восходящего потока OLT.

Вопросы распространения DBA на несколько длин волн в восходящем направлении в случае наложения сетей XG-PON или введения избыточности с использованием двух внутренних сетей выходят за рамки настоящей Рекомендации.

9.4 Безопасность для глаз

Учитывая более высокую оптическую мощность возбуждения, которая может вводиться в волокно в эпоху XG-PON, как на уровне OLT, так и на уровне RE, должны быть предусмотрены все необходимые механизмы, гарантирующие отсутствие возможности каких бы то ни было повреждений глаз для конечных пользователей, не осведомленных о рисках, особенно если волокно оканчивается в доме. Элементы XG-PON должны соответствовать следующим конкретным классам, определенным в [IEC 60825-2]:

- класс 1M для OLT;
- класс 1 для ONU;
- класс 1M для RE.

10 Эксплуатационные требования

10.1 Управление ONU

10.1.1 ONU, управляемый OMCI

С точки зрения эксплуатации сети весьма желательно управлять системой XG-PON, то есть OLT вместе с его ONU, как единым объектом, когда управление ONU по возможности осуществляется через OLT. Таким образом XG-PON должна поддерживать полное управление PON в режиме реального времени посредством функций управления и контроля ONU при максимально возможном использовании концепций и подходов, применяемых для G-PON (например, OMCI).

10.1.2 ONU с двойным управлением

Сеть XG-PON должна факультативно поддерживать распределение функций совместного управления ONU между XG-PON и OMCI, а также механизмы дистанционной настройки.

10.2 Надзор за PON

Хотя важнее всего минимизировать капитальные затраты на начальном этапе внедрения FTTH, все большую важность приобретает снижение эксплуатационных расходов, а также оптимизация баланса между капитальными и эксплуатационными расходами в процессе полного развертывания FTTH. Целью надзора за PON является сокращение эксплуатационных расходов систем PON без существенного увеличения капитальных затрат путем включения как можно большего количества возможностей по тестированию и диагностике без ущерба для пропускной способности, доступной для услуг. Тестирование и диагностика не должны влиять на оказываемые услуги. В качестве основы для XG-PON следует использовать базовые возможности тестирования и диагностики существующих сетей G-PON, которые работают на уровнях PON и данных, с возвратом сообщений о проблемах и событиях.

Одним из основных требований оператора является возможность надежного различения отказов оптического и электрического оборудования и установления того, произошел ли отказ в ODN или в электронике. Вывод обычно можно сделать по присутствию (отказ системы электропитания или оборудования) или отсутствию (повреждение волокна) аварийного сигнала об отключении питания ONU. Можно отметить следующие ключевые моменты, относящиеся к надзору за XG-PON.

Контроль/проверка ODN. Для того чтобы отличать отказы ODN от системных отказов, важно осуществлять контроль и проверку состояния ODN по требованию независимо от системы PON. Желательно, чтобы такие контроль и проверка осуществлялись независимо от того, работает ли ONU

или даже подключен ли он. Мощным инструментом диагностики таких неисправностей в ODN является оптический временной рефлектометр (OTDR), а для облегчения этого процесса можно применять измеритель мощности и источник света. В настоящее время изучаются несколько устройств разграничения для дальнейшего улучшения процессов контроля и проверки ODN.

Системы XG-PON выиграют от возможности автоматического и автономного выявления отказов ODN. Это особенно важно для сегмента связи между обслуживающей центральной станцией и разветвителем первого каскада, длина которого может достигать до 60 км, если используется RE.

Сквозной контроль характеристик до уровня Ethernet. Сквозной контроль характеристик позволяет операторам диагностировать и регистрировать места, в которых абонентский трафик может пропадать или замедляться. Инструменты более высокого уровня, такие как контроль характеристик Ethernet, должны поддерживать контроль возможностей и проверку входящих и исходящих потоков трафика в элементах сети PON.

Профилактический и реактивный ремонт. Системы PON с их системами контроля и управления позволят операторам принимать решение об использовании профилактического или реактивного ремонта в большинстве случаев отказа. Безусловно, решение о том, как использовать отчеты о состоянии PON, остается за операторами.

Сосуществование G-PON с XG-PON посредством WDM1r. В случае сосуществования гигабитной PON и XG-PON желательна немедленная локализация любых проблем. Одна из возможностей здесь – взаимодействие функций надзора гигабитной PON и XG-PON, но необходимы дальнейшие исследования.

11 Устойчивость и защита в ODN

Повышенная устойчивость услуг по сравнению с предыдущими поколениями PON не является строгим требованием операторов. На начальном этапе XG-PON должна поддерживать широкий спектр высокодоходных услуг (например, IPTV) для бытовых и коммерческих приложений с повышенным уровнем интеграции системы. Отказы в совместно используемых частях PON влияют на множество клиентов и услуг. Следовательно, способность предлагать улучшенные показатели готовности услуг в системах XG-PON приобретает первостепенное значение.

Отдельным операторам необходимо определить оптимальную архитектуру устойчивости для своего конкретного рынка и географии. Таким образом XG-PON должна включать ряд экономичных вариантов обеспечения устойчивости с дуплексными и дуплексными двухканальными конфигурациями системы, как определено в пункте 14 [ITU-T G.984.1], а также расширения, описанные в Дополнениях II и III той же Рекомендации. Эти схемы обеспечения устойчивости должны быть вариантами, доступными в сценариях XG-PON, независимо от того, используются ли в них промежуточные расширители дальности действия. Для разных видов услуг и конкретных предложений потребуются разные скорости восстановления. Они могут варьироваться от нескольких десятков миллисекунд для критически важных и важных услуг, таких как защищенные выделенные линии, до порядка минут для бытовых приложений. Следует отметить, что поддержка схем обеспечения устойчивости не должна повышать стоимость систем, развертываемых без применения таких схем.

Архитектуру защиты XG-PON следует рассматривать как одно из средств повышения надежности сетей доступа. Однако защита рассматривается как факультативный механизм, поскольку ее внедрение зависит от реализации экономических систем. Вероятно также, что для резервирования в целях достижения лучших экономических характеристик будут использоваться другие методы, такие как технологии альтернативного доступа, например LTE (стандарт подвижной связи 4G, известный как технология долгосрочного развития). Дополнительную информацию по защитному переключению можно найти в [ITU-T G.808.1].

Дополнение I

Практические примеры архитектуры системы XG-PON

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

В данном Дополнении представлены различные примеры практической реализации системы XG-PON. Во-первых, приведен обзор типичных внешних интерфейсов (например, UNI и SNI), поддерживаемых системой XG-PON. Во-вторых, проиллюстрирован процесс выбора архитектуры системы. В-третьих, указаны трассировки общего стека протоколов для всех этих служб и систем.

Следует отметить, что никакая конкретная реализация ONU не способна охватить все возможные функции, поскольку XG-PON может обслуживать несколько сегментов рынка, таких как потребительский сегмент, бизнес-сегмент и транзитная передача мобильного трафика, и общее число всех вариантов весьма велико. Цель данного Дополнения состоит лишь в том, чтобы дать исчерпывающий обзор возможных вариантов.

I.1 Службы, UNI и SNI

I.1.1 Примеры служб/услуг

Примеры услуг, которые может предложить XG-PON, описаны в пункте 7.1.

I.1.2 Примеры UNI

В данном Дополнении UNI определяется как интерфейс, для которого выполнены следующие условия:

- он описан известным стандартом;
- он включает в себя аспект физического уровня.

Некоторые UNI предоставляются посредством функции адаптации, поэтому необязательно, чтобы эти интерфейсы поддерживались ONU.

Примеры UNI, физических интерфейсов и служб, которые они обеспечивают, приведены в таблице I.1.

Таблица I.1 – Примеры UNI и обеспечиваемых ими служб

UNI (примечание 1)	Физический интерфейс (примечание 2)	Служба (примечание 3)
1000/100/10BASE-T [b-IEEE 802.3]	–	Ethernet
[b-ITU-T Q.552]	–	POTS
[ITU-T G.703]	PDH	DS3, E1, E3
[b-ATIS 0900102] и [b-ATIS 0600107]	PDH	T1, DS3

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – XG-PON поддерживает множество других служб, но у них нет определенных UNI.
ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Каждый элемент в столбце "Физический интерфейс" иллюстрируется соответствующей записью в столбце "UNI".
ПРИМЕЧАНИЕ 3. – В столбце "Служба" указано, какие службы способен поддерживать физический интерфейс.

I.1.3 Примеры SNI

В данном Дополнении SNI определяется как интерфейс, для которого выполнены следующие условия:

- он описан известным стандартом;
- он включает в себя аспект физического уровня.

Примеры SNI, физических интерфейсов и служб, которые они обеспечивают, приведены в таблице I.2.

Таблица I.2 – Примеры SNI и обеспечиваемых ими служб

SNI (примечание 1)	Физический интерфейс (примечание 2)	Служба (примечание 3)
1000BASE- [b-IEEE 802.3]	–	Ethernet
10 GigE [b-IEEE 802.3]	–	Ethernet
40 GigE [b-IEEE 802.3]	–	Ethernet
100 GigE [b-IEEE 802.3]	–	Ethernet
[b-ITU-T G.965]	V5.2	POTS
[ITU-T G.703]	PDH, STM-1e	DS3, E1, E3, STM-1, DS1
[b-ITU-T G.957]	STM-1, 4, 16	E1, E3, DS1, DS3, GFP, E4, STM-n
[b-ATIS 0600107]	PDH	DS1, DS3

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – XG-PON поддерживает множество других служб, но у них нет определенных SNI.
 ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Каждый элемент в столбце "Физический интерфейс" иллюстрируется соответствующей записью в столбце "SNI".
 ПРИМЕЧАНИЕ 3. – В столбце "Служба" указано, какие службы способен поддерживать физический интерфейс.

I.2 Типичные архитектуры систем

На рисунке I.1 показана общая схема системы XG-PON. Эта схема разворачивается на следующих шести рисунках. Следует отметить, что эти рисунки являются носящими иллюстративный характер примерами, а не требованиями.

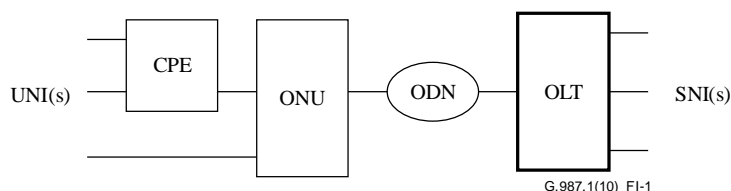


Рисунок I.1 – Общая схема системы XG-PON

I.2.1 Варианты OLT

На рисунке I.2 показан вариант чистого OLT Ethernet. В этом случае оборудование OLT содержит только функцию адаптации XG-PON и, как правило (но не обязательно), агрегирующую функцию Ethernet того или иного уровня. Эта простейшая форма OLT позволяет в максимально возможной степени избегать связей, зависящих от услуг.

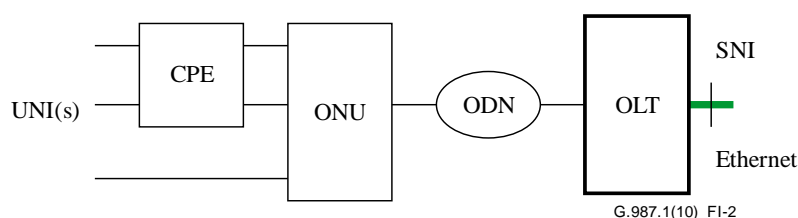


Рисунок I.2 – Сценарий чистого OLT

На рисунке I.3 представлен сценарий OLT с дополнительными функциями обслуживания. В этом случае OLT выполняет дополнительные функции обслуживания, включающие, как правило, функции голосового шлюза и эмуляции каналов TDM. Следует отметить, что эти услуги могут предоставляться с использованием чистого OLT и отдельного голосового шлюза.

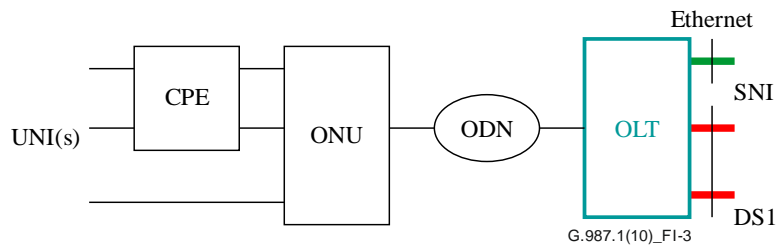


Рисунок I.3 – Сценарий OLT с дополнительными функциями обслуживания

I.2.2 Варианты ONU

На рисунке I.4 показан вариант ONU VDSL/POTS. Отличительной особенностью этого варианта является то, что ONU используется для создания меднокабельных интерфейсов подобно тому, как это делает мультиплексор доступа к каналам цифровой связи/цифровым абонентским линиям (DLC/DSLAM). Существует два подтипа этой схемы. В первом случае ONU предоставляет абоненту как интерфейсы POTS, так и интерфейсы VDSL в целях централизации функций и снижения потребности в CPE. Во втором случае ONU предоставляет только интерфейсы VDSL, чтобы минимизировать размер и мощность ONU, хотя это и ведет к необходимости вывода POTS из CPE. Эта альтернатива полезна главным образом в приложениях FTTH и FTTC.

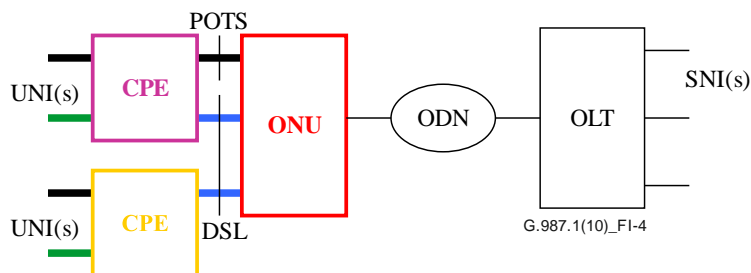


Рисунок I.4 – Сценарий ONU VDSL/POTS

На рисунке I.5 показан вариант модема XG-PON, в котором ONU реализован как можно более компактно и просто. В данном случае он напоминает модем, который обеспечивает взаимодействие уровней 1 и 2 между оптическим интерфейсом XG-PON и технологией линии передачи данных. По линии передачи данных все потоки услуг передаются в CPE, которое реализует основную часть функции межсетевое взаимодействия служб. В настоящее время популярными технологиями линии передачи данных являются Ethernet по кабелю категории 5, HPNA по коаксиальному кабелю и MoCA. Эта система используется главным образом в приложениях FTTH.

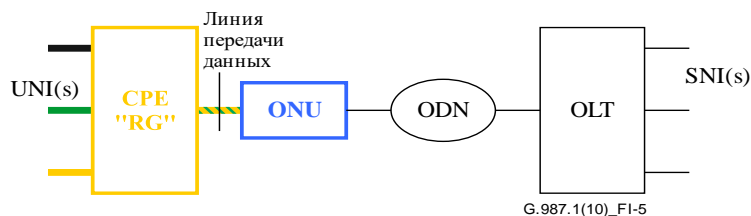


Рисунок I.5 – Сценарий модема XG-PON

На рисунке I.6 приведена схема интегрированного ONU. Ее можно рассматривать как объединение модема XG-PON и зависящего от услуг CPE, показанных на предыдущем рисунке. Однако это слияние функций имеет важные последствия для решения вопроса о том, какая система отвечает за управление службами. Следует также отметить, что хотя значимые функции включены в ONU, CPE, как правило, по-прежнему размещается в доме. Этот сценарий также популярен для FTTH.

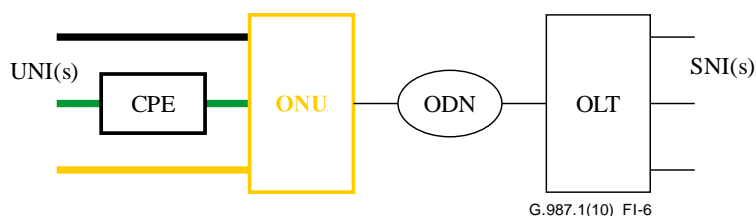


Рисунок I.6 – Сценарий интегрированного ONU

На рисунке I.7 приведена схема шлюзового ONU в доме. Ее можно рассматривать как объединение интегрированного ONU и зависящего от услуг CPE, показанных на предыдущем рисунке. Функции уровня 3 теперь выполняются в ONU, включая такие, как функции маршрутизации, NAT и межсетевое экрана. Этот сценарий также популярен для FTTH.

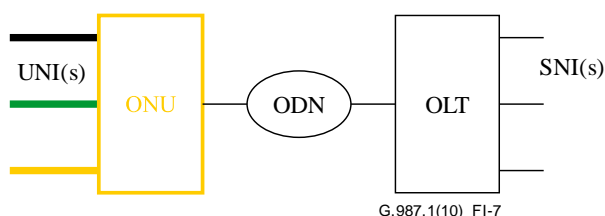


Рисунок I.7 – Сценарий шлюзового ONU в доме

I.3 Стеки протоколов служб

В данном пункте описывается набор стеков протоколов для трассировки важных служб в системах XG-PON. Под службами мы понимаем базовые интерфейсы уровней 2–3, которые оказывают существенное влияние на оборудование XG-PON. Многие высокоуровневые службы могут работать поверх этих интерфейсов; однако они, как правило, не оказывают такого прямого влияния на оборудование XG-PON или по крайней мере оказывают такое же влияние, как любая другая система доступа.

I.3.1 Общие функции

Общие уровни XG-PON показаны на рисунке I.8. В [ITU-T G.987.2] описаны физическая среда XG-PON и уровень, зависящий от физической среды (оптоволокна). В [ITU-T G.987.3] определен уровень конвергенции передачи, связанный главным образом с построением кадра передачи, и инкапсуляция дейтаграмм полезной нагрузки внутри фрагментов метода инкапсуляции XG-PON (XGEM). В [ITU-T G.987.3] также описано множество других вспомогательных функций, включая канал PLOAM, динамическое распределение пропускной способности и возможные структуры QoS на уровне PON.

Следует отметить, что алгоритм DBA не описан ни в одном стандарте, но это не проблема функциональной совместимости, а преднамеренный отказ от спецификации.

Система QoS в XG-PON определяет схему, в которой каждый ONU может содержать один или несколько контейнеров передачи (T-CONT). Каждый T-CONT может содержать один или несколько портов XGEM, которые представляют собой наименьший элемент соединения, который обрабатывают системы XG-PON. Подобно [ITU-T G.984.3], [ITU-T G.987.3] может для гибкости оставлять открытым вопрос об организации портов T-CONT и GEM. Ожидается, что будет использоваться организация, аналогичная текущей стандартной организации из четырех T-CONT, переносящих услуги, на каждый ONT для каждой категории услуг, причем каждый T-CONT соответствует услугам разного класса.

В [ITU-T G.988] определен интерфейс управления и настройки ONU (OMCI). В той же Рекомендации определены информационная база управления (MIB) для всех функций, управляемых в ONU, и канал связи управления ONU (OMCC), обеспечивающий все механизмы, необходимые для того, чтобы OLT выполнял функции FCAPS для ONU.

Управление OLT – несколько более сложный вопрос. Он косвенно затрагивает все MIB всех ONU, поддерживаемых этим OLT, а также все другие MIB, которые описывают другие функции этого OLT.

Эта MIB определяется несколькими группами стандартов, включая стандарты Целевой группы по инженерным проблемам интернета (IETF) и Форума управления электросвязью (TMF). Как правило, доступ к этим MIB осуществляется с использованием стандартных протоколов, определенных IETF (SNMP поверх TCP/IP). Большинство OLT предоставляют выделенный интерфейс для этого трафика управления.

Все упомянутые выше функции представляют собой общие функции, связанные со всеми трассировками служб, перечисленными ниже. Для краткости на следующих схемах они представлены в более компактной форме.

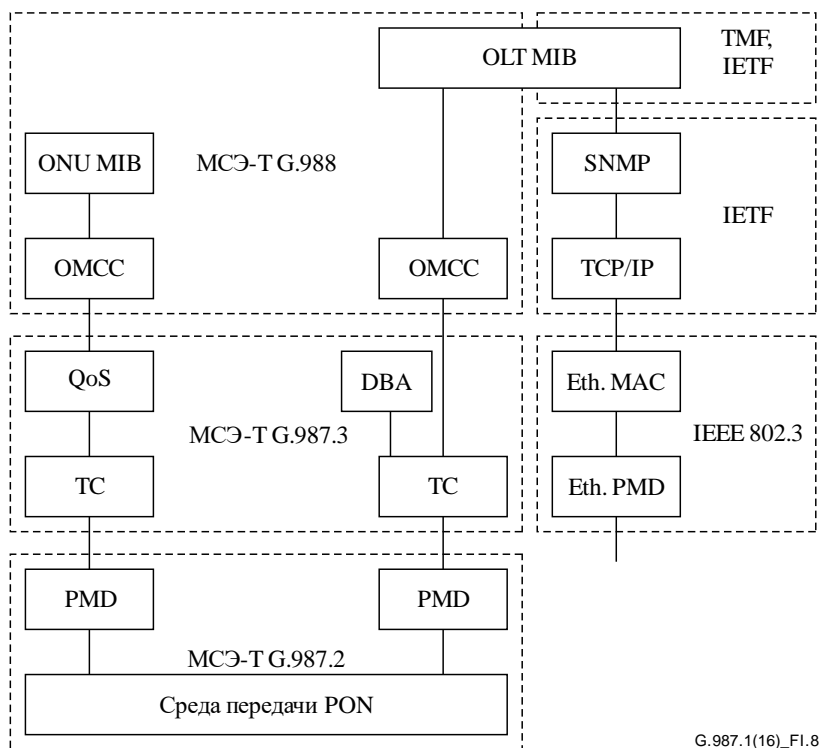
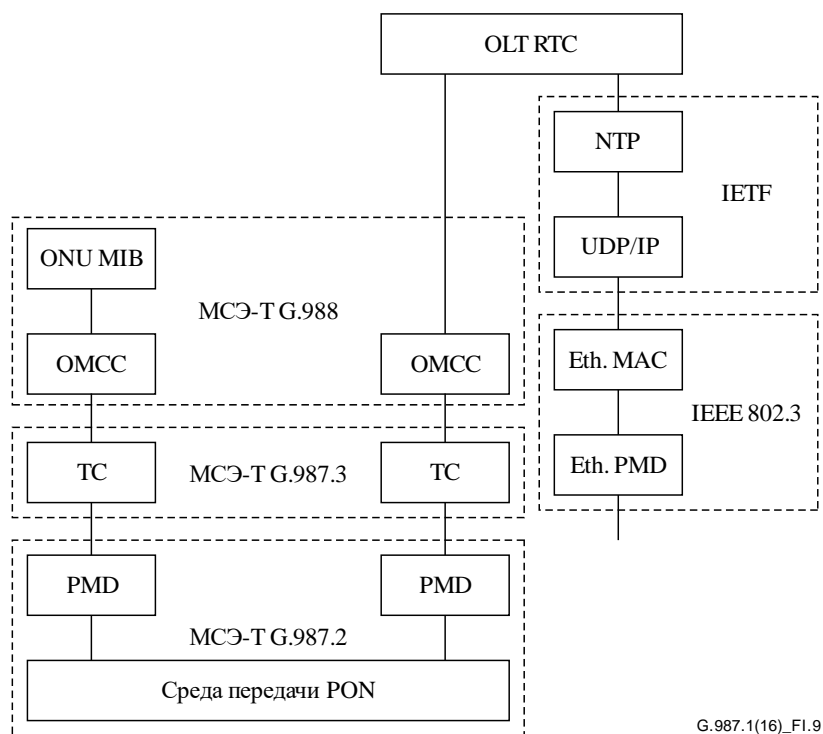


Рисунок I.8 – Общие функции XG-PON

На рисунке I.9 показана схема службы часов реального времени для задач управления XG-PON. OLT получает данные часов реального времени (как правило, с помощью NTP, по интерфейсу Ethernet через UDP поверх IP). Таким образом OLT поддерживает свои внутренние часы реального времени (RTC), которые использует для отметок времени всех видов данных о событиях. Возможны и другие способы организации RTC OLT (см. рисунок I.11).

ONU не использует эти RTC для задач управления. Вместо этого процессы контроля характеристик и сбора данных о событиях синхронизируются с соответствующими процессами OLT через OMCI. OLT регулярно собирает все эти данные каждые 15 минут и регистрирует их с использованием RTC OLT.

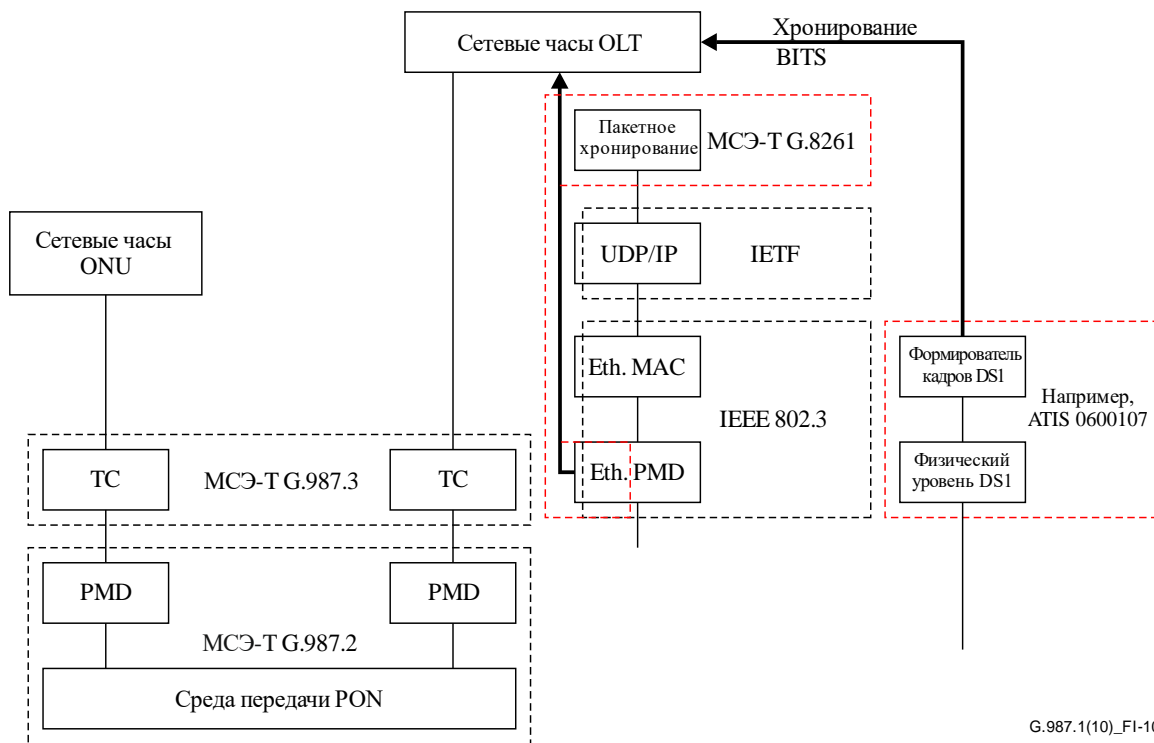


G.987.1(16)_F1.9

Рисунок I.9 – Служба часов реального времени для задач управления

На рисунке I.10 показана служба сетевых часов XG-PON для передачи в ONU сигнала частотной синхронизации. OLT должен получать высококачественный прослеживаемый тактовый сигнал, который служит опорным сигналом для синхронизации всех интерфейсов XG-PON. Обычно источником сигнала синхронизации OLT служит входной сигнал хронирования BITS. Однако в тех случаях, когда источник BITS недоступен, необходим альтернативный метод. Альтернативой может служить сигнал хронирования синхронной линии от SNI, прослеживаемый до сетевых часов, или пакетное хронирование.

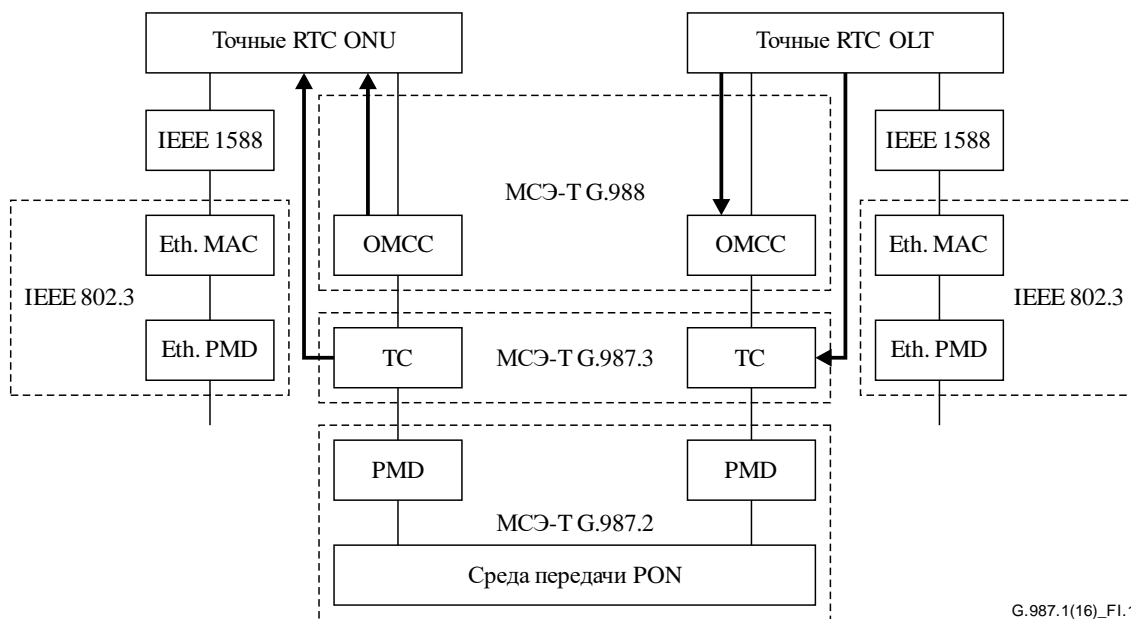
Когда OLT получает сигнал сетевых часов, он использует его в качестве источника хронирования для интерфейсов XG-PON, которые, в свою очередь, распространяют этот сигнал на интерфейсы XG-PON соответствующих ONU. Оборудование ONU получает сигнал сетевых часов из интерфейса XG-PON. Этот сигнал хронирования идеально подходит для функций межсетевое взаимодействия службы TDM, интегрированных в ONU. Как правило, в UNI этот сигнал хронирования недоступен. Однако если сигнал хронирования передается адаптерам терминалов, то среди многих методов синхронизации наиболее точную синхронизацию обеспечивает метод синхронного Ethernet.



G.987.1(10)_FI-10

Рисунок I.10 – Пример службы сетевых часов

Для тех приложений, в которых ONU требуются очень точные часы реального времени с наносекундной погрешностью фазы, определены следующие точные часы реального времени. OLT получает точный сигнал реального времени, обычно используя [IEEE 1588], при необходимости с некоторой дополнительной поддержкой со стороны вышеупомянутой службы сетевых часов. Затем OLT передает эту информацию синхронизации в ONU с использованием комбинации уровня TC и уровня OMCI. Тогда ONU может вычислить точное время и установить свои точные RTC. Если ONU нужно передать точный сигнал RTC в абонентское оборудование, он может поддерживать протокол [IEEE 1588] в направлении UNI.



G.987.1(16)_FI.11

Рисунок I.11 – Служба точных часов реального времени

1.3.2 Функции передачи данных

На рисунке I.12 показан уровень службы Ethernet. В ONU кадры Ethernet, определенные в [b-IEEE 802.3], извлекаются из уровня TC. В некоторых ONU уровень Ethernet значительно сокращен и выполняется небольшая обработка кадров после их приема по интерфейсу XG-PON до их передачи по UNI. В других ONU осуществляется истинное мостовое соединение с обработкой MAC-адресов и, возможно, другими функциями обработки. В некоторых случаях поддерживается PPPoE (не показано); однако эта схема, похоже, теряет свою значимость.

OLT и ONU разделяют ответственность за выполнение требования к VLAN узла доступа, определенного в документе [b-DSL TR-101] Форума по широкополосному доступу. В целях повышения функциональной совместимости G-PON в [DSL TR-156] приведены также руководящие указания по конкретным операциям VLAN в OLT и ONU G-PON для служб 1:1, N:1 и VBES, определенных в [b-DSL TR-101]. В целом эти руководящие указания должны быть применимы и к XG-PON.

Для службы N:1 ONU добавляет S-тег к бестеговому кадру восходящего потока или преобразует Q-тег абонента в S-тег, так что OLT передает в восходящий поток кадр, снабженный S-тегом.

Для службы 1:1 ONU всегда добавляет тег к бестеговым кадрам или транслирует входящий Q-тег в восходящем направлении. В случае однотеговой VLAN на уровне интерфейса V OLT передает в восходящий поток S-тег, добавленный ONU. В случае двухтеговой VLAN на уровне интерфейса V OLT добавляет S-тег поверх C-тега, предоставленного ONU.

Для службы VBES интерфейс U может быть бестеговым, однотеговым или двухтеговым. К бестеговым или однотеговым кадрам ONU добавляет S-тег, а OLT передает этот тег, как в модели N:1. Если кадры абонента двухтеговые, то кадры с действительными S-тегами принимаются и могут быть снабжены в ONU новым S-тегом, а затем переданы через OLT.

Из OLT трафик передается в сеть через интерфейс Ethernet того или иного типа и поступает в окончательное устройство маршрутизации или другие агрегирующие устройства Ethernet.

Следует отметить, что существует целый ряд интерфейсов, способных заменить физический интерфейс Ethernet. К ним относятся xDSL (см. ниже), MoCA, HPNA, HPNA по коаксиальному кабелю, Wi-Fi 802.11 и, возможно, другие, которые еще предстоит разработать. Однако ввиду широкой распространенности Ethernet все эти альтернативные РНУ определены таким образом, что они работают почти так же, как Ethernet, и поэтому их влияние на систему XG-PON невелико.

Всеми этими функциями ONU управляет OMCI, как определено в [ITU-T G.988].

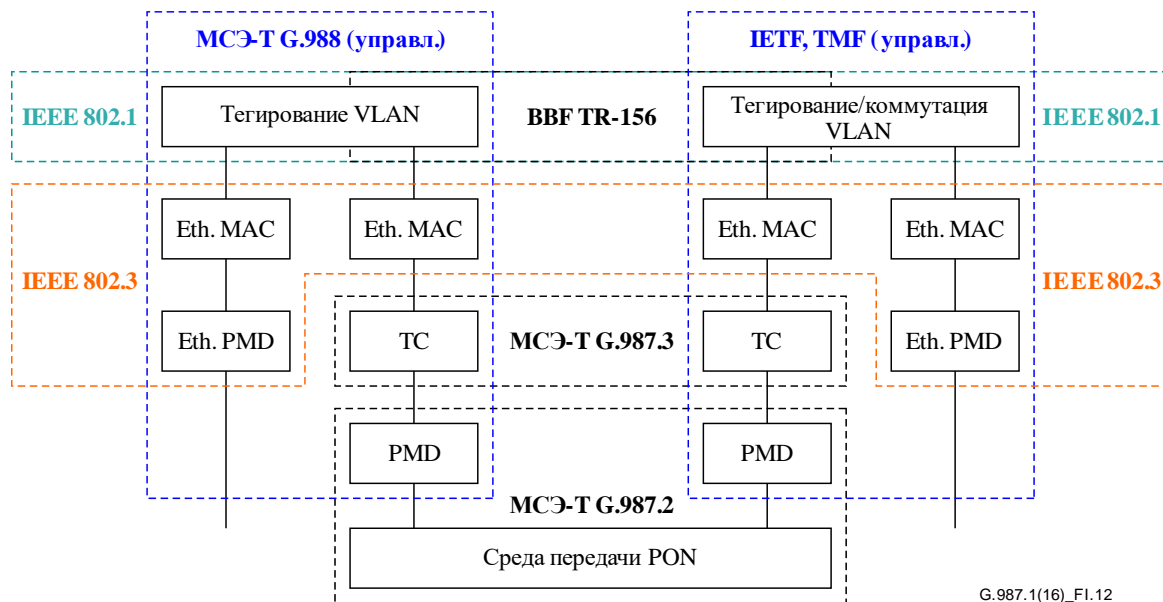


Рисунок I.12 – Служба передачи данных Ethernet

На рисунке I.13 показана служба VDSL2. Первое, что нужно сказать, это то, что наиболее подходящим для XG-PON типом DSL является VDSL2 (определенный в серии Рекомендаций [b-ITU-T G.993.x]) с использованием режима пакетной передачи. Возможно, что по соображениям совместимости могут быть реализованы ADSL2+ или VDSL1; однако это не будет основной целью большинства разработок XG-PON. При этом функция VDSL2 VTU-O в ONU работает как физический уровень Ethernet, и большая часть приводимой ниже схемы уровней аналогична схеме уровней службы Ethernet. Существуют важные отличия, главным из которых является наличие нескольких каналов передачи в одном и том же порту. Каждый из этих каналов можно рассматривать как виртуальный физический уровень, и вся система в целом остается неизменной.

Управление функцией VTU-O, расположенной в ONU, описано в [ITU-T G.988].

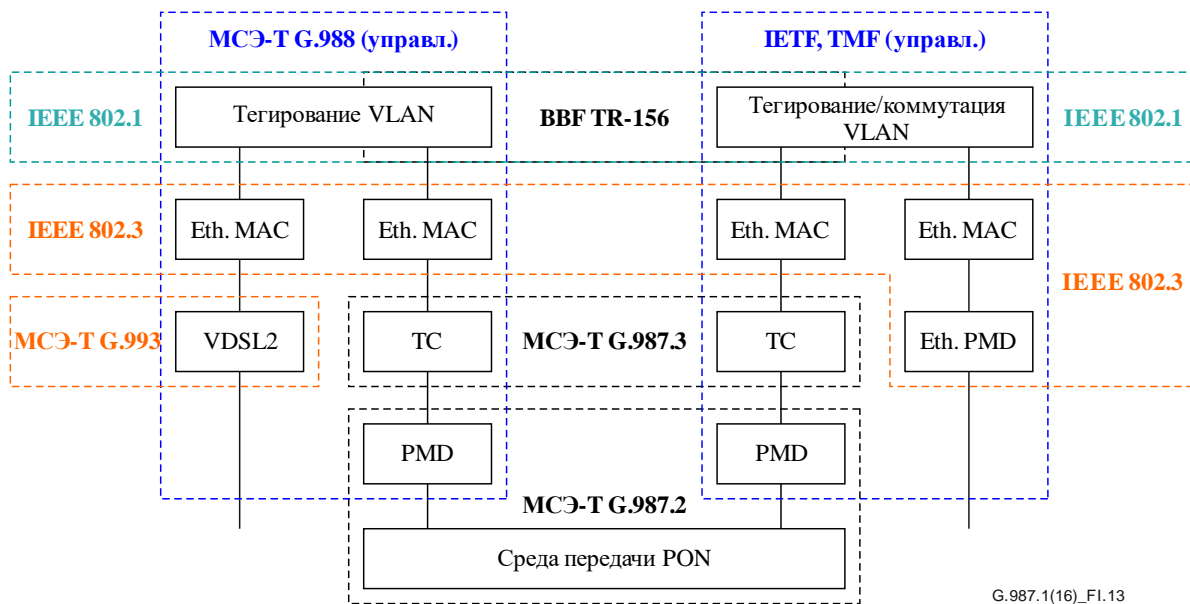


Рисунок I.13 – Служба VDSL2

На рисунке I.14 представлена служба многоадресной передачи. На самом деле это логическая служба, которая обычно реализуется совместно с интерфейсом UNI Ethernet (или аналогичным интерфейсом). Однако она влияет на систему XG-PON и поэтому рассматривается здесь. Интерактивную сигнализацию многоадресной передачи обеспечивает [IETF IGMP] версии 2 или 3 для IPv4 и MLDv2 для IPv6. Данная топология многоадресной передачи IP-уровня обычно преобразуется в многоадресную передачу уровня Ethernet посредством тривиального отображения, определенного в стандартах IEEE 802.1. Управление многоадресной передачей, включая права доступа UNI для приема многоадресного трафика, порты XG-PON, содержащие многоадресный трафик, и их взаимодействие определены в [ITU-T G.988].

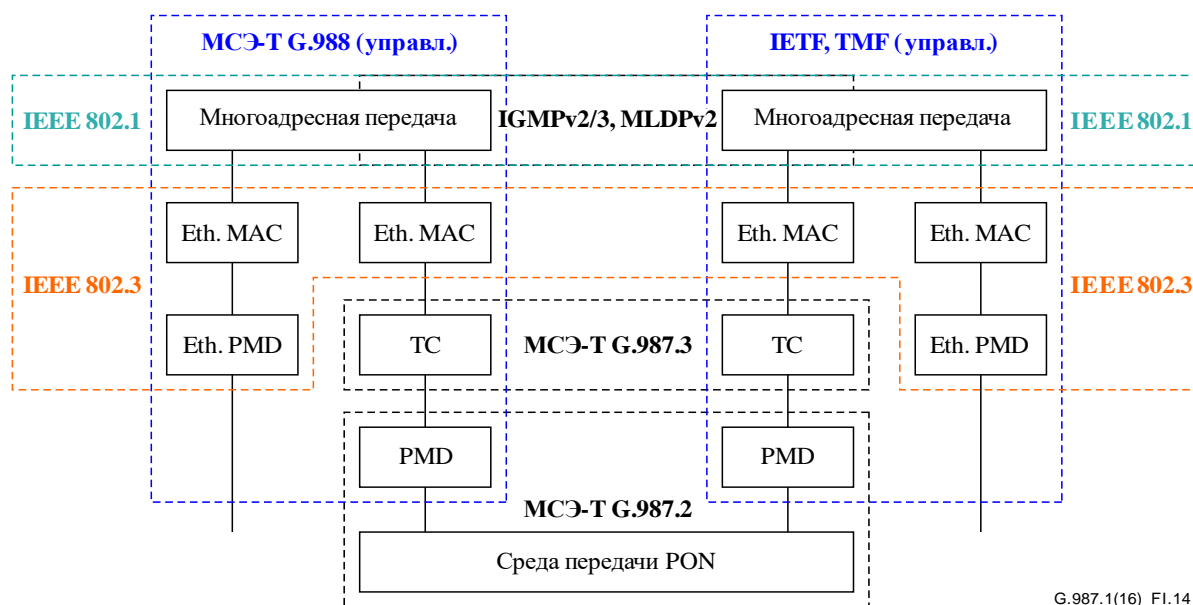


Рисунок I.14 – Служба многоадресной передачи

I.3.3 Голосовые функции

На рисунке I.15 показан поток услуг пакетной голосовой службы. Под пакетной голосовой службой понимается служба передачи голосовой информации, которая не оканчивается коммутатором TDM класса 5, а транспортируется в пункт назначения по IP-сети. В этом сценарии в качестве основной системы протоколов обычно используется SIP, работающий поверх RTP/UDP/IP; все эти протоколы определены в документах IETF. Это легко сказать, но поскольку VoIP на основе SIP призвана заменить систему коммутации класса 5, должен быть реализован значительный набор функций голосовой службы. При любой комбинации VoIP-ONU и программной коммутации необходимо провести большую работу по обеспечению функциональной совместимости.

Голосовые кодеки определены в Рекомендациях серий [b-ITU-T G.711.x], [b-ITU-T G.729.x], [b-ITU-T G.726.x] и [b-ITU-T G.723.x]. Следует отметить, что хотя для большинства систем VoIP активно изучаются усовершенствованные кодеки в целях сжатия данных, для XG-PON этого не требуется ввиду изобилия пропускной способности. Здесь выбор кодека обусловлен в основном необходимостью взаимодействия с удаленным концом сеанса VoIP SIP.

UNI POTS в значительной степени определяется национальными стандартами (например, европейские операторы используют [b-ETSI ETS 300 001]). Однако следует отметить, что POTS остается очень сложной службой, и многие операторы предъявляют особые требования к интерфейсу POTS, в частности к самым низкоуровневым механическим и электрическим характеристикам металлического интерфейса.

От агента SIP в ONU поток услуг проходит путь, очень похожий на путь потока услуг стандартной службы Ethernet. Пользовательский трафик данных и сигнализации выходит из OLT через интерфейс Ethernet, обычно совместно используемый с другими службами.

Управление пакетной голосовой службой может варьироваться. В [ITU-T G.988] обеспечивается полная FCAPS-поддержка VoIP SIP. Тем не менее применяется и ряд других внутриполосных систем,

например [b-DSL TR-069], структура конфигурации SIP IETF и различные фирменные серверы конфигурации. Данные внутрисетевые системы хороши в том отношении, что они могут управлять адаптерами терминалов VoIP в любом месте сети, что особенно важно для устройств, размещаемых в доме, поэтому они получили широкое распространение. Однако для большинства из них характерен низкий уровень практической стандартизации и недостаток интерактивных функций (таких, как поддержка аварийных сигналов и управление рабочими характеристиками). Чтобы помочь решить эту последнюю проблему, даже когда внутрисетевая система используется для конфигурации VoIP, можно использовать OMCI для сбора аварийной информации и информации по управлению рабочими характеристиками. В основном это смешанная система управления.

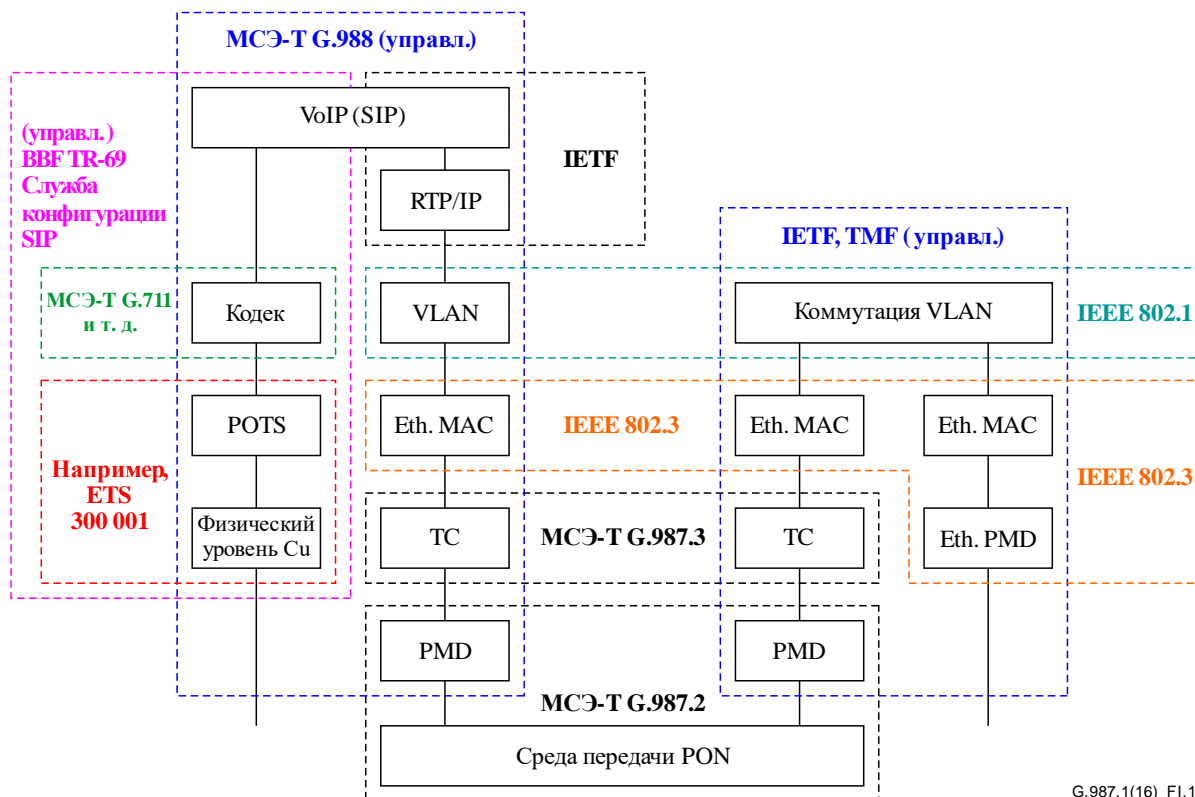


Рисунок I.15 – Packetная голосовая служба

На рисунке I.16 показана схема стека протоколов для голосовой службы с коммутацией каналов. В этом случае VoIP используется для передачи речевых сигналов из ONU в коммутатор TDM класса 5 на центральной станции, но не далее. Для этого обычно используется протокол MCЭ-T H.248, поскольку данная система подходит для интерфейсов голосового шлюза; в ONU и в OLT или, возможно, в объединенном узле восходящей линии связи имеется по одному такому интерфейсу.

На уровне ONU, от кодека и ниже, организация работы точно такая же, как и в случае пакетной голосовой службы.

На уровне OLT или, возможно, объединенного узла восходящей линии поток MCЭ-T H.248 завершается, как правило, в специальном модуле голосового шлюза. Функция этого модуля заключается в воссоздании голосового интерфейса абонента и форматировании данных, представляющих этот интерфейс, как это делается в обычной системе DLC, в соответствии с надлежащим региональным стандартом (например, V5.2). Этот интерфейс, чаще всего физически переносимый по интерфейсам DS1 или E1, затем может быть привязан непосредственно к коммутатору класса 5 со встроенными интерфейсами DLC. Конечная цель состоит в минимизации влияния развертывания XG-PON на нормальную работу голосовых служб на центральной станции.

В отношении управления этим видом VoIP также может иметь место дублирование стандартов, поскольку все варианты доступны для ONU типа MCЭ-T H.248. Однако в данном случае довольно часто используется метод OMCI, поскольку преимущества внутрисетевой системы для этого

сценария почти полностью исчезают. OMCI – это автономное решение для управления голосовыми услугами в сети XG-PON, которое представляется вполне подходящим для данного сценария.

Возможны дополнительные комбинации транспортных протоколов, функциональных архитектур и протоколов управления. Цель следующей схемы – проиллюстрировать наиболее активно используемые комбинации.

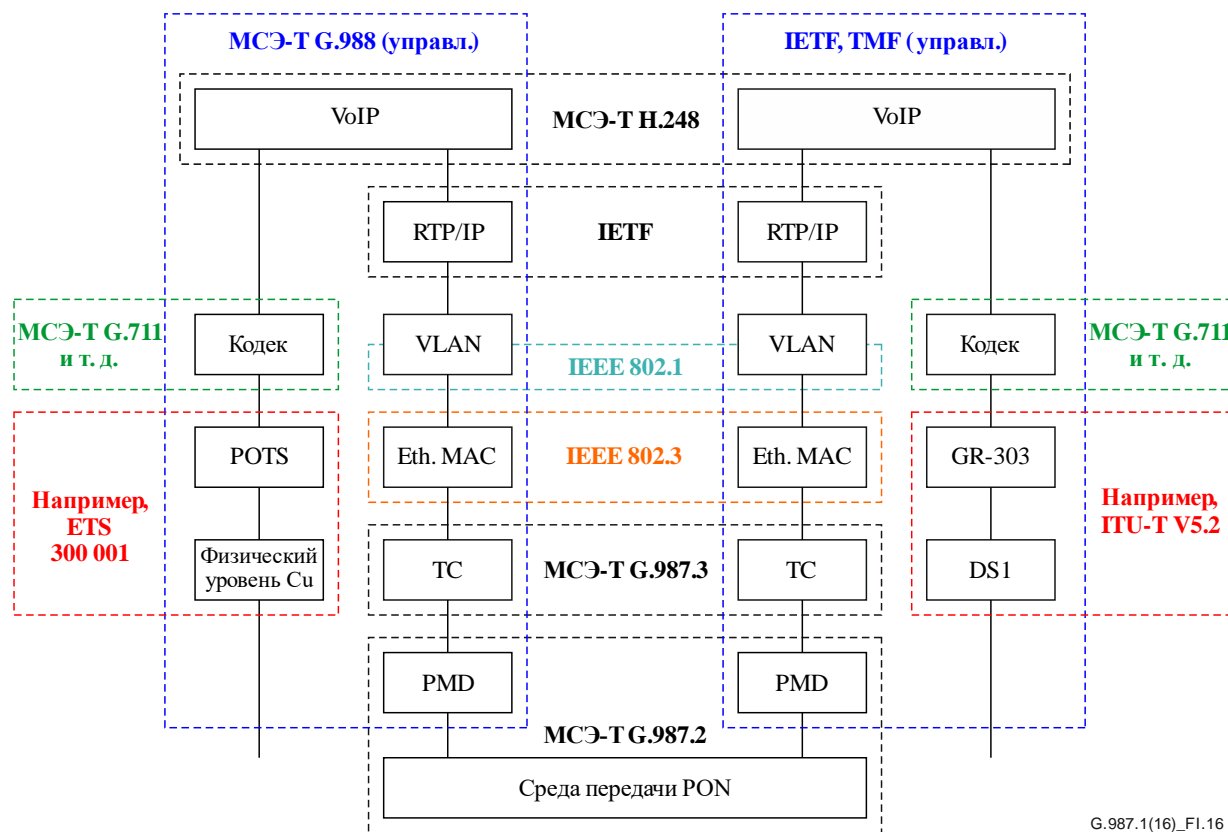


Рисунок I.16 – Голосовая служба с коммутацией каналов

I.3.4 Функции эмуляции каналов

Интерфейсы TDM также могут поддерживаться посредством передачи пакетов по сети XG-PON, как показано на рисунках I.17 и I.18 (отметим, что для прозрачной службы T1/E1 формирователь кадров DS1/E1 не требуется). Существует несколько вариантов, которые здесь можно использовать. Первый предполагает транспортировку фактической полезной нагрузки TDM с использованием либо варианта системы протоколов [IETF PWE3], либо протокола MEF-8 Форума Metro Ethernet. Второй вариант предполагает использование локального интерфейса TDM OLT или пакетного интерфейса в OLT, что ведет к наличию шлюза где-то в другом месте сети. Можно было бы подумать, что это довольно широкий набор альтернативных решений, но, как оказалось на практике, это не представляет большой проблемы, поскольку большинство оборудования поддерживает почти все варианты. Таким образом вопрос функциональной совместимости решается главным образом путем согласования транспортного протокола. Для эмуляции каналов также может потребоваться доставка в функции межсетевое взаимодействия PWE3 сигнала сетевых часов. Режим дифференциального хронирования обеспечивает лучшие характеристики дрожания/дрейфа фазы, чем адаптивный режим.

Ядро XG-PON до уровня VLAN включительно подобно типичной службе Ethernet.

Фактические интерфейсы TDM определены, например, в [ITU-T G.703] для интерфейсов DS1 и E1 или в соответствующем региональном стандарте (например, [b-ATIS 0600107] для интерфейсов DS1 и [b-ETSI ETS 300 166] для интерфейсов E1).

Управление межсетевым взаимодействием PWE3 или MEF-8 описано в [ITU-T G.988].

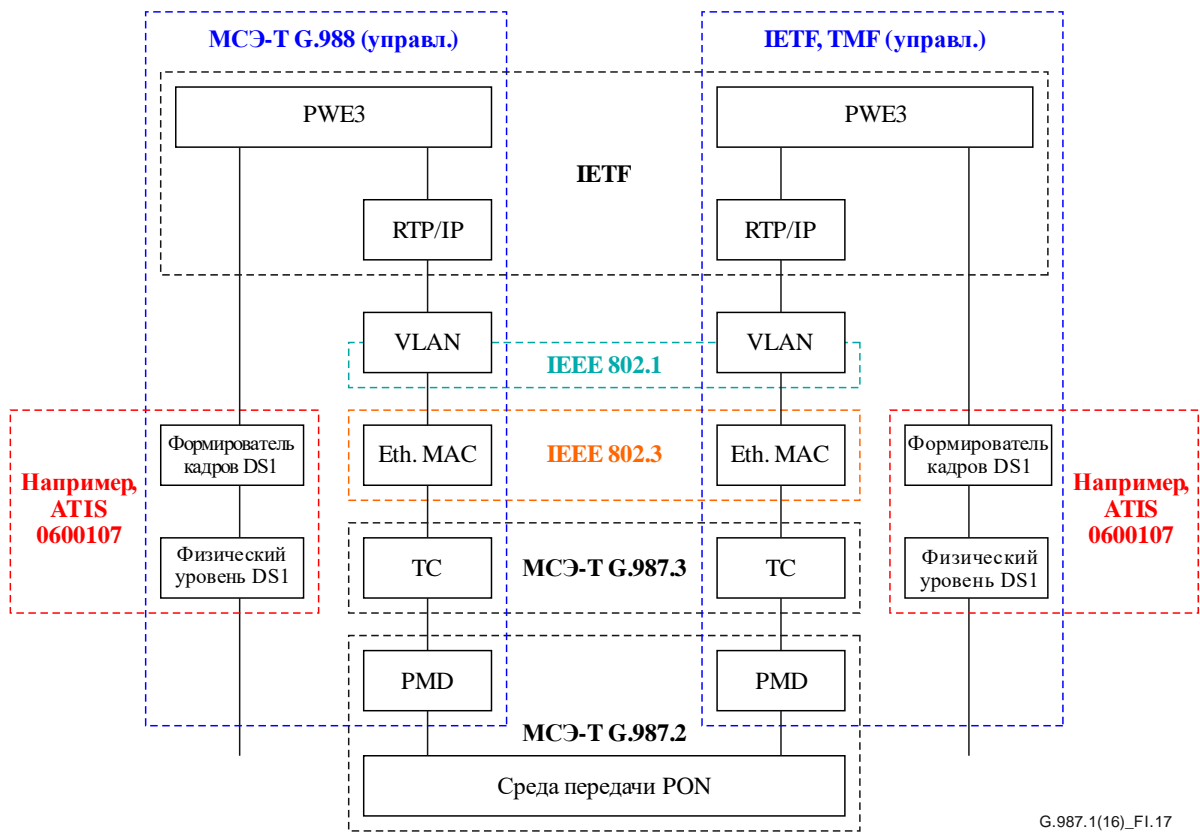


Рисунок I.17 – Пакетная служба TDM с использованием PWE3 и OLT с дополнительными функциями обслуживания

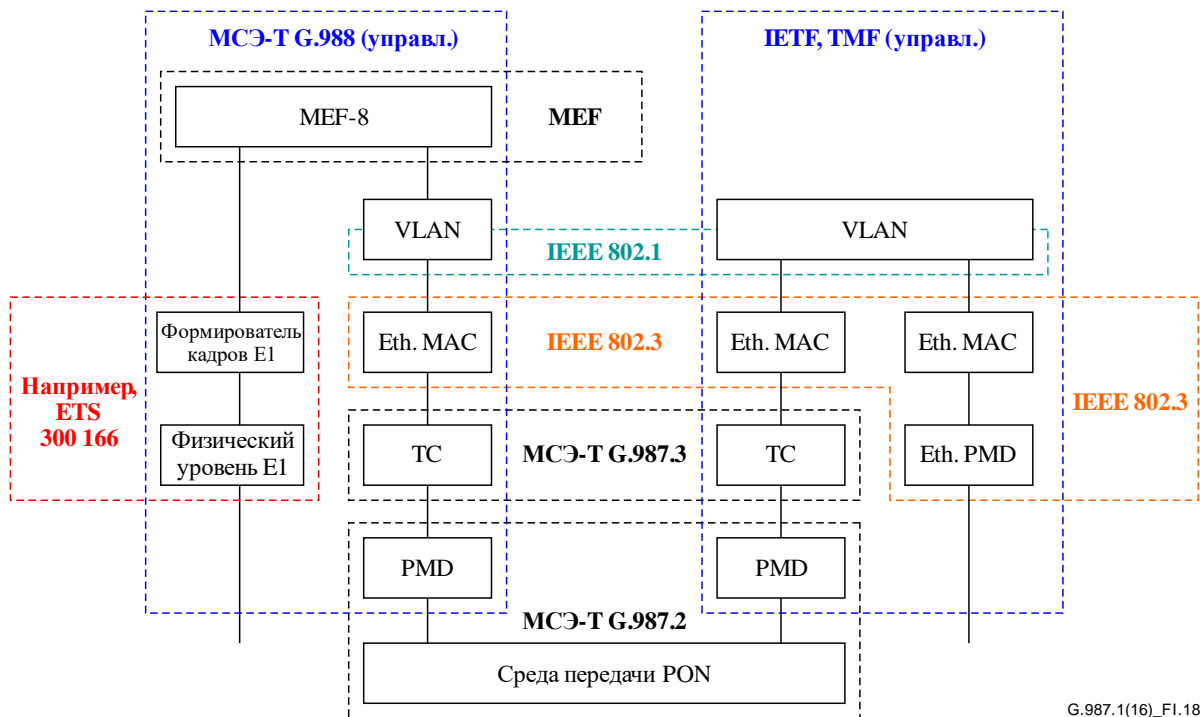


Рисунок I.18. Пакетная служба TDM с использованием MEF-8 и чистого OLT

1.3.5 Функции наложения видеосигналов

На рисунке I.19 показана служба наложения видеосигналов. Наложение осуществляется в PON с использованием третьей длины волны и существенно отличается от других услуг. Формат сигнала, доставляемого абоненту, определяется стандартами SCTE, а управление интерфейсом ONU описано в [ITU-T G.988]. Оптические интерфейсы по всему остальному тракту службы обычно определяются [ITU-T J.186]. На практике за технические детали видео-OLT и сопутствующие оптические усилители, особенно за уровни сигналов в каждой точке сети, отвечает оператор сети. Это связано с широким разнообразием физических топологий сети и планов каналов.



Рисунок I.19 – Служба наложения видеосигналов

Дополнение II

Требования по синхронизации беспроводных сетей в сценарии СВU

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

Таблица II.1 – Требования по синхронизации беспроводных сетей

Приложение	Требования по синхронизации
UMTS-FDD	<ul style="list-style-type: none">• Точность частоты радиointерфейса базовых станций составляет ± 50 ppb (миллиардных долей)• В случае базовых станций пикосети точность может быть понижена до ± 100 ppb
UMTS-TDD	<ul style="list-style-type: none">• Точность частоты радиointерфейса базовых станций составляет ± 50 ppb• В случае базовых станций пикосетей точность может быть понижена до ± 100 ppb• Фазы соседних базовых станций должны быть выравнены с точностью 2,5 мкс
CDMA2000	<ul style="list-style-type: none">• Точность частоты радиointерфейса базовых станций составляет ± 50 ppb• В случае базовых станций пикосетей точность может быть понижена до ± 100 ppb• Ошибка согласования контрольного времени обязательно должна быть меньше 10 мкс и желательно меньше 3 мкс
TD-SCDMA	<ul style="list-style-type: none">• Точность частоты радиointерфейса базовых станций составляет ± 50 ppb• В случае базовых станций пикосетей точность может быть понижена до ± 100 ppb• Фазы соседних базовых станций должны быть выравнены с точностью 3 мкс

Дополнение III

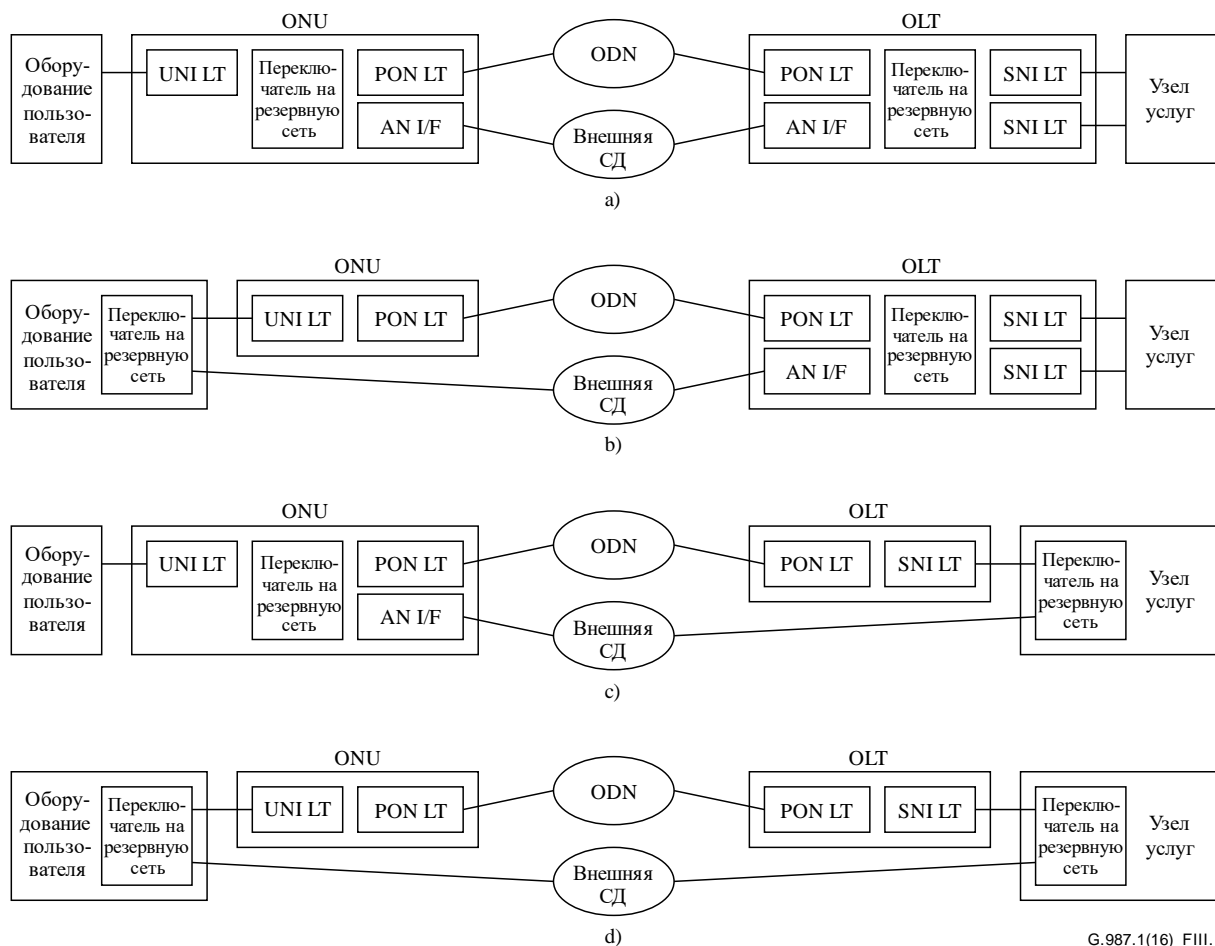
Резервирование внешней сети доступа

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

Во многих приложениях желательно обеспечить некоторую устойчивость к ошибкам в оптической сети доступа, но стоимость полной защиты неподъемна. В этих случаях экономически выгодной альтернативой является создание резервной службы с меньшей пропускной способностью, работающей через внешнюю сеть доступа. Примером внешних сетей доступа могут служить фиксированные беспроводные сети, подвижные беспроводные сети, гибридные волоконно-коаксиальные сети и т. д.

Ввиду широкого разнообразия резервных сетей доступа интерфейс между оборудованием PON и резервной сетью должен осуществляться на уровне сети передачи кадров данных, описанном в стандартах IEEE 802.1. В результате абстрагирования интерфейса к этому уровню оборудованию PON нет необходимости заботиться о деталях резервной сети (а резервной сети нет необходимости заботиться о PON).

Ключевыми аспектами такой внешней резервной сети являются расположение логики переключения на резервную сеть и управление ею. Ввиду существенно разной пропускной способности основной PON и резервной сети нет смысла постоянно передавать две копии трафика. Кроме того, пакетный характер трафика затрудняет различение приемником нескольких копий одних и тех же пакетов. Предполагается, что приемник просто принимает все пакеты, поступающие из любой сети доступа; поэтому важно, чтобы отправлялась только одна копия любого пакета. Источник должен направлять трафик в соответствующую сеть доступа (СД) и иметь информацию, необходимую для правильного выбора. Кроме того, коммутационное оборудование на стороне источника должно иметь возможность приоритизировать трафик и, когда действует резервная сеть, выборочно отбрасывать трафик, способный перегрузить ее. В восходящем направлении переключатель на резервную сеть может быть расположен в ONU или вне UNI. В нисходящем направлении такой переключатель может быть расположен в OLT или вне SNI. Эти схемы показаны на рисунке III.1.



G.987.1(16)_FIII.1

Рисунок III.1 – Четыре схемы переключения на внешнюю резервную сеть доступа

В варианте а) оба переключателя расположены в оборудовании PON. Предполагается, что такое оборудование владеет информацией о рабочем состоянии линии PON и, следовательно, может направлять трафик в интерфейс PON, если он работает нормально, и в интерфейс резервной сети, если это не так. Поэтому дополнительная сигнализация не требуется. В OMC1 должна поддерживаться конфигурация ONU с двумя ANI.

В варианте б) переключатель в восходящем направлении находится вне UNI ONT. В типичной ситуации эта функция будет располагаться в коммутаторе Ethernet или IP-маршрутизаторе. Следовательно, этот переключатель должен получать информацию о состоянии линии PON ONU посредством некоторой формы сигнализации. Это может быть простое отключение UNI в ONU в случае отказа линии PON или более сложный сигнал индикации аварии (AIS) Ethernet, такой как сигнал, описанный в [b-ITU-T Y.1731]. Переключателем в нисходящем направлении управляют внутренние средства OLT.

В варианте с) переключатель в нисходящем направлении находится вне SNI OLT. Типичным местом расположения этой функции будет сеть агрегации Ethernet или пограничный маршрутизатор службы. Как и в варианте б), этой логике переключения должна предоставляться информация о состоянии линии PON к соответствующему ONT. Однако, в отличие от предыдущего случая, в каждом ONT необходимо применять сложную схему AIS, поскольку один и тот же SNI используется несколькими ONU и некоторые из них могут не иметь проблем с передачей по сети PON. Это может быть AIS, описанная в [b-ITU-T Y.1731], но применяемая в каждой VLAN отдельно. Переключателем в восходящем направлении управляют внутренние средства ONU, при этом в OMC1 должна поддерживаться конфигурация ONU с двумя ANI.

В варианте d) оба переключателя расположены за пределами оборудования PON. Эта схема максимально отделена от сетей доступа, поскольку все переключения/маршрутизация в резервную сеть происходят в другом оборудовании. В результате возникает возможность применения переключения с использованием более автономных схем, таких как связующее дерево Ethernet или IP-маршрутизация. В любом случае резервная линия должна быть сконфигурирована как "дорогостоящая линия", с тем чтобы она не использовалась, когда доступна линия PON. Эти схемы уровня 2 или 3 обычно действуют медленнее, чем более прямые схемы из предыдущих вариантов а) – с). Их быстродействие можно улучшить за счет реализации прямых схем AIS для обеспечения ускоренной обратной связи с их алгоритмами управления.

Дополнение IV

Работа с использованием стандарта IEEE 1588: основные принципы

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

В [IEEE 1588] описан протокол передачи сигналов времени и/или частоты по пакетной сети. Хорошее объяснение этого можно найти в разделе 7 [b-ISPCS-2008].

XG-PON распределяет ведущие и ведомые функции [IEEE 1588] между OLT и ONU. OLT выполняет функции ведомого порта (или, в случае полки, OLT получает сигналы частоты и времени от функции на полке, которая играет роль ведомого порта). OLT синхронизирует скорость передачи линии PON с тактовой частотой сети и передает информацию о времени суток в ONU, используя метод, описанный в [ITU-T G.987.3], пункт 13.2. ONU использует методы, указанные в [ITU-T G.987.2], для восстановления частоты и методы, указанные в [ITU-T G.987.3], для восстановления времени. Затем ONU либо функционирует как ведущий порт для последующих узлов, либо выводит сигналы времени и частоты через другой интерфейс.

Дополнение V

Работа с использованием стандарта IEEE 1588: сценарии использования синхронизации частоты и времени суток

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

Существует множество приложений, в которых через пакетную сеть от источника к месту назначения должны передаваться точные сигналы времени и/или частоты. В настоящем Дополнении описано несколько сценариев использования в виде методов, используемых для доставки сигналов частоты и/или времени. Поскольку большинство упомянутых сценариев относятся к приложениям транзитной передачи мобильного трафика, в них используются такие элементы сети, как RNC и узел B, хотя это не обязательно.

Сигнал синхронизации частоты и/или времени суток передается в OLT посредством:

- 1) физического интерфейса хронирования (например, синхронного Ethernet) (только для частоты);
- 2) [IEEE 1588] + синхронный Ethernet;
- 3) [IEEE 1588] + несинхронный Ethernet;
- 4) физического интерфейса времени суток (подлежит определению) + SyncE.

Сигнал синхронизации частоты и/или времени суток передается из ONU посредством:

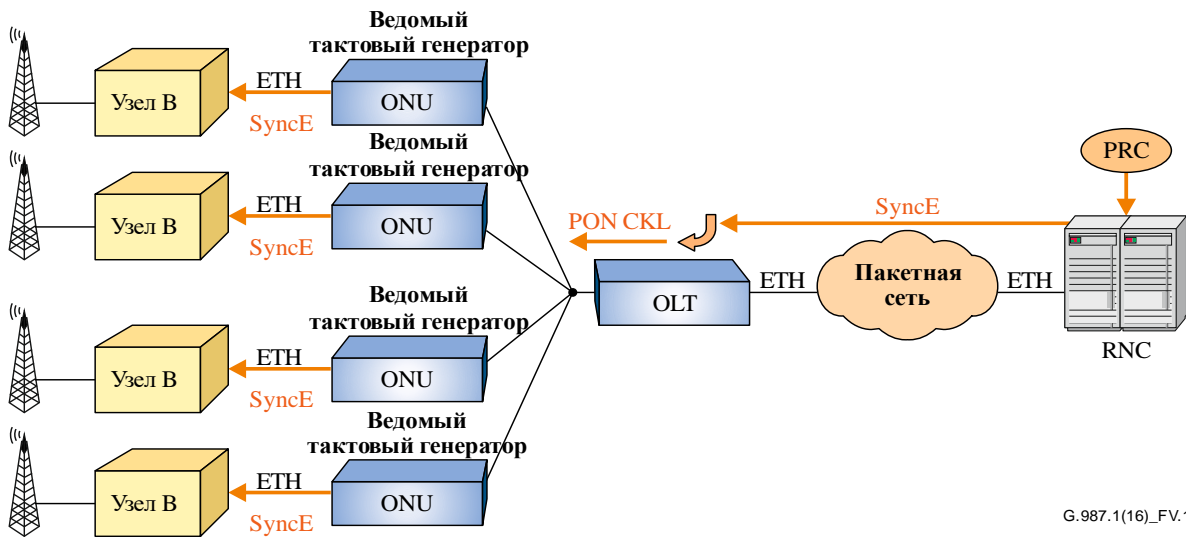
- 1) физического интерфейса хронирования (например, синхронного Ethernet) (только для частоты);
- 2) [IEEE 1588] + синхронный Ethernet;
- 3) [IEEE 1588] + несинхронный Ethernet;
- 4) физического интерфейса, подлежащего определению (ToD) + SyncE.

Описаны сценарии использования с различными комбинациями этих входных и выходных сигналов синхронизации, как указано в таблице V.1.

Таблица V – Сценарии использования синхронизации XG-PON

Сценарий	Сигнал синхронизации из сети в OLT	Сигнал синхронизации из ONU в UNI
1	SyncE (только для частоты)	SyncE (только для частоты)
2	[IEEE 1588] и SyncE	[IEEE 1588] и SyncE
3	[IEEE 1588]	[IEEE 1588]
4	[IEEE 1588]	[IEEE 1588] и SyncE
5	[IEEE 1588] и SyncE	Интерфейс ToD и SyncE
6	[IEEE 1588]	Интерфейс ToD и SyncE
7	Интерфейс ToD и SyncE	Интерфейс ToD и SyncE

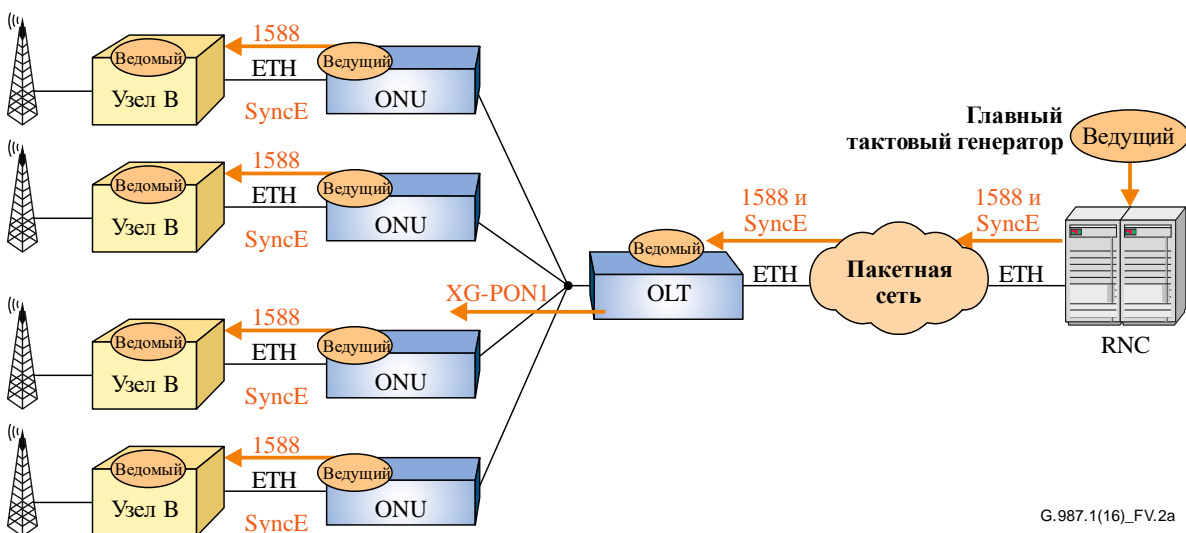
На рисунке V.1 показан сценарий 1, когда через сеть XG-PON передается только сигнал частоты. Интерфейс тактовых сигналов на входе OLT и выходе ONU представляет собой физический интерфейс хронирования, такой как синхронный Ethernet (SyncE), определенный в [ITU-T G.8262]. OLT синхронизирует частоту передачи по линии PON с этим физическим интерфейсом. ONU выводит физический интерфейс хронирования, такой как синхронный Ethernet, синхронизированный с частотой передачи по линии PON.



G.987.1(16)_FV.1

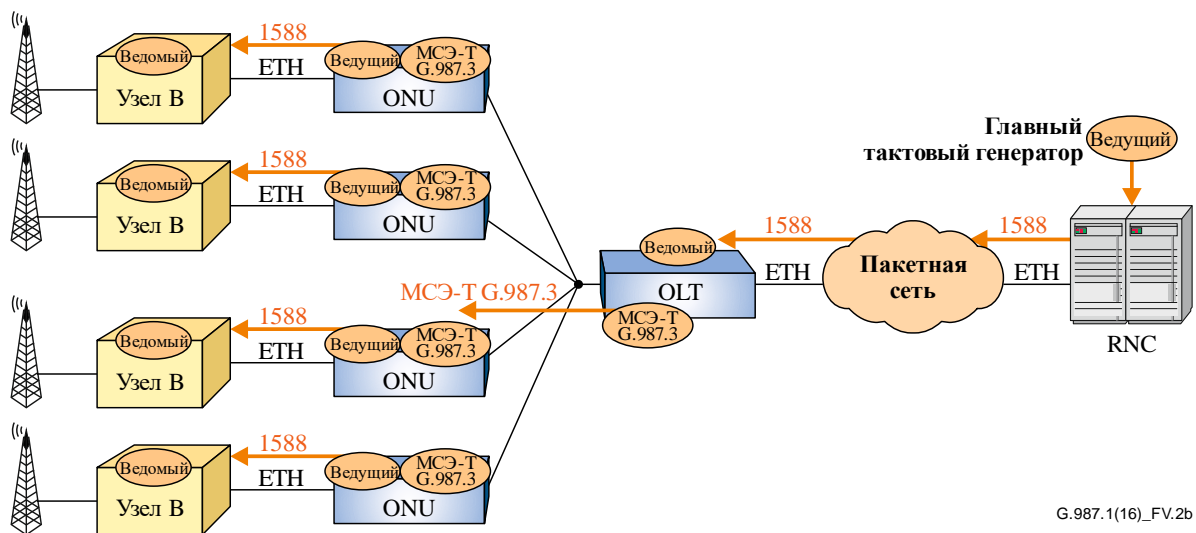
Рисунок V – Использование синхронного Ethernet в XG-PON (сценарий 1)

Существует несколько представляющих интерес сценариев использования [IEEE 1588] (сценарии 2–6) при следующих предположениях. PRC обеспечивает опорную частоту. В качестве сетевого интерфейса OLT применяется Ethernet, причем частота передачи по линии Ethernet либо синхронизирована с опорной частотой сети (синхронный Ethernet), либо не синхронизирована с ней. OLT получает сигналы времени суток с использованием стандарта [IEEE 1588], обычно через промежуточные узлы между OLT и PRC. OLT синхронизируется с опорной частотой сети либо с использованием синхронного Ethernet [IEEE 1588], либо посредством другого синхронного интерфейса физического уровня. OLT передает сигналы времени суток в ONU, используя метод, указанный в пункте 13 [ITU-T G.987.3]. OLT передает опорную частоту сети в ONU посредством частоты передачи своей нисходящей линии, синхронизированной с опорной частотой сети. В качестве интерфейса пользователя ONU применяется Ethernet, причем частота передачи по линии Ethernet либо синхронизирована с опорной частотой сети (синхронный Ethernet), либо не синхронизирована с ней. ONU также может иметь физический интерфейс времени (например, 1 импульс в секунду).



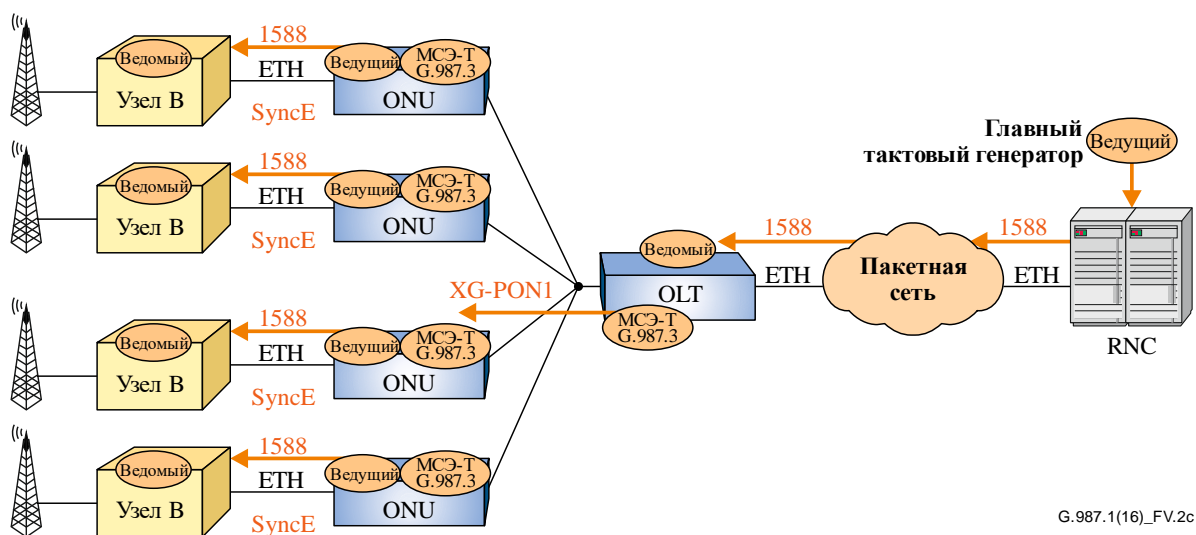
G.987.1(16)_FV.2a

Рисунок V.2a – Сценарий 2 использования PTP: ONU как ведущий узел IEEE 1588, OLT как подчиненный узел IEEE 1588 с применением SyncE как для SNI, так и для UNI



G.987.1(16)_FV.2b

Рисунок V.2b – Сценарий 3 использования PTP: ONU как ведущий узел IEEE 1588, OLT как подчиненный узел IEEE 1588 без SyncE



G.987.1(16)_FV.2c

Рисунок V.2c – Сценарий 4 использования PTP: ONU как ведущий узел IEEE 1588, OLT как подчиненный узел IEEE 1588 с применением SyncE для UNI

На рисунках V.2a и V.2b представлены сценарии 2 и 3 для беспроводной транзитной сети. У OLT в SNI есть ведомый порт [IEEE 1588], который получает сигнал времени суток из сети. Этот сигнал передается в ONU, как описано выше, а ONU передает его из ведущего порта [IEEE 1588] в узел В. Если линия сети OLT представляет собой синхронный Ethernet (сценарий 2), то OLT синхронизирует частоту своей нисходящей линии PON с частотой синхронного Ethernet; в противном случае OLT синхронизирует частоту своей нисходящей линии PON с сигналом времени суток [IEEE 1588] (сценарий 3). Если линия связи между ONU и узлом В представляет собой синхронный Ethernet (сценарий 2), то частота линии синхронного Ethernet синхронизируется с частотой нисходящей линии PON. Для указания качества тактового сигнала используются ESMC-сообщения синхронного Ethernet в сочетании с синхронным Ethernet.

На рисунке V.3a представлен сценарий 5, а на рисунке V.3b – сценарий 6 для беспроводной транзитной сети. Единственное различие между рисунками V.2 и V.3 состоит в том, что у ONU имеется физический интерфейс для передачи сигналов времени в узел В, такой как интерфейс ToD. Если линия сети OLT представляет собой синхронный Ethernet (сценарий 5), то OLT синхронизирует свою нисходящую линию PON с частотой линии синхронного Ethernet; в противном случае OLT синхронизирует частоту своей нисходящей линии PON с сигналом времени суток [IEEE 1588] (сценарий 6).

На рисунке V.2с представлен сценарий 4, когда OLT не принимает сигнал синхронного Ethernet и получает частоту нисходящей линии PON посредством стандарта 1588. В этом случае ESMC-сообщения соответствуют качеству тактового сигнала 1588, а не тактового сигнала, получаемого посредством ESMC в OLT.

На рисунке V.4 представлен сценарий 7, когда в качестве источника входного сигнала в OLT используется физический интерфейс ToD. OLT обрабатывает информацию ToD и отправляет информацию хронирования в ONU в соответствии с описанием, приведенным в пункте 13.2 [ITU-T G.987.3]. ONU обрабатывает полученную информацию хронирования и передает информацию хронирования, используя физический интерфейс ToD.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Детали физического интерфейса ToD требуют дальнейшего изучения.

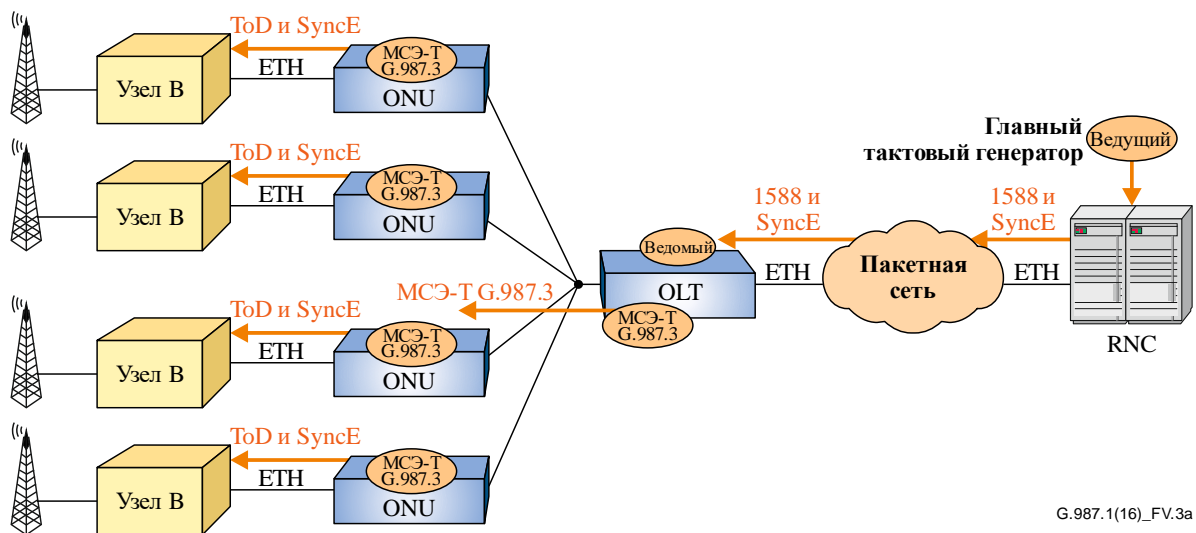


Рисунок V.3а – Сценарий 5 использования PTP: ONU с физическим интерфейсом хронирования, OLT в качестве подчиненного узла IEEE 1588 с SyncE для SNI и для UNI

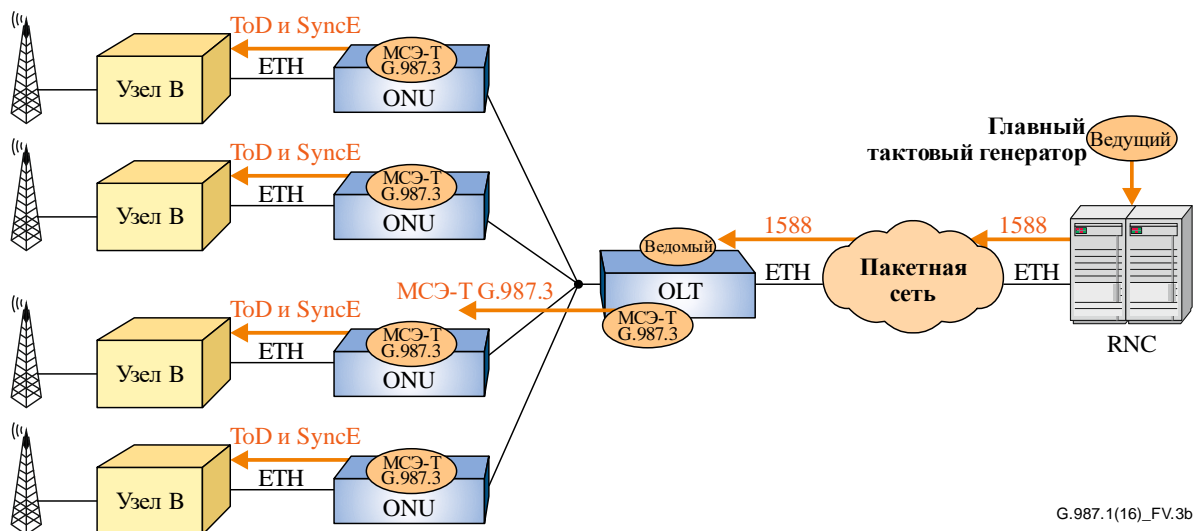
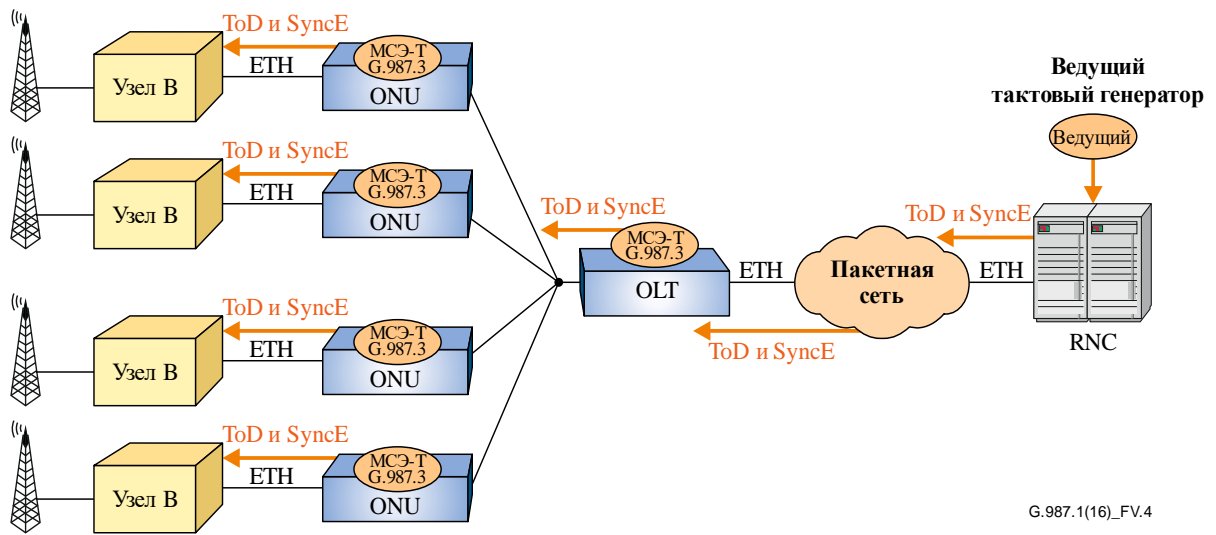


Рисунок V.3б – Сценарий 6 использования PTP: ONU с физическим интерфейсом хронирования, OLT в качестве подчиненного узла IEEE 1588 с SyncE только для UNI



G.987.1(16)_FV.4

Рисунок V.4 – Сценарий 7, ONU и OLT с физическим интерфейсом хронирования

Дополнение VI

Работа с использованием стандарта IEEE 1588

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

Транспортировка сообщений ESMC по сети PON

В Дополнении V был описан сценарий использования синхронного Ethernet по сети PON и представлен канал передачи сообщений синхронизации Ethernet (ESMC). В данном Дополнении рассматривается синхронизация частоты по сети XG-PON, но основное внимание уделяется рекомендуемому методу передачи SSM, переносимых в ESMC (как определено в [b-ITU-T G.8264]), которые используются для односторонней передачи информации о качестве тактового сигнала синхронного Ethernet от ведущего тактового генератора на базовую станцию или в другое оконечное устройство. См. рисунок V.1 "Использование синхронного Ethernet в XG-PON" в Дополнении V.

В пределах физического уровня синхронный Ethernet передается по OLT/ODN/ONU следующим образом. OLT с поддержкой синхронного Ethernet синхронизирует тактовый сигнал XG-PON с полученным тактовым сигналом Ethernet в SNI OLT, а ONU с поддержкой синхронного Ethernet, в свою очередь, синхронизирует тактовый сигнал Ethernet из одного или нескольких UNI имеющих портов Ethernet (типы UNI, поддерживающих синхронный Ethernet, определены в [ITU-T G.8262]) с тактовым сигналом XG-PON.

Характеристики ESMC

- Простой однонаправленный протокол без регистрации состояния для передачи информации о качестве опорного тактового сигнала между узлами.
- Использует медленный протокол для конкретной организации (OSSP) [IEEE 802.3].
- Адрес пункта назначения – это групповой адрес медленного протокола, определенного IEEE.
- Один тип сообщений – сообщение о состоянии синхронизации.
- Отправляется примерно одно сообщение в секунду, содержащее информацию об уровне качества тактового сигнала (QL).

ESMC-сообщения по XG-PON

Обменом ESMC-сообщениями управляет система OLT/ONU.

Основное различие между способом обработки ESMC-сообщений в PON и коммутатором Ethernet заключается в том, что в качестве линии связи между OLT и ONU используется не линия связи пункта с пунктом Ethernet, а протокол соединения пункта со многими пунктами XG-PON, причем ESMC-сообщения передаются посредством инкапсуляции GEM. Несмотря на эту разницу, во всех *функциональных* аспектах OLT и ONU могут обрабатывать ESMC-сообщения в значительной мере, как это определено в [b-ITU-T G.8264].

Способ передачи сообщений о состоянии синхронизации по сети XG-PON

OLT, поддерживающий синхронный Ethernet, должен предварительно обрабатывать ESMC-сообщения, принимаемые в портах SNI с поддержкой синхронного Ethernet, и выполнять последующие действия.

Если имеется несколько портов с поддержкой синхронного Ethernet, OLT должен синхронизироваться с наилучшим портом с использованием методов выбора сигнала синхронизации, определенных в [b-ITU-T G.8264] и [b-ITU-T G.781], и получить информацию о качестве тактового сигнала (значение QL) от этого порта.

Затем OLT должен отправлять ESMC-сообщения OSSP с таким же качеством тактового сигнала, чтобы минимизировать дополнительное влияние на трафик PON. OLT не должен отправлять ESMC-сообщения, если это не предусмотрено специально.

ONU могут быть настроены на распознавание ESMC посредством обычного процесса настройки произвольного широкополосного GEM-порта, соответствующей VLAN и моста до желаемых UNI Ethernet. В результате ONU получает ту же информацию о качестве тактового сигнала, какая

содержится в ESMC, получаемых в OLT. Затем ONU передает ESMC-сообщения, соответствующие [b-ITU T G.8264], но только от тех UNI, которые входят в состав VLAN-моста ESMC.

Библиография

- [b-ITU-T G.671] Recommendation ITU-T G.671 (2012), *Transmission characteristics of optical components and subsystems*
- [b-ITU-T G.711.x] Recommendation ITU-T G.711.x (действующая), *Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies*
- [b-ITU-T G.723.x] Рекомендация МСЭ-Т G.723.x (действующая), *Двусторонний речевой кодек для мультимедийной связи с передачей на скорости 5,3 или 6,3 кбит/с*
- [b-ITU-T G.726.x] Recommendation ITU-T G.726.x (действующая), *40, 32, 24, 16 kbit/s Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)*
- [b-ITU-T G.729.x] Recommendation ITU-T G.729.x (действующая), *Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CS-ACELP)*
- [b-ITU-T G.781] Recommendation ITU-T G.781 (действующая), *Synchronization layer functions*
- [b-ITU-T G.957] Рекомендация МСЭ-Т G.957 (2006 г.), *Оптические интерфейсы для оборудования и систем, относящихся к синхронной цифровой иерархии*
- [b-ITU-T G.965] Recommendation ITU-T G.965 (2001), *V-interfaces at the digital local exchange (LE) – V5.2 interface (based on 2048 kbit/s) for the support of access network (AN)*
- [b-ITU-T G.993.x] Recommendation ITU-T G.933.x (действующая), *Very high speed digital subscriber line transceivers*
- [b-ITU-T G.8264] Recommendation ITU-T G.8264 (действующая), *Distribution of timing information through packet networks*
- [b-ITU-T G-Sup.45] ITU-T G-series Recommendations – Supplement 45 (2009), *GPON power conservation*
- [b-ITU-T H.248.1] Рекомендация МСЭ-Т H.248.1 (действующая), *Протокол управления шлюзом: Версия 3*
- [b-ITU-T Q.552] Recommendation ITU-T Q.552 (2001), *Transmission characteristics at 2-wire analogue interfaces of digital exchanges*
- [b-ITU-T Y.1731] Рекомендация МСЭ-Т G.8013/Y.1731 (2015 г.), *Функции и механизмы эксплуатации, управления и технического обслуживания (ОАМ) для сетей на базе Ethernet*
- [b-ATIS 0600107] ATIS 0600107.2002(S2015), *Digital Hierarchy – Formats Specifications*
- [b-ATIS 0900102] ATIS 0900102.1993(S2015), *Digital Hierarchy – Electrical Interfaces*
- [b-DSL-F TR-069] Broadband Forum TR-069 Amendment 2 (2007), *CPE WAN Management Protocol V1.1*
- [b-DSL-F TR-101] Broadband Forum TR-101 (2006), *Migration to Ethernet Based DSL Aggregation*

- [b-ETSI ETS 300 001] ETSI ETS 300 001 ed.4 (1997), *Attachments to the Public Switched Telephone Network (PSTN); General technical requirements for equipment connected to an analogue subscriber interface in the PSTN*
- [b-ETSI ETS 300 166] ETSI ETS 300 166 ed.1 (1993), *Transmission and Multiplexing (TM); Physical and electrical characteristics of hierarchical digital interfaces for equipment using the 2 048 kbit/s – based plesiochronous or synchronous digital hierarchies*
- [b-IEEE 802.1X] IEEE 802.1X -in force, *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Port-Based Network Access Control*
- [b-IEEE 802.3] IEEE 802.3-2008, *IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 3 – Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications*
- [b-ISPCS-2008] Tutorial on *IEEE 1588 Version 2* by Geoffrey Garner in 2008, *International IEEE Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control and Communication*, Ann Arbor, MI, USA.
<<http://www.ieee802.org/1/files/public/docs2008/as-garner-1588v2-summary-0908.pdf>>

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия D	Общие принципы тарификации
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
Серия G	Системы и среда передачи, цифровые системы и сети
Серия H	Аудиовизуальные и мультимедийные системы
Серия I	Цифровая сеть с интеграцией служб
Серия J	Кабельные сети и передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов
Серия K	Защита от помех
Серия L	Окружающая среда и ИКТ, изменение климата, электронные отходы, энергоэффективность; конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений
Серия M	Управление электросвязью, включая СУЭ и техническое обслуживание сетей
Серия N	Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требования к измерительной аппаратуре
Серия P	Оконечное оборудование, субъективные и объективные методы оценки
Серия Q	Коммутация и сигнализация, а также соответствующие измерения и испытания
Серия R	Телеграфная передача
Серия S	Оконечное оборудование для телеграфных служб
Серия T	Оконечное оборудование для телематических служб
Серия U	Телеграфная коммутация
Серия V	Передача данных по телефонной сети
Серия X	Сети передачи данных, взаимосвязь открытых систем и безопасность
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура, аспекты межсетевого протокола, сети последующих поколений, интернет вещей и "умные" города
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи