



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

**МСЭ-Т**

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ  
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

**Серия G**

**Добавление 43**

(11/2006)

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

---

**Транспортирование стандарта  
IEEE 10G base-R в оптических транспортных  
сетях (OTN)**

Рекомендации МСЭ-Т серии G – Добавление 43

---

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 ВЧ-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   |
| КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ – 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.*

## Добавление 43 к Рекомендациям МСЭ-Т серии G

### Транспортирование стандарта IEEE 10G base-R в оптических транспортных сетях (OTN)

#### Резюме

В настоящем Добавлении описываются некоторые подходы к транспортированию 10G LAN PHY (физической ЛВС 10G) по транспортным сетям СЦИ (синхронной цифровой иерархии) и OTN. Поскольку в некоторых из этих подходов применяются скорости, форматы и преобразования, которые не определены в Рекомендациях МСЭ-Т, в настоящем Добавлении анализируются различные атрибуты разных подходов к предоставлению руководящих указаний, касающихся их применимости к различным сетевым контекстам.

Настоящее Добавление относится к Рекомендациям [МСЭ-Т G.872], [МСЭ-Т G.709/Y.1331], [МСЭ-Т G.798], [МСЭ-Т G.707/Y.1322], [МСЭ-Т G.8010/Y.1306], [МСЭ-Т G.8012/Y.1308], [МСЭ-Т G.959.1] и [МСЭ-Т G.696.1].

#### Источник

Добавление 43 к Рекомендациям МСЭ-Т серии G принято 10 ноября 2006 года 15-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2005–2008 гг.).

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи. 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 носит добровольный характер. Однако в Рекомендации могут содержаться определенные обязательные положения (например, для обеспечения возможности взаимодействия или применимости), и соблюдение положений данной Рекомендации достигается в случае выполнения всех этих обязательных положений. Для выражения необходимости выполнения требований используется синтаксис долженствования и соответствующие слова (такие как "должен" и т. п.), а также их отрицательные эквиваленты. Использование этих слов не предполагает, что соблюдение положений данной Рекомендации является обязательным для какой-либо из сторон.

## ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на вероятность того, что практическое применение или реализация этой Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, обоснованности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, отстаиваются ли они членами МСЭ или другими сторонами вне процесса подготовки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещение об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для выполнения этой Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что это 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 2007

Все права сохранены. Никакая часть данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких-либо средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

## СОДЕРЖАНИЕ

|     | Стр.   |
|-----|--|
| 1   | Сфера применения ..... 1   |
| 2   | Справочные документы..... 1  |
| 3   | Определения ..... 2  |
| 3.1 | Термины, определенные в других документах..... 2   |
| 3.2 | Термины, определенные в настоящем Добавлении ..... 2   |
| 4   | Сокращения и акронимы ..... 2  |
| 5   | Условные обозначения ..... 2   |
| 6   | Стандартные преобразования ..... 2   |
| 6.1 | 10G base-W (WAN PHY) посредством STM-64 ..... 2  |
| 6.2 | Преобразование GFP-F полезной нагрузки 10G base-R (LAN PHY) только в OPU2 ..... 3  |
| 7   | Нестандартные преобразования ..... 3   |
| 7.1 | Прозрачное по битам преобразование сигнала 10G base-R в OPU2e ..... 3  |
| 7.2 | Прозрачное по битам преобразование сигнала 10G base-R в OPU1e ..... 4  |
| 7.3 | Прозрачное транспортирование информации из полезной нагрузки и начальной части в соответствии со скоростью передачи по G.709 ..... 4 |
| 8   | Характеристики альтернативных преобразований ..... 6   |
| 8.1 | Соответствие скорости передачи по G.709 ..... 7  |
| 8.2 | Междоменные/внутридоменные интерфейсы ..... 7  |
| 8.3 | Хронирование и синхронизация..... 7  |
| 8.4 | Оптические характеристики ..... 7  |
| 8.5 | Мультиплексирование, многофункциональность ..... 7   |
| 8.6 | Прозрачность ..... 8   |
| 8.7 | Мониторинг КОБ..... 9  |



## Добавление 43 к Рекомендациям МСЭ-Т серии G

### Транспортирование стандарта IEEE 10G base-R в оптических транспортных сетях (OTN)

#### 1 Сфера применения

В настоящем Добавлении описываются различные подходы к транспортированию сигналов 10G base-R в оптических транспортных сетях с применением формата кадра ODU2 или нестандартного формата кадра типа ODU2 (т. е. скоростей, форматов и преобразований, которые не определяются в Рекомендациях МСЭ-Т). Описываются различные атрибуты разнообразных решений, с тем чтобы помочь в подготовке руководящих указаний в отношении того, какие подходы соответствуют каким контекстам сети.

Включение в данное Добавление преобразования, которое в настоящее время не является стандартным, не препятствует тому, чтобы в будущем такое преобразование рассматривалось с целью его стандартизации.

#### 2 Справочные документы

- [ITU-T G.694.1] ITU-T Recommendation G.694.1 (2002), *Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid*.
- [ITU-T G.696.1] Рекомендация МСЭ-Т G.696.1 (2005 г.), *Внутридоменные приложения плотного волнового уплотнения (DWDM), совместимые в продольном направлении*.
- [ITU-T G.707/Y.1322] ITU-T Recommendation G.707/Y.1322 (2003), *Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)*.
- [ITU-T G.709/Y.1331] Рекомендация МСЭ-Т G.709/Y.1331 (2003 г.), *Интерфейсы оптической транспортной сети (OTN)*.
- [ITU-T G.798] ITU-T Recommendation G.798 (2006), *Characteristics of optical transport network hierarchy equipment functional blocks*.
- [ITU-T G.870/Y.1352] ITU-T Recommendation G.870/Y.1352 (2004), *Terms and definitions for optical transport networks (OTN)*.
- [ITU-T G.872] ITU-T Recommendation G.872 (2001), *Architecture of optical transport networks, plus Corrigendum 1 (2005)*.
- [ITU-T G.959.1] ITU-T Recommendation G.959.1 (2006), *Optical transport network physical layer interfaces*.
- [ITU-T G.8001/Y.1354] ITU-T Recommendation G.8001/Y.1354 (2006), *Terms and definitions for Ethernet frames over Transport (EoT)*.
- [ITU-T G.8010/Y.1306] Рекомендация МСЭ-Т G.8010/Y.1306 (2004 г.), *Архитектура сетей уровня Ethernet* и Изменение 1 (2006 г.).
- [ITU-T G.8012/Y.1308] ITU-T Recommendation G.8012/Y.1308 (2004), *Ethernet UNI and Ethernet NNI, plus Amendment 1 (2006)*.
- [ITU-T G.8251] ITU-T Recommendation G.8251 (2001), *The control of jitter and wander within the optical transport network (OTN)*.
- [IEEE 802.3] IEEE 802.3 (2005), *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*.

### 3 Определения

#### 3.1 Термины, определенные в других документах

В настоящем Добавлении используются термины, определенные в других документах:

**3.1.1 начальная часть (preamble):** См. [IEEE 802.3]. 7 октетов, которые предшествуют SFD до какого-либо блока пакетов/трафика Ethernet. Первоначально использовалась для обнаружения конфликтов для полудуплексных интерфейсов Ethernet со скоростью работы 100 Мбит/с и менее.

**3.1.2 межпакетный интервал (inter-packet gap) (IPG):** См. [IEEE 802.3]. Задержка или временной интервал между пакетами CSMA/CD (многостанционный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов), предназначенные для обеспечения времени восстановления между кадрами для других подуровней CSMA/CD и для физической передающей среды.

**3.1.3 начальный ограничитель кадра (start of frame delimiter) (SFD):** См. [IEEE 802.3]. Поле SFD является последовательность 10101011. SFD следует непосредственно за модулем начальной части и обозначает начало кадра.

#### 3.2 Термины, определенные в настоящем Добавлении

*Нет.*

### 4 Сокращения и акронимы

В настоящем Добавлении используются следующие сокращения:

CBR10G: См. [МСЭ-Т G.870/Y.1352].

CBR2.5G: См. [МСЭ-Т G.870/Y.1352].

IaDI: См. [МСЭ-Т G.870/Y.1352].

IrDI: См. [МСЭ-Т G.870/Y.1352].

OCC, OCCr: См. [МСЭ-Т G.870/Y.1352].

### 5 Условные обозначения

*Нет.*

### 6 Стандартные преобразования

#### 6.1 10G base-W (WAN PHY) посредством STM-64

В [IEEE 802.3] определяется интерфейс WAN (распределенной сети) с целью совместимости с транспортированием СЦИ/SONET. В домене Ethernet этот интерфейс поддерживается посредством подуровня интерфейса WAN (раздел 50 [IEEE 802.3]), что ограничивает эффективную скорость передачи данных XGMII значениями от 10 Гбит/с до 9,95328 Гбит/с перед кодированием 64B/66B и включением формата кадра СЦИ/SONET. Преобразование этих данных в кадре СЦИ STM-64 (VC-4-64c) приводится в Приложении F [МСЭ-Т G.707/Y.1322].

Даже если интерфейс обеспечивает точность тактовой частоты только в  $\pm 20$  импульсов в минуту, которая требуется согласно разделу 50 [IEEE 802.3], а не допуски по тактовой частоте СЦИ ( $\pm 4,6$  импульсов в минуту), эти данные могут быть транспортированы посредством ODU2 в соответствии с преобразованием, указанным в разделе 17.1.2 [МСЭ-Т G.709/Y.1331].



## 6.2 Преобразование GFP-F полезной нагрузки 10G base-R (LAN PHY) только в OPU2

Прозрачное преобразование информации о полезной нагрузке может осуществляться в соответствии с разделом 7.3 [МСЭ-Т G.709/Y.1331] с использованием следующих процедур:

- завершить (достичь стока) линейный код 64В/66В, начальную часть, SFD и IPG в соответствии с [IEEE 802.3];
- применить процедуру формирования кадра GFP-F;
- закодировать в OPU2 в соответствии с разделом 7.3 [МСЭ-Т G.709/Y.1331].

При условии, что в среднем кадры MAC не превышают минимального размера, указанного в [IEEE 802.3] (1518 октетов за исключением начальной части, SFD и IPG), необходимая скорость передачи для сигнала, который отличается на +100 импульсов в минуту от номинальной скорости передачи, составляет приблизительно 9 922 968,791 кбит/с.

Если используется максимальный размер крупных кадров, то необходимая скорость передачи для сигнала, который отличается на +100 импульсов в минуту от номинальной скорости передачи, составляет приблизительно 9 995 002,399 кбит/с.

Следует отметить, что в преобразовании кадров GFP в OPUk (блоке полезной нагрузки оптического канала), указанном в разделе 7.3 [МСЭ-Т G.709/Y.1331], представлена вся область полезной нагрузки OPU2 в 9 995 277 кбит/с (т. е. не представлены фиксированные байты-заполнители преобразования CBR10G). Для OPU2, работающего с минимальной скоростью, которая на –20 импульсов в минуту отличается от номинального значения, это значение уменьшается до 9 995 077,058 кбит/с.

При стандартном оконечном устройстве согласно стандарту 802.3 при таком преобразовании может полностью транспортироваться любой блок трафика ETH\_CI из сигнала 10G base-R по OPU2. Следует обратиться к таблице V.4 [МСЭ-Т G.7041/Y.1303], в которой приводится классификация максимальной скорости передачи MAC (без учета заголовка) сигналов 10G base-R в сравнении с отображениями GFP. Максимальная скорость передачи MAC интерфейса 10G base-R, если исходить из наихудшего случая, когда имеются крупные кадры в 9618 байтов, составляет 9 986 502 бит/с. Максимальная скорость передачи MAC отображения GFP тех же кадров MAC в ODU2 составляет 9 986 970 бит/с, что больше, чем требуется для передачи всей полезной нагрузки MAC из сигнала 10G base-R.

## 7 Нестандартные преобразования

Означают скорости, форматы и преобразования, которые полностью не определены в Рекомендациях МСЭ-Т.

### 7.1 Прозрачное по битам преобразование сигнала 10G base-R в OPU2e

При таком преобразовании используется схема преобразования сигнала CBR10G в OPU2, определенная в разделе 17.1.2 [МСЭ-Т G.709/Y.1331]. Сигнал клиента, 10GbE LAN PHY, с фиксированными байтами-заполнителями включается в сигнал типа OPU, далее в сигнал типа ODU, а затем в сигнал типа OTU. Эти сигналы обозначены, соответственно, OPU2e, ODU2e и OTU2e. При таком преобразовании сигнал OTU2e должен быть тактирован при номинальной скорости передачи 11,0957 Гбит/с в отличие от стандартной номинальной скорости передачи OTU2 в 10,709225316 Гбит/с. Кроме того, поскольку сигнал формируется путем упаковки сигнала с допуском по тактовой частоте исходного сигнала Ethernet ( $\pm 100$  импульсов в минуту), а не стандартного сигнала OTU2 ( $\pm 20$  импульсов в минуту), стандартные методы контроля фазового дрожания и фазового дрейфа в соответствии с [МСЭ-Т G.8251] не применяются.

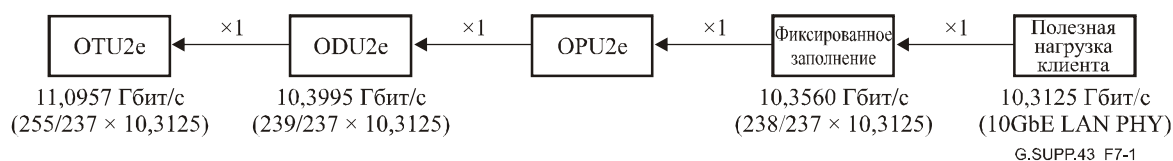
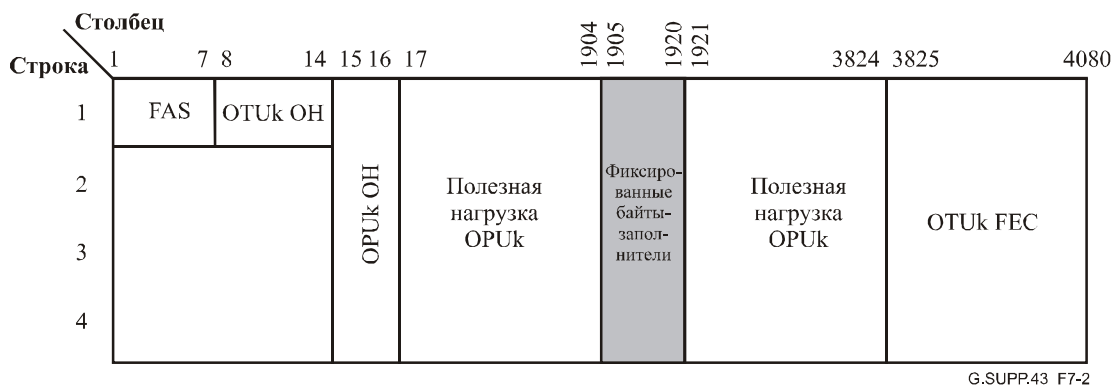


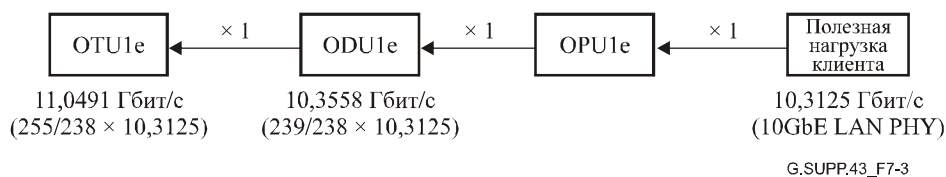
Рисунок 7-1 – Структура преобразования с фиксированным заполнением



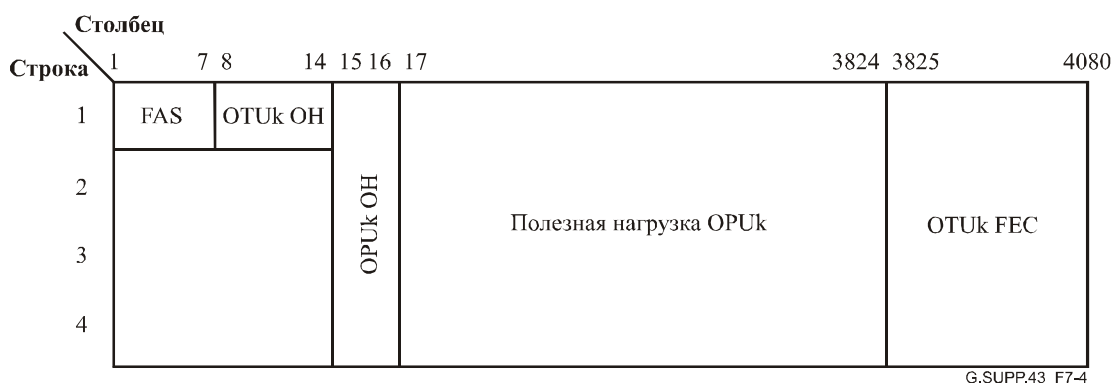
**Рисунок 7-2 – Кадр преобразования с фиксированными байтами-заполнителями**

### 7.2 Прозрачное по битам преобразование сигнала 10G base-R в OPU1e

При таком преобразовании используется преобразование сигнала CBR2G5 в OPU1, определенное в разделе 17.1.1 [МСЭ-Т G.709/Y.1331]. Оно имеет те же атрибуты, что и описанное выше в разделе 7.1 преобразование, но, поскольку не были оставлены свободные фиксированные байты-заполнители преобразования CBR10G, общая скорость передачи данных немного ниже (11,0491 Гбит/с вместо с 11,0957 Гбит/с). Как и в случае варианта, приведенного в разделе 7.1, при допуске по тактовой частоте базового сигнала Ethernet ( $\pm 100$  импульсов в минуту), а не стандартного сигнала OTU2 ( $\pm 20$  импульсов в минуту), стандартные методы контроля фазового дрожания и фазового дрейфа в соответствии с [МСЭ-Т G.8251] не применяются.



**Рисунок 7-3 – Структура преобразования без фиксированного заполнения**

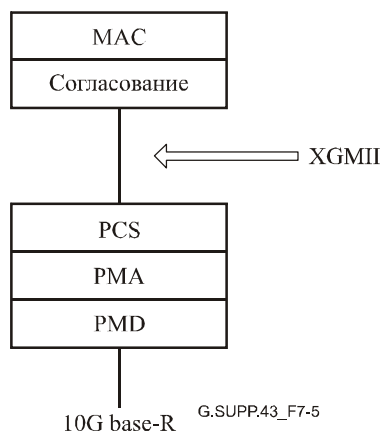


**Рисунок 7-4 – Кадр преобразования без фиксированных байтов-заполнителей**

### 7.3 Прозрачное транспортирование информации из полезной нагрузки и начальной части в соответствии со скоростью передачи по G.709

*Определить данные и упорядоченные совокупности с использованием информации по 64B/66B*

Сигнал 10 GbE LAN состоит из нескольких уровней, как это указано на рисунке 7-5:



**Рисунок 7-5 – Модель 10 GbE LAN**

Подуровень PCS описывается в разделе 49 [IEEE 802.3].

#### *Формирование пакетов данных GFP-F*

Данные пользователей формируются в пакеты с использованием 8-байтового заголовка GFP-F.

Упорядоченные совокупности формируются в пакеты данных с использованием 8-байтового заголовка GFP-F. В первом байте упорядоченной совокупности четыре самых значимых бита устанавливаются на все нули, а четыре наименее значимых бита равны коду 0. Таким способом могут переноситься как последовательные совокупности, так и упорядоченные совокупности сигналов. Следующие три байта содержат три бита данных упорядоченной совокупности.

8-байтовый заголовок включает:

- 2 байта – указатель длины протокольного блока данных (PLI);
- 2 байта – контроль ошибок заголовка sHEC;
- 2 байта – тип GFP;
- 2 байта – контроль ошибок заголовка tHEC.

Поле типа GFP показано на рисунке 6-5 [G.7041/Y.1303].

В поле UPI показываются данные или последовательные совокупности. Остальные поля не изменяются:

- PTI = 000 (данные клиента);
- PFI = 0 (нет контрольной последовательности кадра FCS);
- EXI = 0000 (нулевой заголовок расширения);
- UPI = частный код (предпочтительно 1111 1101 (новый код для кодированных данных 64В/66В для 10GbE));  
     = частный код (предпочтительно 1111 1110 (новый код для упорядоченной совокупности 64В/66В для 10GbE)).

**ПРИМЕЧАНИЕ.** – Контрольные коды, такие как Idle, Error, и резервные коды не переносятся. Кодировки UPI берутся из ряда кодов, зарезервированных для частного использования в соответствии с [МСЭ-Т G.7041/Y.1303].

#### *Преобразование в OPU2*

Сигнал 10GbE LAN не передает информацию о хронировании или синхронизации, так что нет необходимости осуществлять фиксирование. Для переноса данных используются биты "Специфичные для преобразования и конкатенации" заголовка OPU (байты 1, 2, и 3 в столбце 15 и весь столбец 16).

Для того чтобы отличать это преобразование от стандартного формирования кадров GFP-F, описанного в разделе 6.2, используется тип рабочей нагрузки (частный, предпочтительно 1000 0111),

называемый "Преобразование 64В/66В кадров GFP-F" из ряда кодов частного использования, распределенных в [МСЭ-Т G.709/Y.1331].

## 8 Характеристики альтернативных преобразований

В таблице 8-1 в кратком виде излагаются характеристики и сферы применения каждого из различных преобразований. Более подробно каждая из этих характеристик описывается в указанных разделах данного Добавления.

**Таблица 8-1 – Характеристики альтернативных преобразований**

| Преобразование  | Раздел 6.1                                 | Раздел 6.2                   | Раздел 7.1                   | Раздел 7.2                   | Раздел 7.3                   |
|---|--|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Соответствует скорости передачи по G.709 (см. 8.1)                                | Да   | Да                           | Нет                          | Нет                          | Да                           |
| IrDI/IaDI (см. 8.2)   | Оба  | Оба                          | Только IaDI                  | Только IaDI                  | Оба                          |
| Допуск по тактовой частоте сигнала клиента Ethernet (см. 8.3)                     | $\pm 20$ импульсов в минуту (Примечание 1) | $\pm 100$ импульсов в минуту | $\pm 100$ импульсов в минуту | $\pm 100$ импульсов в минуту | $\pm 100$ импульсов в минуту |
| Допуск по тактовой частоте сигнала ODUxx (см. п. 8.3)                             | $\pm 20$ импульсов в минуту                | $\pm 20$ импульсов в минуту  | $\pm 100$ импульсов в минуту | $\pm 100$ импульсов в минуту | $\pm 20$ импульсов в минуту  |
| Фазовое дрожание/дрейф в соответствии с [МСЭ-Т G.8251] (см. 8.3)                  | Да   | Да                           | Нет                          | Нет                          | Да                           |
| Оптический компонентный класс по G.959.1 (см. 8.4)                                | NRZ/RZ 10G                                 | NRZ/RZ 10G                   | NRZ/RZ 40G                   | NRZ/RZ 40G                   | NRZ/RZ 10G                   |
| Класс клиента по G.696.1 (см. 8.4)  | 10G  | 10G                          | 40G                          | 40G                          | 10G                          |
| Мультиплексирование до 40G в соответствии с [МСЭ-Т G.709/Y.1331] (см. 8.5)        | Да   | Да                           | Нет                          | Нет                          | Да                           |
| Транспортирование рабочей нагрузки с полной скоростью (см. 8.6)                   | Нет  | Да                           | Да                           | Да                           | Да                           |
| Транспортирование начальной части и рабочей нагрузки с полной скоростью (см. 8.6) | Да   | Нет                          | Да                           | Да                           | Да                           |
| Транспортирование IPG (см. 8.6)   | Да   | Нет                          | Да                           | Да                           | Нет                          |
| Полная прозрачность по битам (см. 8.6)  | Да   | Нет                          | Да                           | Да                           | Нет                          |
| Поддержка неуказанного частного использования MAC или подуровня PCS (см. 8.6)     | Да   | Нет                          | Да                           | Да                           | Да (Примечание 2)            |
| Мониторинг КОБ на основе PCS (см. 8.7)  | Да   | Нет                          | Да                           | Да                           | Нет                          |

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В [IEEE 802.3] для допуска по тактовой частоте для интерфейса 10G base-W указывается  $\pm 20$  импульсов в минуту. В [МСЭ-Т G.707/Y.1322] отмечается, что сигналы 10G base-W, которые соответствуют более жесткому допуску по тактовой частоте в  $\pm 4,6$  импульсов в минуту, могут быть перенесены в сеть СЦИ как STM-64. Однако преобразование в ODU2 поддерживает любой сигнал CBR10G, включая STM-64 и 10G base-W, который имеет допуск по тактовой частоте  $\pm 20$  импульсов в минуту.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Поддерживается частное использование начальной части. Не поддерживается частное использование IPG.

## 8.1 Соответствие скорости передачи по G.709

Указанной в Рекомендации МСЭ-Т G.709 скоростью передачи, которая обычно используется для транспортирования сигналов приблизительно в 10 Гбит/с, является скорость OPU2. Номинальная скорость передачи для рабочей нагрузки OPU2 составляет 9 995 276,962 кбит/с. При такой скорости сигналы могут транспортироваться напрямую посредством таких преобразований, как GFP-F, или посредством STM-64 с использованием преобразования CBR10G, описываемого в разделе 17.1.2 [МСЭ-Т G.709/Y.1331]. Преобразования, которые соответствуют скорости передачи по G.709, являются сигналами, которые могут включаться в сеть в соответствии с архитектурой OTN, указанной в [МСЭ-Т G.872].

## 8.2 Междоменные/внутридоменные интерфейсы

В [МСЭ-Т G.872] описаны два различных типа интерфейсов для использования в оптической транспортной сети. Междоменные интерфейсы (IrDI) – это стандартизованные интерфейсы, которые могут использоваться в точках с автоматическим режимом между операторами или между оборудованием от различных поставщиков в среде одного оператора. Внутридоменные интерфейсы (IaDI) применяются, как правило, только в оборудовании от одного поставщика в рамках сети оператора, что позволяет использовать единые оптическую технологию, управление дисперсией и т. д. в контексте систем связи на большие расстояния с оптическими линиями.

Преобразование сигналов 10G base-R посредством OPU2e и OPU1e в соответствии с разделами 7.1 и 7.2 представляют собой по существу внутридоменные интерфейсы. Они не являются сигналами со стандартной скоростью передачи по G.709. Они не взаимодействуют со стандартными преобразованиями Ethernet, например использующими GFP-F. Два перепрограммированных механизма не взаимодействуют между собой. В результате такие сигналы, как правило, только разворачиваются в сквозной конфигурации между оборудованием, которое реализует такое же преобразование.

## 8.3 Хронирование и синхронизация

Допуск на хронирование для сигналов по G.709 составляет  $\pm 20$  импульсов в минуту. Допуск на хронирование для сигналов Ethernet 10G base-R Ethernet составляет  $\pm 100$  импульсов в минуту. Преобразования, которые просто упаковывают сигнал Ethernet в кадр типа G.709 (например, описанные в разделах 7.1 и 7.2), получают хронирование из сигнала Ethernet и поэтому имеют точность хронирования в  $\pm 100$  импульсов в минуту.

В [МСЭ-Т G.8251] был подробно проанализирован контроль фазового дрожания и фазового дрейфа для сигналов по G.709 с точностью хронирования  $\pm 20$  импульсов в минуту. Для сигналов на базе Ethernet с точностью хронирования  $\pm 100$  импульсов в минуту такой анализ не проводился. Сигналы с точностью хронирования  $\pm 100$  импульсов в минуту, как правило, следует использовать только в ситуации сквозного соединения, когда не стоит вопрос с фазовым дрожанием и фазовым дрейфом.

## 8.4 Оптические характеристики

В [МСЭ-Т G.959.1] указываются оптические компонентные классы для работы 10G, которые применимы к сигналам от 2,4 Гбит/с до 10,71 Гбит/с. Сигналы выше 10,71 Гбит/с, в том числе два перепрограммированных преобразования, попадают только в диапазон для 40G от 9,9 Гбит/с до 43,02 Гбит/с. В [МСЭ-Т G.696.1] указывается аналогичный набор диапазонов для классов клиентов для 10G и 40G. Поскольку сигналы в соответствии с разделами 7.1 и 7.2 превышают диапазоны 10G, спектральные характеристики ниже, чем у стандартного канала 10G, что следует принимать во внимание при выборе соответствующей сетки частот для транспортирования этих сигналов.

## 8.5 Мультиплексирование, многофункциональность

В [МСЭ-Т G.709/Y.1331] предусматривается мультиплексирование сигналов в 10 Гбит/с посредством ODU2 в ODU3. Такая иерархия мультиплексирования позволяет оптимизировать пропускную способность волокна путем передачи самого большого количества битов на длину волны.

Пока в сети используются сигналы со стандартной скоростью передачи, мультиплексирование в 40 Гбит/с, указанное в разделе 19 [МСЭ-Т G.709/Y.1331], является прямым. Возможно взаимодействие многофункциональных сетей: нет необходимости в том, чтобы все ODU2 в 10 Гбит/с транспортировали сигнал одного и того же типа. Сигналы ODU2, переносящие различную рабочую нагрузку, включая STM-64, Ethernet с отображением GFP-F, или поочередно мультиплексирующие четыре сигнала ODU1 в 2,5 Гбит/с, могут комбинироваться в рамках той же длины волны в 40 Гбит/с.

Однако такой механизм мультиплексирования основан на сигналах ODU2 со стандартной скоростью передачи (10 037 273,924 кбит/с) и допуском на хронирование ( $\pm 20$  импульсов в минуту). Такой механизм мультиплексирования не определен для сигналов с нестандартной скоростью передачи (например, ODU2e (10,3995 Гбит/с) и ODU1e (10,3558 Гбит/с)), которые описаны в разделах 7.1 и 7.2, соответственно. Эти две нестандартные скорости передачи не могут быть мультиплексированы с какими-либо сигналами со стандартной скоростью передачи или между собой. Возможности фиксации механизма мультиплексирования по G.709 также разработаны исходя из допуска на хронирование в  $\pm 20$  импульсов в минуту.

## 8.6 Прозрачность

Ethernet – это пакетная технология. В разделе 6 [МСЭ-Т G.8010/Y.1306] характеристическая информация о сети уровня Ethernet определяется как несвязный поток блоков трафика ETH\_CI, каждый из которых состоит из адреса назначения, адреса источника и блока служебных данных MAC, ограниченного характерными для линии заголовками и завершителями.

### 8.6.1 Прозрачность информации

Все преобразования, которые обсуждались в этом Добавлении, переносят поток блоков трафика ETH\_CI и поэтому являются прозрачными для характеристической информации о сети уровня Ethernet.

### 8.6.2 Прозрачность кадра MAC

Характерные для линии заголовки и завершители, используемые для блоков трафика ETH\_CI, переносимого с использованием описанных в настоящем Добавлении преобразований, в кратком виде приводятся в таблице 8-2.

**Таблица 8-2 – Заголовок и завершитель ETH\_CI, используемые в различных преобразованиях**

| Преобразование (раздел) | Формат заголовка                      | Формат завершителя | Межкадровый наполнитель |
|-------------------------|---------------------------------------|--------------------|-------------------------|
| 6.1                     | Начальная часть + SFD                 | MAC FCS            | IPG                     |
| 6.2                     | Заголовок GFP                         | MAC FCS            | GFP Idle                |
| 7.1                     | Начальная часть + SFD                 | MAC FCS            | IPG                     |
| 7.2                     | Начальная часть + SFD                 | MAC FCS            | IPG                     |
| 7.3                     | Заголовок GFP + начальная часть + SFD | MAC FCS            | GFP Idle                |

В начальные части [IEEE 802.3] SFD и IPG рассматриваются как заголовки, а не как рабочая нагрузка. Они не проходят мост или повторитель в какой-либо стандартизированной полностью дуплексной технологии Ethernet. Изначально они вводились в формат кадра для поддержки обнаружения конфликтов для полудуплексных интерфейсов Ethernet на скоростях 100 Мбит/с и ниже. Поскольку это фактически "свободное пространство" для полностью дуплексных интерфейсов, были случаи, когда начальная часть и IPG использовались для передачи данных для неуказанных частных целей.

Есть случаи, когда указывается на необходимость того, чтобы в транспортной сети начальная часть и IPG оставались нетронутыми. Для выполнения этого требования к транспортированию нестандартного Ethernet в транспортных сетях иногда необходимо использовать нестандартные преобразования.

### 8.6.3 Прозрачность полной скорости

Как указано выше, Ethernet – это пакетная технология. Имеются интерфейсы Ethernet при различных скоростях. Многочисленные различные скорости интерфейсов могут использоваться в одной и той же сети Ethernet, при этом потоки пакетов маршрутизируются на мостах в сети по своим направлениям.

Поскольку Ethernet – технология, основанная на пакетах, а не на каналах, нет гарантий того, что имеется достаточная ширина полосы для транспортирования всех пакетов, маршрутизируемых по какому-либо конкретному каналу. Это может происходить в связи с тем, что в сети используются разнообразные скорости линий, или просто потому, что пакеты могут прибывать к мосту по многим различным линиям, которые маршрутизированы по той же линии, что превышает емкость этой линии. Перегрузка такого вида может привести к задержкам и отброшенным пакетам, когда на мосту превышает буфер емкости. Все отмеченное – это часть обычной работы Ethernet.

Тем не менее, имеются случаи, когда считается важным транспортировать по транспортной сети каждый пакет из интерфейса Ethernet 10G base-R.

Описанное в разделе 6.1 преобразование реализуется через интерфейс 10G base-W (10G WAN PHY) на мосту Ethernet. Результатом обычной работы моста Ethernet будет максимальный поток пакетов по этой линии, который приблизительно на 3% меньше максимального значения, возможного с использованием интерфейса 10G base-R (10G LAN PHY).

Описанное в разделе 6.2 преобразование способно транспортировать на полной скорости пакеты интерфейса 10G base-R, даже если имеющаяся в OPU2 последовательная скорость передачи меньше. К числу причин, по которым один и тот же поток пакетов может поддерживаться при более низкой скорости передачи, относятся следующие:

- использование скремблеров OTN (раздел 11.2 [МСЭ-Т G.709/Y.1331]), а не кодирования 64B/66B для обеспечения переходов, требуемых для формирования кадров получаемого сигнала;
- использование GFP для разграничения пакетов, а не формирование кадров MAC. В заголовке GFP используется такое же количество октетов, что и в начальной части и SFD, но для формирования кадров MAC после MAC FCS требуется IPG (минимум 12 октетов).

Использование нестандартных преобразований (разделы 7.1 и 7.2) требуется только для достижения как полной скорости пакета 10G base-R, так и прозрачности кадров MAC (см. раздел 8.6.2), что позволило бы нестандартным образом использовать начальную часть и IPG или PCS подуровня.

### 8.7 Мониторинг КОБ

В [МСЭ-Т G.709/Y.1331] в структуре кадра ODUk предусматривается мониторинг коэффициента ошибок по битам (КОБ) независимо от того, передается ли сигнал клиента с использованием проверки на четность ВР-8. Такой мониторинг осуществляется на уровне трассы (ODUk) и раздела (OTUk), а также вплоть до шести уровней мониторинга последовательных соединений.

Кроме того, преобразования, которые транспортируют кодирование 64B/66B подуровня PCS, могут сами осуществлять мониторинг КОБ от оконечного устройства MAC до оконечного устройства MAC в рамках уровня клиента посредством обнаружения недействительных кодированных слов 66B.

Преобразования, которые декодируют 64B/66B до передачи пакетов (например, как в разделе 6.2 с использованием формирования кадров GFP-F), все же могут использовать такое кодирование для мониторинга КОБ в сегментах трассы с использованием физического интерфейса 10G base-R, но использовали бы ВР-8 в заголовке ODU2 для мониторинга КОБ в сегментах OTN трассы.







## 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  |
| <b>Серия G</b> | <b>Системы и среда передачи, цифровые системы и сети</b>  |
| 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        | 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        | Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий                                |
| Серия Q        | Коммутация и сигнализация   |
| 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 и сети последующих поколений  |
| Серия Z        | Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи                                |