

# МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ  
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

# G.959.1

(07/2018)

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

Цифровые участки и система цифровых линий –  
Цифровые линейные системы

---

## Интерфейсы физического уровня оптической транспортной сети

Рекомендация МСЭ-Т G.959.1

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 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
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
<b>Цифровые линейные системы</b>	<b>G.950–G.959</b>
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.959.1

### Интерфейсы физического уровня оптической транспортной сети

#### Резюме

В Рекомендации МСЭ-Т G.959.1 приведено описание физического уровня спецификации междоменного интерфейса (IrDI) для оптических сетей, в которых может использоваться мультиплексирование с разделением по длинам волн (WDM). В оптической транспортной сети (OTN) интерфейсы IrDI предоставляются однонаправленными, двухточечными, одноканальными и многоканальными линейными системами. Их основная цель заключается в предоставлении возможности поперечно совместимых интерфейсов для пересечения границы между двумя административными доменами. Спецификации IrDI включают внутростанционные приложения, приложения связи на близкие расстояния и приложения дальней связи без использования линейных усилителей.

В этой версии настоящей Рекомендации описываются многоканальные интерфейсы с поддержкой FOIC2.4 (200 Гбит/с, распределенные по четырем физическим полосам) и FOIC4.8 (400 Гбит/с, распределенные по восьми физическим полосам).

#### Хронологическая справка

Издание	Рекомендация	Утверждение	Исследовательская комиссия	Уникальный идентификатор*
1.0	МСЭ-Т G.959.1	09.02.2001 г.	15-я	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/5362">11.1002/1000/5362</a>
2.0	МСЭ-Т G.959.1	14.12.2003 г.	15-я	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/7067">11.1002/1000/7067</a>
3.0	МСЭ-Т G.959.1	29.03.2006 г.	15-я	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/8758">11.1002/1000/8758</a>
4.0	МСЭ-Т G.959.1	29.03.2008 г.	15-я	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/9377">11.1002/1000/9377</a>
5.0	МСЭ-Т G.959.1	13.11.2009 г.	15-я	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/10403">11.1002/1000/10403</a>
5.1	МСЭ-Т G.959.1 (2009) Попр. 1	13.04.2011 г.	15-я	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/11122">11.1002/1000/11122</a>
6.0	МСЭ-Т G.959.1	13.02.2012 г.	15-я	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/11494">11.1002/1000/11494</a>
7.0	МСЭ-Т G.959.1	13.04.2016 г.	15-я	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/12793">11.1002/1000/12793</a>
8.0	МСЭ-Т G.959.1	22.07.2018 г.	15-я	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/13526">11.1002/1000/13526</a>

#### Ключевые слова

Внутростанционная связь, дальняя связь, многоканальный, одноканальный, оптический, поперечно совместимый, прикладные коды, связь на близкие расстояния, физический уровень, IrDI, non-OTN, OTN, WDM.

\* Для получения доступа к Рекомендации наберите в адресном поле вашего браузера URL: <http://handle.itu.int/>, а затем уникальный идентификатор Рекомендации. Например, <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 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 2020

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	Термины и определения.....	2
3.1	Термины, определенные в других документах.....	2
3.2	Термины, определенные в настоящей Рекомендации .....	2
4	Сокращения и акронимы.....	4
5	Классификация оптических интерфейсов .....	5
5.1	Приложения.....	5
5.2	Эталонные точки .....	6
5.3	Система условных обозначений .....	7
5.4	Многоканальные междоменные интерфейсы.....	9
5.5	Одноканальные междоменные интерфейсы .....	12
5.6	Реализации сигнала управления .....	15
6	Поперечная совместимость.....	15
7	Определение параметров .....	16
7.1	Диапазон рабочих длин волн системы.....	16
7.2	Параметры .....	16
8	Значения параметров.....	31
8.1	Многоканальный IrDI.....	31
8.2	Одноканальный IrDI.....	40
9	Соображения по оптической технике безопасности .....	53
10	Управление уровнем мощности.....	53
	Приложение А – Конфигурация для метода А оценки одноканальных характеристик в многоканальном IrDI.....	54
	А.1 Эталонная конфигурация .....	54
	Приложение В – Характеристики эталонного оптического полосового фильтра и эталонные характеристики приемника для метода В оценки одноканальных характеристик в многоканальном IrDI.....	55
	В.1 Эталонная конфигурация .....	55
	В.2 Эталонный оптический полосовой фильтр.....	55
	В.3 Эталонный приемник .....	56
	Дополнение I – Одноканальные клиентские интерфейсы с регенерацией 3R.....	57
	I.1 Введение .....	57
	I.2 Описание клиентских сигнальных интерфейсов с регенерацией 3R .....	57
	Дополнение II – Универсальные эталонные точки в OTN .....	58
	Дополнение III – Разъяснение по поводу использования эталонных точек в IrDI и IaDI .....	59
	Дополнение IV – Соображения по реализации управляющих сигналов .....	60
	IV.1 Реализация сигнала управления оптическими трибутарными сигналами.....	60
	IV.2 Реализация оптического мультиплексного участка и сигнала управления участком оптической передачи.....	60

	<b>Стр.</b>
Дополнение V – Система условных обозначений для высшего класса поддерживаемого оптического трибьютарного сигнала .....	61
Дополнение VI – Оптические приложения с трибьютарным сигналом класса RZ 40G .....	62
Дополнение VII – Приложения, использующие электронную компенсацию дисперсии .....	64
Библиография .....	66

### Интерфейсы физического уровня оптической транспортной сети

#### 1 Сфера применения

В настоящей Рекомендации приведено описание физического уровня спецификации междоменного интерфейса (IrDI) для оптических сетей, в которых может использоваться мультиплексирование с разделением по длинам волн (WDM). Там, где уместно, эти интерфейсы могут также использоваться в качестве внутridoменных интерфейсов (IaDI). Спецификации физического уровня действуют для интерфейсов IrDI, не относящихся к оптическим транспортным сетям (non-OTN), а также допускают приложения по OTN IrDI согласно [ITU-T G.709]. В случае non-OTN IrDI возможности управления OTN не требуются. В оптической транспортной сети (OTN) интерфейсы IrDI предоставляются однонаправленными, двухточечными, одноканальными и многоканальными линейными системами. Их основная цель заключается в предоставлении возможности поперечно совместимых интерфейсов для пересечения границы между двумя административными доменами. Спецификации IrDI включают внутростанционные приложения, приложения связи на близкие расстояния и приложения дальней связи без линейных усилителей.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** – В настоящей Рекомендации термин "административный домен" означает ресурсы, которые принадлежат одной стороне, например сетевому оператору, провайдеру услуг или конечному пользователю. Административные домены различных сторон не накладываются друг на друга.

Спецификации организованы согласно прикладным кодам, которые учитывают множество возможных комбинаций числа каналов, типов оптических трибутарных сигналов, расстояний, типов волокон и конфигураций систем. Эталонные конфигурации и прикладные коды формируют основу для определения оптических сетевых параметров физического уровня.

В настоящей Рекомендации (за исключением Дополнения IV) использование оптического управляющего канала не рассматривается. Этот аспект OTN будет рассматриваться в следующих версиях и других новых Рекомендациях МСЭ-Т, возможно, с использованием расположения оптических сетевых элементов с обеих сторон оптического интерфейса подсети, который сложнее двухточечного интерфейса. Для этих приложений могут потребоваться различные параметры, не определенные для двухточечной конфигурации.

Настоящая Рекомендация предполагает, что оптические трибутарные сигналы, передаваемые по сетевым каналам среды передачи, являются цифровыми, а не аналоговыми. Спецификации систем, допускающих передачу аналоговых оптических трибутарных сигналов, оставлены для дальнейшего изучения.

#### 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 источники подлежат пересмотру, поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается изучать возможность использования самого последнего издания Рекомендаций и других ссылок, перечисленных ниже. Список действующих в настоящее время Рекомендаций МСЭ-Т регулярно публикуется. Ссылка на документ в данной Рекомендации не придает ему как отдельному документу статуса Рекомендации.

[ITU-T G.652] Рекомендация МСЭ-Т G.652 (2016 год), *Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля.*

[ITU-T G.653] Рекомендация МСЭ-Т G.653 (2010 год), *Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля со смещенной дисперсией.*

[ITU-T G.655] Рекомендация МСЭ-Т G.655 (2009 год), *Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля с ненулевой смещенной дисперсией.*

[ITU-T G.664] Recommendation ITU-T G.664 (2012), *Optical safety procedures and requirements for optical transport systems.*

- [ITU-T G.691] Рекомендация МСЭ-Т G.691 (2006 год), *Оптические интерфейсы для одноканальных STM-64 и других систем СЦИ с оптическими усилителями.*
- [ITU-T G.692] Recommendation ITU-T G.692 (1998), *Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.*
- [ITU-T G.693] Recommendation ITU-T G.693 (2009), *Optical interfaces for intra-office systems.*
- [ITU-T G.694.1] Recommendation ITU-T G.694.1 (2012), *Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid.*
- [ITU-T G.695] Recommendation ITU-T G.695 (2015), *Optical interfaces for coarse wavelength division multiplexing applications.*
- [ITU-T G.707] Recommendation ITU-T G.707/Y.1322 (2007), *Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH).*
- [ITU-T G.709] Recommendation ITU-T G.709/Y.1331 (2012), *Interfaces for the optical transport network.*
- [ITU-T G.709.1] Recommendation ITU-T G.709.1/Y.1331.1 (2018), *Flexible OTN short-reach interfaces.*
- [ITU-T G.870] Recommendation ITU-T G.870/Y.1352 (2016), *Terms and definitions for optical transport networks.*
- [ITU-T G.872] Recommendation ITU-T G.872 (2017), *Architecture of optical transport networks.*
- [ITU-T G.957] Рекомендация МСЭ-Т G.957 (2006 год), *Оптические интерфейсы для оборудования и систем, относящихся к синхронной цифровой иерархии.*
- [ITU-T G.8251] Recommendation ITU-T G.8251 (2010), *The control of jitter and wander within the optical transport network (OTN).*
- [IEC 60825-1] IEC 60825-1 (2014), *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements.*
- [IEC 60825-2] IEC 60825-2 (2010), *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS).*
- [IEEE 802.3bs] IEEE Std 802.3bs-2017, *IEEE Standard for Ethernet Amendment 10: Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 200 Gb/s and 400 Gb/s Operation.*

### 3 Термины и определения

#### 3.1 Термины, определенные в других документах

В настоящей Рекомендации используются следующие термины, определенные в других документах.

**3.1.1 полностью стандартизированный OTUk (completely standardized OTUk (OTUk))** – [ITU-T G.709].

**3.1.2 сетевой канал среды передачи (network media channel)** – [ITU-T G.870].

**3.1.3 участок оптического мультиплексирования (optical multiplex section (OMS))** – раздел 8.2 [ITU-T G.872].

**3.1.4 оптический управляющий канал (optical supervisory channel (OSC))** – [ITU-T G.692].

**3.1.5 участок оптической передачи (optical transmission section (OTS))** – раздел 8.3 [ITU-T G.872].

#### 3.2 Термины, определенные в настоящей Рекомендации

В настоящей Рекомендации определены следующие термины.



**3.2.1 междоменный интерфейс (inter-domain interface (IrDI))** – физический интерфейс, который служит границей между двумя административными доменами.

**3.2.2 внутridoменный интерфейс (intra-domain interface (IaDI))** – физический интерфейс, находящийся в пределах административного домена.

**3.2.3 неоптическая транспортная сеть (non-optical transport network (non-OTN))** – система, не соответствующая набору Рекомендаций по оптическим транспортным сетям (OTN), приведенных в [b-ITU-T G.871]. В частности, системы non-OTN могут использовать дополнительную служебную информацию клиента для мониторинга работы, управления и защитного переключения или восстановления сигналов одноканального клиента.

**3.2.4 оптический трибутарный сигнал (optical tributary signal (OTSi))** – оптический сигнал, который вводится в сетевой канал среды передачи для передачи по оптической сети. Может состоять из одной модулированной оптической несущей или группы модулированных оптических несущих либо поднесущих.

**3.2.5 класс оптических трибутарных сигналов NRZ 1.25G (optical tributary signal class NRZ 1.25G)** – класс непрерывных цифровых сигналов с линейным кодированием без возврата к нулю (NRZ) со скоростью передачи от номинально 622 Мбит/с до номинально 1,25 Гбит/с. Класс оптических трибутарных сигналов NRZ 1.25G включает сигнал со скоростью передачи STM-4 согласно [ITU-T G.707].

**3.2.6 класс оптических трибутарных сигналов NRZ 2.5G (optical tributary signal class NRZ 2.5G)** – класс непрерывных цифровых сигналов с линейным кодированием без возврата к нулю (NRZ) со скоростью передачи от номинально 622 Мбит/с до номинально 2,67 Гбит/с. Класс оптических трибутарных сигналов NRZ 2.5G включает сигнал со скоростью передачи STM-16 согласно [ITU-T G.707] и со скоростью передачи OTU1 согласно [ITU-T G.709].

**3.2.7 класс оптических трибутарных сигналов NRZ 10G (optical tributary signal class NRZ 10G)** – класс непрерывных цифровых сигналов с линейным кодированием без возврата к нулю (NRZ) со скоростью передачи от номинально 2,4 Гбит/с до номинально 10,76 Гбит/с. Класс оптических трибутарных сигналов NRZ 10G включает сигнал со скоростью передачи STM-64 согласно [ITU-T G.707], скоростью передачи OTU2 согласно [ITU-T G.709] и скоростью передачи OTL3.4 (OTU3, распределенные по четырем физическим полосам) согласно [ITU-T G.709].

**3.2.8 класс оптических трибутарных сигналов NRZ 25G** – класс непрерывных цифровых сигналов с линейным кодированием без возврата к нулю (NRZ) со скоростью передачи от номинально 9,9 Гбит/с до номинально 28 Гбит/с. Класс оптических трибутарных сигналов NRZ 25G включает сигнал со скоростью передачи OTL4.4 (OTU4, распределенные по четырем физическим полосам) согласно [ITU-T G.709] и FOIC1.4-RS согласно [ITU-T G.709.1].

**3.2.9 класс оптических трибутарных сигналов NRZ 40G (optical tributary signal class NRZ 40G)** – класс непрерывных цифровых сигналов с линейным кодированием без возврата к нулю (NRZ) со скоростью передачи от номинально 9,9 Гбит/с до номинально 43,02 Гбит/с. Класс оптических трибутарных сигналов NRZ 40G включает сигнал со скоростью передачи STM-256 согласно [ITU-T G.707] и скоростью передачи информации OTU3 согласно [ITU-T G.709].

**3.2.10 класс оптических трибутарных сигналов RZ 40G (optical tributary signal class RZ 40G)** – класс непрерывных цифровых сигналов с линейным кодированием с возвратом к нулю (RZ) со скоростью передачи от номинально 9,9 Гбит/с до номинально 43,02 Гбит/с. Класс оптических трибутарных сигналов RZ 40G включает сигнал со скоростью передачи STM-256 согласно [ITU-T G.707] и скоростью передачи OTU3 согласно [ITU-T G.709].

**3.2.11 класс оптических трибутарных сигналов PAM4 50G** – класс непрерывных цифровых сигналов с линейным кодированием PAM4 со скоростью передачи от номинально 53,1 Гбит/с до номинально 55,91 Гбит/с. Класс оптических трибутарных сигналов PAM4 50G включает сигнал со скоростью передачи FOIC2.4 и FOIC4.8 согласно [ITU-T G.709.1].

#### 4 Сокращения и акронимы

В данной Рекомендации используются следующие сокращения и акронимы.

2R	Re-amplification, Reshaping	Повторное усиление, изменение формы
3R	Re-amplification, Reshaping, Retiming	Повторное усиление, изменение формы, восстановление синхронизации
APD	Avalanche Photodiode	Лавинный фотодиод
BER	Bit Error Ratio	Коэффициент битовых ошибок
DC	Dispersion Compensation	Компенсация дисперсии
DGD	Differential Group Delay	Дифференциальная групповая задержка
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing	Плотное мультиплексирование по длинам волн
ER	Extinction ratio	Коэффициент экстинкции
FEC	Forward Error Correction	Упреждающая коррекция ошибок
FFS	For Further Study	Для дальнейшего изучения
FWHM	Full Width at Half-Maximum	Полная ширина по уровню половины максимума
IaDI	Intra-Domain Interface	Внутридоменный интерфейс
IrDI	Inter-Domain Interface	Междоменный интерфейс
MLM	Multi-Longitudinal Mode	(Лазер) с многими продольными модами
MPI-R	single-channel Receive Main Path Interface	Интерфейс главного тракта одноканального приема
MPI-R <sub>M</sub>	Multichannel Receive Main Path Interface	Интерфейс главного тракта многоканального приема
MPI-S	single-channel Source Main Path Interface	Интерфейс главного тракта одноканального источника
MPI-S <sub>M</sub>	Multichannel Source Main Path Interface	Интерфейс главного тракта многоканального источника
NA	Not Applicable	Неприменимо
NE	Network Element	Сетевой элемент
NRZ	Non-Return to Zero	Без возврата к нулю
OA	Optical Amplifier	Оптический усилитель
OADM	Optical Add-Drop Multiplexer	Оптический мультиплексор с добавлением/выделением каналов
OD	Optical Demultiplexer	Оптический демультиплексор
OEO	Optical-to-Electrical-to-Optical	Оптический – электрический – оптический (преобразование)
OM	Optical Multiplexer	Оптический мультиплексор
OMA <sub>outer</sub>	Optical Modulation Amplitude (between the outer levels for PAM4)	Амплитуда оптической модуляции (между внешними уровнями для PAM4)
OMS	Optical Multiplex Section	Участок оптического мультиплексирования
ONE	Optical Network Element	Оптический сетевой элемент

OSC	Optical Supervisory Channel	Оптический управляющий канал
OTL	Optical channel Transport Lane	Транспортная полоса оптического канала
OTN	Optical Transport Network	Оптическая транспортная сеть
OTS	Optical Transmission Section	Участок оптической передачи
OTSi	Optical Tributary Signal	Оптический трибутарный сигнал
OTUk	Optical channel Transport Unit – k	Транспортный блок оптического канала – k
PAM4	Pulse Amplitude Modulation with 4 levels	Четырехуровневая импульсно-амплитудная модуляция
PIN	P-type-Intrinsic-N-type	P-типа с собственной проводимостью n-типа
PMD	Polarization Mode Dispersion	Поляризационная модовая дисперсия
R <sub>M</sub>	Multichannel Receive	Многоканальный прием
RMS	Root Mean Square	Среднеквадратичное значение
R <sub>S</sub>	Single-channel Receive	Одноканальный прием
RS-M	Single-channel (to Multichannel) Receive	Одноканальный прием (на многоканальный)
RZ	Return to Zero	Возврат к нулю
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	Синхронная цифровая иерархия
SECQ	Stressed Eye Closure for PAM4	Закрытие "глаза" на нагруженном сигнале для PAM4
SLM	Single-Longitudinal Mode	(Лазер) с одной продольной модой
S <sub>M</sub>	Multichannel Source	Многоканальный источник
S <sub>M-S</sub>	Single-channel (from Multichannel) Source	Одноканальный источник (из многоканального)
SONET	Synchronous Optical Network	Синхронная оптическая сеть
S <sub>S</sub>	Single-channel Source	Одноканальный источник
TDECQ	Transmitter and Dispersion Eye Closure for PAM4	Закрытие "глаза" вследствие влияния передатчика и дисперсии для PAM4
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Мультиплексирование с разделением по длинам волн

## 5 Классификация оптических интерфейсов

### 5.1 Приложения

В настоящей Рекомендации рассматриваются одноканальные и многоканальные оптические системы, определяются параметры оптического интерфейса и значений для ряда приложений междоменных интерфейсов.

Большинство прикладных кодов в этой Рекомендации применяются к диапазону оптических трибутарных сигналов со скоростями передачи в пределах соответствующего класса оптических трибутарных сигналов (они называются "множественными" прикладными кодами и содержат символ P). Например, код P111-2D2 относится к сигналу со скоростью передачи STM-64 согласно [ITU-T G.707], а также к сигналу со скоростью передачи OTU2 согласно [ITU-T G.709].

Согласно [ITU-T G.872] для соединения административных доменов в двухточечной конфигурации требуется стандартизированное подключение.

Межсетевое взаимодействие различных административных доменов также требует спецификации специальной информации, которая передается через междоменный интерфейс (IrDI) согласно [ITU-T G.707] и [ITU-T G.709] или другим спецификациям. Определение этой специальной информации, которая включает скорость передачи сигнала, формат и назначение байтов, выходит за рамки настоящей Рекомендации.

С точки зрения передачи оптическая линия связи характеризуется аналоговым поведением (например, ухудшение оптической передачи из-за ослабления, дисперсии, нелинейности волокон, усиленного спонтанного излучения и т. д. накапливается способом, подобным накоплению шумов и прочего снижения качества в аналоговых сетях). В цифровых сетях уменьшение такого действия ослабления достигается в точках регенерации 3R, расположенных на тракте передачи согласно техническим рекомендациям, разработанным для достижения требуемой цели по параметрам ошибок в канале. Аналогично в OTN требуется регенерация 3R в некоторых точках для обеспечения целей OTN по ошибкам. В настоящее время процесс 3R обычно основан на использовании электрооптического преобразования. Использование регенерации 2R как решения, альтернативного регенерации 3R для определенных приложений в IrDI, оставлено для дальнейшего изучения. Использование чисто оптической регенерации 2R/3R также оставлено для дальнейшего изучения.

IrDI может быть реализован как одноканальный интерфейс или как многоканальный интерфейс. Многоканальные IrDI требуют дополнительного оборудования для мультиплексирования по длине волны и демultipлексирования, а также возможно оптических усилителей, но используют меньше волокон по сравнению с несколькими одноканальными IrDI, имеющими эквивалентную пропускную способность. На рисунке 5-6 показан одноканальный IrDI. На рисунках 5-3, 5-4 и 5-5 показаны три типа многоканальных IrDI.

В настоящей Рекомендации вводятся параметры физического уровня и значения прикладных кодов, соответствующих как одноканальным, так и многоканальным IrDI с регенераторами 3R по обе стороны интерфейса, как показано на рисунках 5-3, 5-4, 5-5 и 5-6.

В настоящей Рекомендации используется метод спецификации, основанный на использовании "черного ящика". Это означает, что в Рекомендации определяются только оптические интерфейсы IrDI. В ней не ограничиваются и не определяются внутренние элементы или соединения между элементами внутри "черного ящика". Однако в ней имеются функциональные требования к "черному ящику", причем самым важным требованием является включение регенерации 3R.

Спецификации одноканальных междоменных интерфейсов предоставляются по следующим характеристикам: скоростям передачи в канале, соответствующим классам NRZ 2.5G, NRZ 10G, NRZ 25G, NRZ 40G и PAM4 50G для внутростанционной связи, связи на малые и большие расстояния, а также однонаправленной передачи. В будущем, кроме того, ожидается разработка спецификаций для одноканальных IrDI со скоростью передачи/линейного кодирования класса RZ 40G. Информация по таким возможным будущим приложениям приведена в Дополнении VI.

Дополнение I содержит более подробное описание одноканальных клиентских интерфейсов.

Кроме того, приводятся спецификации многоканального междоменного интерфейса. Этот интерфейс включает до 32 каналов с центральными частотами согласно сетке частот [ITU-T G.694.1] со скоростями передачи в канале, соответствующими классам NRZ 2.5G и NRZ 10G, для оптических мультиплексных участков внутростанционной связи и связи на малые (40 километров) расстояния, однонаправленной передачи и двухточечной конфигурации.

В будущем ожидается разработка спецификаций для других многоканальных приложений. Они будут включать до 32 каналов с центральными частотами, соответствующими сетке частот [ITU-T G.694.1] со скоростями передачи в канале, соответствующими классам NRZ 2.5G и NRZ 10G, для оптических мультиплексных участков связи на большие расстояния (80 километров) без линейных усилителей, однонаправленной передачи и двухточечной конфигурации.

## 5.2 Эталонные точки

Набор "универсальных" эталонных точек для оптических сетевых элементов (ONE) в будущей OTN приведен в Дополнении II.

В настоящей Рекомендации соответствующие эталонные точки для многоканального IrDI и одноканального IrDI показаны на рисунках 5-1 и 5-2, соответственно.



**Рисунок 5-1 – Многоканальная эталонная конфигурация IrDI**



**Рисунок 5-2 – Одноканальная эталонная конфигурация IrDI**

Эталонные точки на рисунках 5-1 и 5-2 определены следующим образом;

- MPI-S – (одноканальная) эталонная точка сразу после выходных оптических разъемов трибутарного интерфейса каждого оптического сетевого элемента;
- MPI-R – (одноканальная) эталонная точка в оптическом волокне непосредственно перед входным оптическим разъемом трибутарного интерфейса каждого оптического сетевого элемента;
- MPI-S<sub>M</sub> – (многоканальная) эталонная точка в оптическом волокне сразу после выходного оптического разъема транспортного интерфейса оптического сетевого элемента;
- MPI-R<sub>M</sub> – (многоканальная) эталонная точка в оптическом волокне непосредственно перед входным оптическим разъемом транспортного интерфейса оптического сетевого элемента.

В Дополнении III дано разъяснение по использованию набора универсальных эталонных точек, которые применимы к IrDI и IaDI.

### 5.3 Система условных обозначений

Прикладной код идентифицирует сеть, реализацию и архитектурные характеристики приложения.

Обозначение прикладного кода строится следующим образом:

$$PnWx-ytz,$$

где:

- P при наличии эта буква указывает на "множественный" прикладной код, относящийся к IrDI. Множественные коды применимы к любому оптическому трибутарному сигналу внутри определенного класса;
- n максимальное число каналов, поддерживаемых прикладным кодом;
- W буква, означающая длину участка или соответствующий коэффициент ослабления, например:
  - R означает очень малые расстояния (коэффициент ослабления на участке до 4 дБ);
  - I означает внутростанционную связь (коэффициент ослабления на участке до 7 дБ);
  - S означает малое расстояние (коэффициент ослабления на участке до 11 дБ);
  - L означает большое расстояние (коэффициент ослабления на участке до 22 дБ);
  - V означает очень большое расстояние (коэффициент ослабления на участке до 33 дБ);
  - U означает сверхбольшое расстояние (коэффициент ослабления на участке до 44 дБ);
- x максимальное число участков, допустимое прикладным кодом;

- у означает наивысший класс поддерживаемого оптического трибутарного сигнала:
  - 1 означает класс NRZ 2.5G;
  - 2 означает класс NRZ 10G;
  - 9 означает класс NRZ 25G;
  - 3 означает класс NRZ 40G;
  - 7 означает класс RZ 40G;
  - 4 означает класс PAM4 50G;
  - в Дополнении V объясняется порядок распределения этих чисел;
- t буква, показывающая предположения об уровне мощности для прикладного кода, например:
  - A означает уровни мощности, подходящие для бустерного усилителя в исходном оптическом сетевом элементе (ONE) и уровни мощности, пригодные для предусилителя в терминирующем ONE;
  - B означает уровни мощности, подходящие при использовании только бустерного усилителя;
  - C означает уровни мощности, подходящие при использовании только предусилителя;
  - D означает уровни мощности, подходящие для работы без использования усилителей;
- z обозначает тип источника и волокна следующим образом:
  - 1 означает номинально 1 310-нм источники и волокно МСЭ-Т G.652;
  - 2 означает номинально 1 550-нм источники и волокно МСЭ-Т G.652;
  - 3 означает номинально 1 550-нм источники и волокно МСЭ-Т G.653;
  - 5 означает номинально 1 550-нм источники и волокно МСЭ-Т G.655.

В этой версии настоящей Рекомендации определяются физические значения параметра для IrDI только с одним участком (то есть для  $x = 1$ ).

Если введена двунаправленная система, то это будет обозначаться добавлением символа B перед прикладным кодом. Для приложения OTN он имеет следующий вид:

BnWx-ytz.

В некоторых прикладных кодах в конце кода добавляется суффикс. Шесть суффиксов определяются следующим образом:

- F указывает, что этому приложению для передачи требуются байты упреждающей коррекции ошибок (FEC) согласно [ITU-T G.709] или [ITU-T G.709.1] в соответствии с тем, что указано для кода передаваемого приложения;
- D указывает, что это приложение включает адаптивную компенсацию дисперсии;
- E указывает, что это приложение требует использования приемника с возможностью компенсации дисперсии;  
ПРИМЕЧАНИЕ. – Это может быть электронная компенсация дисперсии.
- g указывает на уменьшенное целевое расстояние. Эти прикладные коды ограничены дисперсией. Те же самые целевые расстояния могут также быть обеспечены посредством других технических решений, которые оставлены для дальнейшего изучения (например, подход с параллельными интерфейсами);
- a указывает, что этот код имеет уровни мощности передатчика, соответствующие приемникам на лавинных фотодиодах (APD);
- b указывает, что этот код имеет уровни мощности передатчика, соответствующие приемникам P-типа с собственной проводимостью n-типа (PIN).

Возможно, этот уровень обозначений придется расширить, когда будут идентифицированы другие альтернативные архитектуры и реализации. В таблице 5-1 приведены примеры прикладных кодов.

**Таблица 5-1 – Примеры прикладных кодов**

Пример прикладного кода	Множественный код	Максимальное число каналов	Максимальный коэффициент ослабления на участке	Максимальное число участков	Наивысший класс оптического трибутарного сигнала	Уровни мощности, подходящие для типа ONE	Тип волокна
P111-1D1	Да	1	6 дБ	1	NRZ 2.5G	Без усилителей	МСЭ-Т G.652
P16S1-2C5	Да	16	11 дБ	1	NRZ 10G	Только предусилитель	МСЭ-Т G.655
16S1-2B5	Нет	16	11 дБ	1	NRZ 10G (OTU2)	Только бустер	МСЭ-Т G.655

#### 5.4 Многоканальные междоменные интерфейсы

Многоканальные интерфейсы IrDI в настоящей Рекомендации предназначены для поперечной совместимости (при наличии нескольких производителей). Эти интерфейсы могут работать по волокну МСЭ-Т G.652, МСЭ-Т G.653 или МСЭ-Т G.655 и одновременно передавать до 32 оптических трибутарных сигналов (OTSi), используя оптические трибутарные сигналы классов NRZ 2.5G, NRZ 10G или NRZ 25G в зависимости от данного прикладного кода. Одни и те же оптические параметры применимы ко всем прикладным кодам, перечисленным в каждом отдельном столбце таблиц с 8-1 по 8-5.

Дополнительные требования, связанные с поперечной совместимостью, приведены в пункте 6.

В таблицах с 5-2 по 5-4 сведены многоканальные прикладные коды IrDI, которые структурированы согласно системе условных обозначений пункта 5.3.

**Таблица 5-2 – Классификация многоканальных междоменных интерфейсов для приложений внутристанционной связи**

Приложение	Внутристанционная связь (I и R)				
	1310 (решетка МСЭ-Т G.694.1) (Примечание 2)		1550 (решетка МСЭ-Т G.694.1) (Примечание 2)		
Исходная номинальная длина волны (нм)					
Тип волокна	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.653	МСЭ-Т G.655
Целевое расстояние (км) (Примечание 1)	2	10	20	2	20
Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 2.5G	–	–	–	–	–
Где приведены параметры:	–	–	–	–	–
Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 10G	–	P4I1-2D1 4I1-2D1F	P16I1-2D2 P32I1-2D2	P16I1-2D3	P16I1-2D5 P32I1-2D5
Где приведены параметры:	–	[ITU-T G.695]	Таблица 8-2	Таблица 8-2	Таблица 8-2
Код:	–	C4S1-2D1	–	–	–
Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 25G	–	4I1-9D1F	–	–	–
Где приведены параметры:	–	Таблица 8-5	–	–	–
Оптический трибутарный сигнал класса PAM4 50G	8R1-4D1F	4I1-4D1F 8I1-4D1F	–	–	–
Где приведены параметры:	Таблица 8-6	Таблица 8-6	–	–	–
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Эти целевые расстояния предназначены для классификации, а не для спецификации.					
ПРИМЕЧАНИЕ 2. – См. таблицы 8-2, 8-5 или 8-6.					

**Таблица 5-3 – Классификация многоканальных междоменных интерфейсов для связи на малые расстояния**

Приложение	Связь на малые расстояния (S)		
Исходная номинальная длина волны (нм)	1550 (сетка МСЭ-Т G.694.1) (Примечание 2)		
Тип волокна	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.653	МСЭ-Т G.655
Целевое расстояние (км) (Примечание 1)	40	40	40
Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 2.5G	P16S1-1D2 P32S1-1D2	–	P16S1-1D5 P32S1-1D5
Где приведены параметры:	Таблица 8-1	–	Таблица 8-1
Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 10G	P16S1-2B2 P16S1-2C2 P32S1-2B2 P32S1-2C2	P16S1-2C3	P16S1-2B5 P16S1-2C5 P32S1-2B5 P32S1-2C5
Где приведены параметры:	Таблица 8-3	Таблица 8-3	Таблица 8-3
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Эти целевые расстояния предназначены для классификации, а не для спецификации.			
ПРИМЕЧАНИЕ 2. – См. таблицы 8-1 или 8-3.			

**Таблица 5-4 – Классификация многоканальных междоменных интерфейсов для связи на большие расстояния**

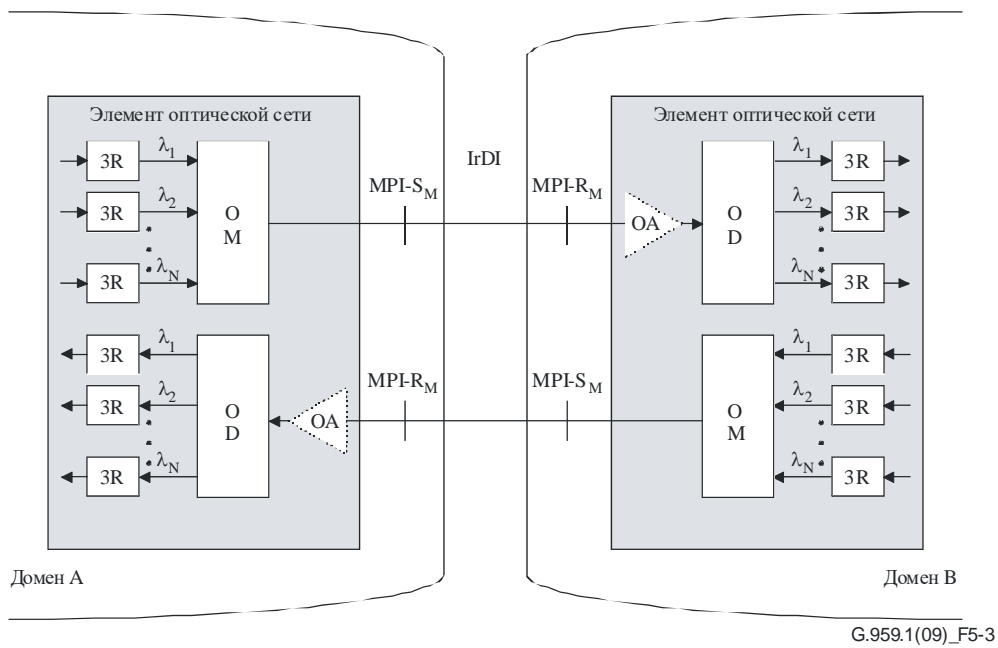
Приложение	Связь на большие расстояния (L)		
Исходная номинальная длина волны (нм)	1310 (сетка МСЭ-Т G.694.1) (Примечание 2)	1550 (сетка МСЭ-Т G.694.1) (Примечание 2)	
Тип волокна	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.655
Целевое расстояние (км) (Примечание 1)	40	80	80
Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 2.5G	–	P16L1-1A2	P16L1-1A5
Где приведены параметры:	–	Таблица 8-4	Таблица 8-4
Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 10G	–	P16L1-2A2	P16L1-2A5
Где приведены параметры:	–	Таблица 8-4	Таблица 8-4
Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 25G	4L1-9C1F 4L1-9D1F	–	–
Где приведены параметры:	Таблица 8-5	–	–
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Эти целевые расстояния предназначены для классификации, а не для спецификации.			
ПРИМЕЧАНИЕ 2. – См. таблицы 8-4 или 8-5.			

Приложения с уровнями мощности, соответствующими только предусилителям, содержат символ С в прикладном коде; они показаны на рисунке 5-3.

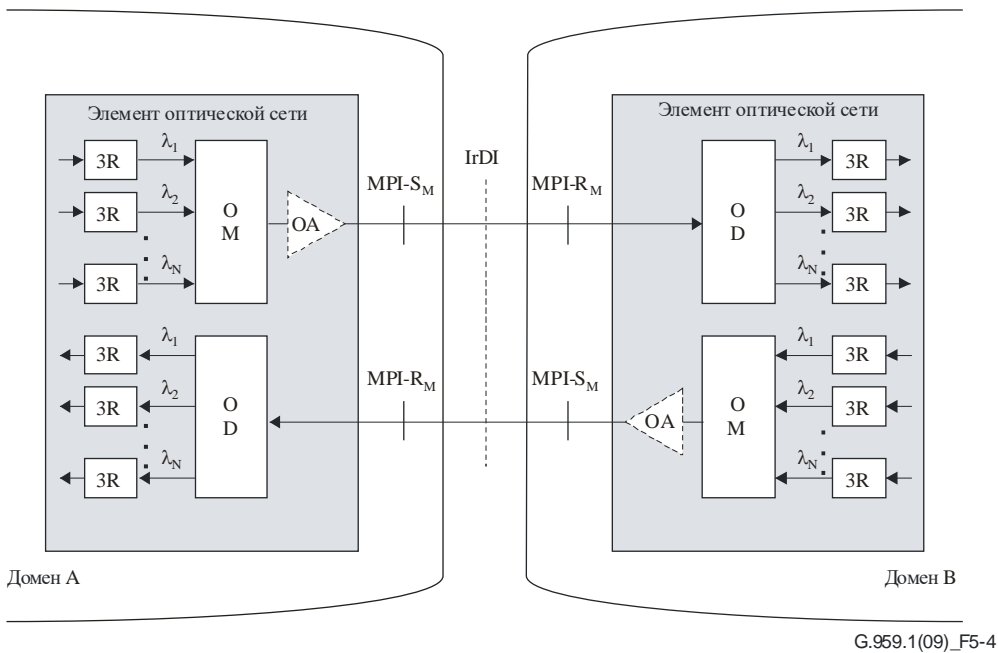
Приложения с уровнями мощности, соответствующими только бустерным усилителям, содержат символ В в прикладном коде; они показаны на рисунке 5-4.

Приложения с уровнями мощности, подходящими для работы без усилителей, содержат символ D в прикладном коде; они показаны на рисунке 5-5.

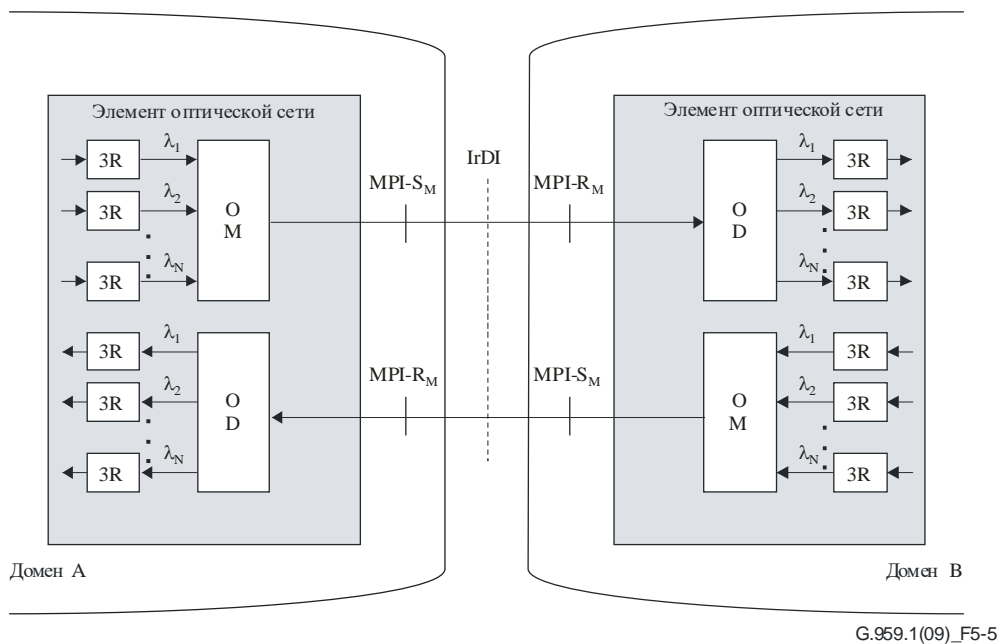




**Рисунок 5-3 – Многоканальные приложения IrDI с использованием предусилителей**



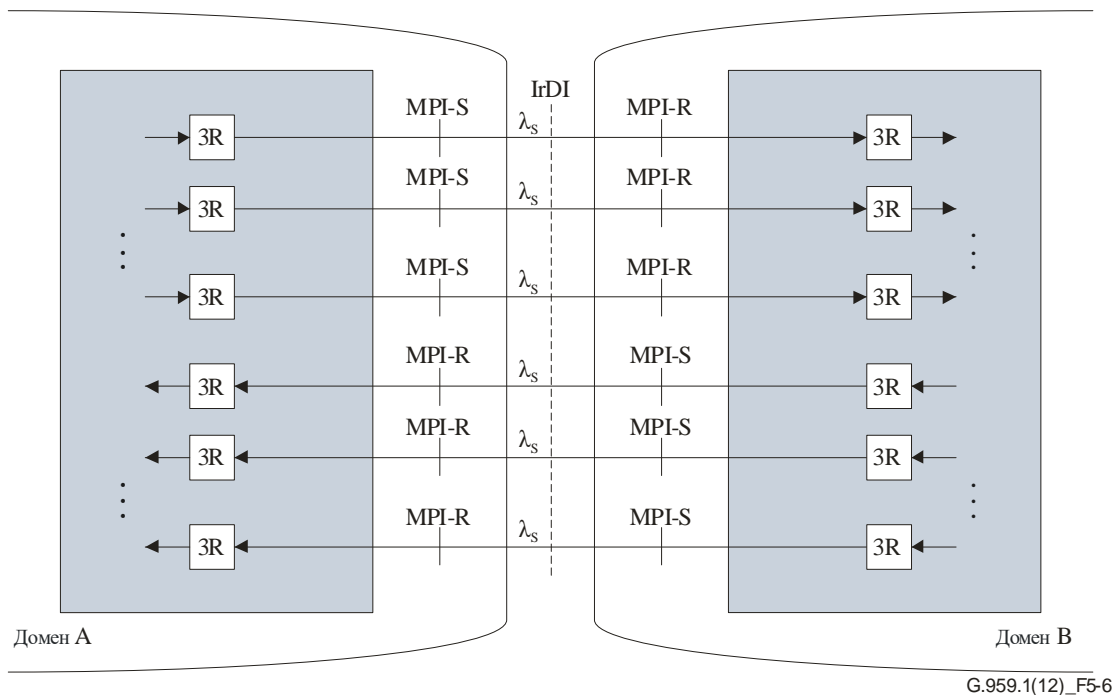
**Рисунок 5-4 – Многоканальные приложения IrDI с использованием бустерных усилителей**



**Рисунок 5-5 – Многоканальные приложения IrDI без усилителей**

### 5.5 Одноканальные междоменные интерфейсы

Одноканальные междоменные интерфейсы показаны на рисунке 5-6.



**Рисунок 5-6 – Одноканальные приложения IrDI**

Эти интерфейсы предназначены для обеспечения поперечной совместимости (при наличии нескольких производителей), они могут работать с волокнами МСЭ-Т G.652, МСЭ-Т G.653 или МСЭ-Т G.655, используя оптические трибутарные сигналы класса NRZ 2.5G, NRZ 10G или NRZ 40G в зависимости от данного прикладного кода.

Эти приложения не охватывают все возможные комбинации категории расстояний, класса оптического трибутарного сигнала, номинальной исходной длины волны и типа волокна. Включенные приложения предназначены для удовлетворения широкого диапазона сетевых требований с помощью дешевых

реализаций. В таблицы с 5-5 по 5-9 сведены одноканальные коды приложения IrDI, которые структурированы согласно системе условных обозначений, приведенной в пункте 5.3.

Значения параметра для приложений внутристанционной связи и связи на малые, большие, очень большие и сверхбольшие расстояния приведены в пункте 8.2. Для приложений с классом оптических трибутарных сигналов класса NRZ 2.5G в большинстве случаев значения, приведенные в пункте 8.2, близки к значениям для приложений, приведенным в [ITU-T G.957], или равны им, за исключением того, что значения по [ITU-T G.957] изменены, если это необходимо для получения коэффициента битовых ошибок (BER) не выше  $10^{-12}$ . Для приложений с оптическими трибутарными сигналами класса NRZ 10G приведенные в пункте 8.2 значения в большинстве случаев совпадают со значениями для приложений, ранее определенными в [ITU-T G.691].

**Таблица 5-5 – Классификация одноканальных междоменных интерфейсов для приложений внутристанционной связи**

Приложение	Внутристанционная связь (I)					
	1310			1550		
Номинальная длина волны источника (нм)	1310			1550		
Тип волокна	МСЭ-Т G.652		МСЭ-Т G.652		МСЭ-Т G.653	МСЭ-Т G.655
Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 2.5G	–	P1I1-1D1	–	–	–	–
Целевое расстояние для класса NRZ 2.5G (км) (Примечание 1)	–	2	–	–	–	–
Где приведены параметры	–	Таблица 8-7	–	–	–	–
Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 10G	P1I1-2D1r	P1I1-2D1	P1I1-2D2r	P1I1-2D2	P1I1-2D3	P1I1-2D5
Целевое расстояние для класса NRZ 10G (км) (Примечание 1)	0,6	2	2	25	25	25
Где приведены параметры	[МСЭ-Т G.693] (Примечание 2)	[МСЭ-Т G.693] (Примечание 2)	[МСЭ-Т G.693] (Примечание 2)	Таблица 8-10	Таблица 8-10	Таблица 8-10
Код	VSR600-2R1	VSR2000-2R1	VSR2000-2L2			
Класс оптических трибутарных сигналов NRZ 40G	–	P1I1-3D1 1I1-3D1F			P1I1-3D3	P1I1-3D5
Целевое расстояние для класса NRZ 40G (км) (Примечание 1)	–	10			10	5 (Примечание 3)
Где приведены параметры:	–	Таблица 8-16			Таблица 8-16	Таблица 8-16
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Эти целевые расстояния предназначены для классификации, а не для спецификации.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Эти приложения, которые были определены в одной из предшествующих версий настоящей Рекомендации, приведены теперь в [ITU-T G.693].</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Для волокна МСЭ-Т G.655.D. В случае использования волокна МСЭ-Т G.655.E целевое расстояние сокращается.</p>						

**Таблица 5-6 – Классификация одноканальных междоменных интерфейсов  
для связи на малые расстояния**

Приложение	Малые расстояния (S)			
	1310	1550		
Номинальная длина волны источника (нм)	1310	1550		
Тип волокна	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.653	МСЭ-Т G.655
Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 2.5G	P1S1-1D1	P1S1-1D2	–	–
Целевое расстояние для класса NRZ 2.5G (км) (Примечание)	20	40	–	–
Где приведены параметры:	Таблица 8-7	Таблица 8-7	–	–
Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 10G	P1S1-2D1	P1S1-2D2a,b 1S1-2D2bF	P1S1-2D3a,b 1S1-2D3bF	P1S1-2D5a,b 1S1-2D5bF
Целевое расстояние для класса NRZ 10G (км) (Примечание)	20	40	40	40
Где приведены параметры	Таблица 8-11	Таблица 8-11	Таблица 8-12	Таблица 8-12
Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 40G	P1S1-3D1 1S1-3D1F	P1S1-3C2	P1S1-3C3	P1S1-3C5
Целевое расстояние для класса NRZ 40G (км) (Примечание)	20	40	40	40
Где приведены параметры	Таблица 8-17	Таблица 8-18	Таблица 8-18	Таблица 8-18
ПРИМЕЧАНИЕ. – Эти целевые расстояния приведены для классификации, а не для спецификации.				

**Таблица 5-7 – Классификация одноканальных междоменных интерфейсов  
для приложений связи на большие расстояния**

Приложение	Большие расстояния (L)			
	1310	1550		
Номинальная длина волны источника (нм)	1310	1550		
Тип волокна	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.653	МСЭ-Т G.655
Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 2.5G	P1L1-1D1	P1L1-1D2 1L1-1D2F	–	–
Целевое расстояние для класса NRZ 2.5G (км) (Примечание)	40	80	–	–
Где приведены параметры	Таблица 8-8	Таблица 8-8	–	–
Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 10G	P1L1-2D1	31Д1-2В2 1Д1-2В2А 31Д1-2В2У 1Д1-2В2АУ		
Целевое расстояние для класса NRZ 10G (км) (Примечание)	40	80		
Где приведены параметры	Таблица 8-13	Таблица 8-13 Таблица VII.1		
Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 40G	P1L1-3C1 1L1-3C1F	P1L1-3A2 1L1-3C2F 1L1-3C2FD	P1L1-3A3 1L1-3C3F 1L1-3C3FD	P1L1-3A5 1L1-3C5F 1L1-3C5FD
Целевое расстояние для класса NRZ 40G (км) (Примечание)	40	80	80	80
Где приведены параметры	Таблица 8-17	Таблица 8-18	Таблица 8-18	Таблица 8-18
Оптический трибутарный сигнал класса RZ 40G	–	P1L1-7A2	P1L1-7A3	P1L1-7A5
Целевое расстояние для класса RZ 40G (км) (Примечание)	–	80	80	80
Где приведены параметры	–	Таблица VI.1	Таблица VI.1	Таблица VI.1
ПРИМЕЧАНИЕ. – Эти целевые расстояния приведены для классификации, а не для спецификации.				

**Таблица 5-8 – Классификация одноканальных междоменных интерфейсов для приложений связи на очень большие расстояния**

Приложение	Очень большие расстояния (V)		
Номинальная длина волны источника (нм)	1550		
Тип волокна	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.653	МСЭ-Т G.655
Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 10G	31M1-2C2 1M1-2C2A 31M1-2И2У 1M1-2И2АУ	–	P1V1-2B5 1V1-2B5F
Целевое расстояние для класса NRZ 10G (км) (Примечание)	120	–	120
Где приведены параметры	Таблица 8-14 Таблица VII.1	–	Таблица 8-14
ПРИМЕЧАНИЕ. – Эти целевые расстояния приведены для классификации, а не для спецификации.			

**Таблица 5-9 – Классификация одноканальных междоменных интерфейсов для приложений связи на сверхбольшие расстояния**

Приложение	Сверхбольшие расстояния (U)		
Номинальная длина волны источника (нм)	1550		
Тип волокна	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.653	МСЭ-Т G.655
Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 2.5G	P1U1-1A2 1U1-1B2F	P1U1-1A3 1U1-1B3F	P1U1-1A5 1U1-1B5F
Целевое расстояние для класса NRZ 2.5G (км) (Примечание)	160	160	160
Где приведены параметры	Таблица 8-9	Таблица 8-9	Таблица 8-9
ПРИМЕЧАНИЕ. – Эти целевые расстояния приведены для классификации, а не для спецификации.			

## 5.6 Реализации сигнала управления

Несмотря на то что для определенных IrDI не требуется никакой реализации накладных расходов, предусматривается потребность в сигналах управления OTSi, а также участком оптического мультиплексирования (OMS) и участком оптической передачи (OTS) для будущей реализации OTN. Соображения по физической реализации таких сигналов представлены в Дополнении IV.

## 6 Поперечная совместимость

Цель для IrDI в данной Рекомендации заключается в определении параметров для обеспечения поперечной совместимости (при наличии нескольких производителей) линейных систем для приложений для малых расстояний и двухточечных приложений для больших расстояний.

Междоменные интерфейсы предназначены для соединения двух различных административных доменов. Такие домены могут иметь оборудование, изготовленное двумя различными производителями. Кроме того, два административных домена могут принадлежать двум различным сетевым операторам.

- Поперечная совместимость (при наличии нескольких производителей) допускается для всех IrDI, имеющих одинаковый прикладной код nWx-ytz. Например, интерфейс P16S1-2B2 одного производителя, реализованный в домене А, может быть соединен с интерфейсом P16S1-2B2 другого производителя, установленным в домене В. Следует проявлять осторожность в отношении совпадения скорости передачи и формата оптического трибутарного сигнала.
- Соединение интерфейсов с различными прикладными кодами является проблемой совместной разработки. Следует проявлять особую осторожность в отношении согласуемых критических параметров, например, выходной мощности MPI-S<sub>М</sub>, уровней мощности MPI-R<sub>М</sub>, максимальной дисперсии и минимального или максимального коэффициента ослабления. Например, интерфейс P16S1-2B2 (уровни мощности бустерного усилителя) в домене А не должен соединяться с интерфейсом P16S1-2C2 (уровни мощности предусилителя) в домене В

без дополнительных мер, например, введения аттенюатора. В этом примере выходная мощность интерфейса с бустерным усилителем может составлять +15 дБм (см. таблицу 8-3), а коэффициент ослабления может составлять 0 дБ. Однако максимальная входная мощность приемника интерфейса с предусилителем не должна превышать +5 дБм (см. таблицу 8-3), а перегрузка приемника не должна превышать 10 дБ. Кроме того, следует проявлять осторожность в отношении скорости передачи и формата оптического трибутарного сигнала.

## 7 Определение параметров

### 7.1 Диапазон рабочих длин волн системы

Диапазоны рабочих длин волн для многоканальных приложений в настоящей Рекомендации не обязательно ограничены диапазонами, приведенными в [ITU-T G.692]. В частности, диапазоны рабочих длин волн могут выходить за диапазоны, приведенные в [ITU-T G.692] (например, 1525–1625 нм).

Кроме того, не исключается возможность использования диапазона усиления 1285–1330 нм в будущем.

Диапазоны рабочих длин волн для одноканальных приложений в настоящей Рекомендации не обязательно ограничены диапазонами, приведенными в [ITU-T G.957] или [ITU-T G.691].

### 7.2 Параметры

Параметры, приведенные в таблице 7-1, определены в интерфейсных точках. Определения параметров даны в пунктах 7.2.1–7.2.4.

**Таблица 7-1 – Параметры физического уровня для одноканальных и многоканальных IrDI**

Параметр	Единицы измерений	Для таблиц с 8-1 по 8-5, определенных в пункте:	Для таблицы 8-6, определенной в пункте:	Для таблиц с 8-7 по 8-17, определенных в пункте:	Для таблицы 8-18, определенной в пункте:	Для таблицы VI.1, определенной в пункте:
Общая информация						
Максимальное число каналов	–	7.2.1.1	7.2.1.1	7.2.1.1	7.2.1.1	7.2.1.1
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	7.2.1.2	7.2.1.2	7.2.1.2	7.2.1.2	7.2.1.2
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	7.2.1.3	7.2.1.3	7.2.1.3	7.2.1.3	7.2.1.3
Тип волокна	–	7.2.1.4	7.2.1.4	7.2.1.4	7.2.1.4	7.2.1.4
<b>Интерфейс в точке MPI-S<sub>M</sub> или MPI-S</b>						
Максимальная средняя выходная мощность (канала)	дБм	7.2.2.1	7.2.2.1	7.2.2.1	7.2.2.1	7.2.2.1
Минимальная средняя выходная мощность (канала)	дБм	7.2.2.1	7.2.2.1	7.2.2.1	7.2.2.1	7.2.2.1
Максимальная средняя суммарная мощность	дБм	7.2.2.2	7.2.2.2	NA	NA	NA
Центральная частота	ТГц	7.2.2.3	7.2.2.3	7.2.2.3	7.2.2.3	7.2.2.3
Межканальный интервал	ТГц	7.2.2.4	7.2.2.4	NA	NA	NA
Максимальная спектральная амплитуда	ТГц	7.2.2.5	7.2.2.5	7.2.2.5	7.2.2.5	7.2.2.5
Диапазон рабочих длин волн	нм	NA	NA	7.2.2.6	NA	7.2.2.6
Тип источника		NA	NA	7.2.2.7	7.2.2.7	7.2.2.7
Максимальный коэффициент заполнения	%	NA	NA	NA	NA	7.2.2.8

**Таблица 7-1 – Параметры физического уровня для одноканальных и многоканальных IrDI**

Параметр	Единицы измерений	Для таблиц с 8-1 по 8-5, определенных в разделе:	Для таблицы 8-6, определенной в разделе:	Для таблиц с 8-7 по 8-17, определенных в разделе:	Для таблицы 8-18, определенной в разделе:	Для таблицы VI.1, определенной в разделе:
Минимальный коэффициент заполнения	%	NA	NA	NA	NA	7.2.2.8
Максимальная ширина RMS ( $\sigma$ )	нм	NA	NA	7.2.2.9	NA	NA
Максимальная ширина на уровне -20 дБ	нм	NA	NA	7.2.2.10	NA	NA
Максимальная спектральная плотность мощности	мВт/10 МГц	NA	NA	7.2.2.11	7.2.2.11	7.2.2.11
Минимальный коэффициент подавления боковых мод	дБ	NA	NA	7.2.2.12	7.2.2.12	7.2.2.12
Минимальный коэффициент экстинкции (в канале)	дБ	7.2.2.13	7.2.2.13	7.2.2.13	7.2.2.13	7.2.2.13
Маска "глаза"	–	7.2.2.14	NA	7.2.2.14	7.2.2.14	7.2.2.15
Максимальное выходное значение $OMA_{outer}$ в канале	дБм	NA	7.2.2.16	NA	NA	NA
Минимальное выходное значение $OMA_{outer}$ в канале	дБм	NA	7.2.2.16	NA	NA	NA
Максимальное значение TDECQ	дБ	NA	7.2.2.17	NA	NA	NA
Минимальное значение ( $OMA_{outer}$ минус TDECQ) в канале	дБм	NA	7.2.2.18	NA	NA	NA
<b>Оптический тракт (один участок) от точки MPI-S<sub>M</sub> до точки MPI-R<sub>M</sub> или от точки MPI-S до точки MPI-R</b>						
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	7.2.3.1	7.2.3.1	7.2.3.1	7.2.3.1	7.2.3.1
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	7.2.3.2	7.2.3.2	7.2.3.2	7.2.3.2	7.2.3.2
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	7.2.3.3	7.2.3.3	7.2.3.3	7.2.3.3	7.2.3.3
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	7.2.3.3	7.2.3.3	7.2.3.3	7.2.3.3	7.2.3.3
Максимальное отклонение хроматической дисперсии	пс/нм	NA	NA	NA	7.2.3.4	7.2.3.4
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S <sub>M</sub> или MPI-S	дБ	7.2.3.5	7.2.3.5	7.2.3.5	7.2.3.5	7.2.3.5
Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками MPI-S <sub>M</sub> и MPI-R <sub>M</sub> или MPI-S и MPI-R	дБ	7.2.3.6	7.2.3.6	7.2.3.6	7.2.3.6	7.2.3.6
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	7.2.3.7	7.2.3.7	7.2.3.7	7.2.3.7	7.2.3.7
<b>Интерфейс в точке MPI-R<sub>M</sub> или MPI-R</b>						
Максимальная средняя введенная (в канал) мощность	дБм	7.2.4.1	7.2.4.1	7.2.4.1	7.2.4.1	7.2.4.1
Минимальная средняя введенная (в канал) мощность	дБм	7.2.4.2	7.2.4.2	NA	NA	NA
Максимальная средняя суммарная введенная мощность	дБм	7.2.4.3	7.2.4.3	NA	NA	NA

**Таблица 7-1 – Параметры физического уровня для одноканальных и многоканальных IrDI**

Параметр	Единицы измерений	Для таблиц с 8-1 по 8-5, определенных в разделе:	Для таблицы 8-6, определенной в разделе:	Для таблиц с 8-7 по 8-17, определенных в разделе:	Для таблицы 8-18, определенной в разделе:	Для таблицы VI.1, определенной в разделе:
Максимальная разность мощностей в канале	дБ	7.2.4.4	7.2.4.4	NA	NA	NA
Максимальные потери на оптическом тракте	дБ	7.2.4.5	NA	7.2.4.5	7.2.4.5	7.2.4.5
Минимальная эквивалентная чувствительность	дБм	7.2.4.6	NA	NA	NA	NA
Максимальный коэффициент отражения оптического сетевого элемента	дБ	7.2.4.7	7.2.4.7	7.2.4.7	7.2.4.7	7.2.4.7
Минимальная чувствительность	дБм	NA	NA	7.2.4.8	7.2.4.8	7.2.4.8
Максимальное входное значение OMA <sub>outer</sub> в канале	дБм	NA	7.2.4.9	NA	NA	NA
Минимальное входное значение OMA <sub>outer</sub> в канале	дБм	NA	7.2.4.9	NA	NA	NA
Максимальный допуск на потери из-за многолучевой интерференции	дБ	NA	7.2.4.10	NA	NA	NA
Минимальная эквивалентная чувствительность (OMA <sub>outer</sub> минус SECQ)	дБм	NA	7.2.4.11	NA	NA	NA
NA – неприменимо; RMS – среднеквадратичное значение.						

## 7.2.1 Общая информация

### 7.2.1.1 Максимальное число каналов

Максимальное число OTS<sub>i</sub>, которые могут одновременно присутствовать в интерфейсе.

### 7.2.1.2 Скорость передачи данных/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов

Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 2.5G применяется к непрерывным цифровым сигналам с линейным кодированием без возврата к нулю (NRZ) со скоростью передачи от номинально 622 Мбит/с до номинально 2,67 Гбит/с.

Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 10G применяется к непрерывным цифровым сигналам с линейным NRZ-кодированием со скоростью передачи от номинально 2,4 Гбит/с до номинально 10,71 Гбит/с.

Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 25G применяется к непрерывным цифровым сигналам с линейным NRZ-кодированием со скоростью передачи от номинально 9,9 Гбит/с до номинально 28 Гбит/с.

Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 40G применяется к непрерывным цифровым сигналам с линейным NRZ-кодированием со скоростью передачи от номинально 9,9 Гбит/с до номинально 43,02 Гбит/с.

Оптический трибутарный сигнал класса RZ 40G применяется к непрерывным цифровым сигналам с линейным кодированием с возвратом к нулю со скоростью передачи от номинально 9,9 Гбит/с до номинально 43,02 Гбит/с.

Оптический трибутарный сигнал класса PAM4 50G применяется к непрерывным цифровым сигналам с линейным кодированием PAM4 со скоростью передачи от номинально 53,1 Гбит/с до номинально 55,91 Гбит/с. Преобразование входного битового потока в оптические символы PAM4 и обратно в выходной поток битов выполняется согласно пунктам 120.5.7, 122.5.2 и 122.5.3 [IEEE 802.3bs].



Для оптических трибутарных сигналов OTN класс NRZ 2.5G включает скорость передачи OTU1, класс NRZ 10G включает скорость передачи OTU2, а классы NRZ 40G и RZ 40G включают скорость передачи OTU3, определенную в Рекомендации [ITU-T G.709].

Для приложения, имеющего "P" в начале прикладного кода (что означает множественное число), значения параметра являются одними и теми же для любой скорости передачи в пределах применимого класса оптического трибутарного сигнала. Поэтому, если оптическая система использует один из этих множественных кодов, то необходимо определить как прикладной код, так и точную скорость передачи системы. Иными словами, для оборудования, соответствующего одному из множественных кодов, не требуется работать во всем диапазоне скоростей передачи, установленных для его класса оптического трибутарного сигнала.

### **7.2.1.3 Максимальный коэффициент битовых ошибок**

Параметры определяются для проектирования BER оптического участка, который должен быть не хуже значения, определенного прикладным кодом. Это значение относится к каждому OTSi в критическом случае ослабления на оптическом тракте и условий дисперсии в каждом приложении. В случае прикладных кодов, требующих передачу байтов FEC (то есть кодов с суффиксом F), BER должен выполняться только после коррекции ошибок (если она используется). Для всех других прикладных кодов BER должен выполняться без использования FEC.

Подробнее о BER в связи с FEC см. в [b-ITU-T G-Sup.39].

### **7.2.1.4 Тип волокна**

Типы одномодовых оптических волокон выбраны из типов волокон, определенных в [ITU-T G.652], [ITU-T G.653] и [ITU-T G.655].

## **7.2.2 Интерфейс в точке MPI-S<sub>M</sub> или MPI-S**

### **7.2.2.1 Максимальная и минимальная средняя выходная мощность (в канале)**

Средняя введенная в канал мощность любого OTSi в эталонной точке MPI-S<sub>M</sub> или MPI-S – это средняя мощность псевдослучайной последовательности данных, введенных в волокно из ONE. Она определяется как диапазон (с помощью максимального и минимального значений), чтобы допустить некоторую оптимизацию стоимости и предусмотреть допуски для работы в стандартных условиях, деградации разьема, погрешностей измерения и эффектов старения.

### **7.2.2.2 Максимальная средняя полная выходная мощность**

Максимальное значение средней введенной оптической мощности в точке MPI-S<sub>M</sub>.

### **7.2.2.3 Центральная частота**

Номинальная частота канала, на которой цифровая закодированная информация отдельных OTSi модулируется с помощью линейных кодов NRZ, RZ или PAM4.

Центральные частоты основаны на сетке частот [ITU-T G.694.1]. Допустимые центральные частоты для многоканального IgDI определены в таблицах с 8-1 по 8-6.

Обратите внимание, что значение постоянной  $c$  (скорости света в вакууме), которое должно использоваться для этого пересчета частоты и длины волны, равно  $2,99792458 \times 10^8$  м/с.

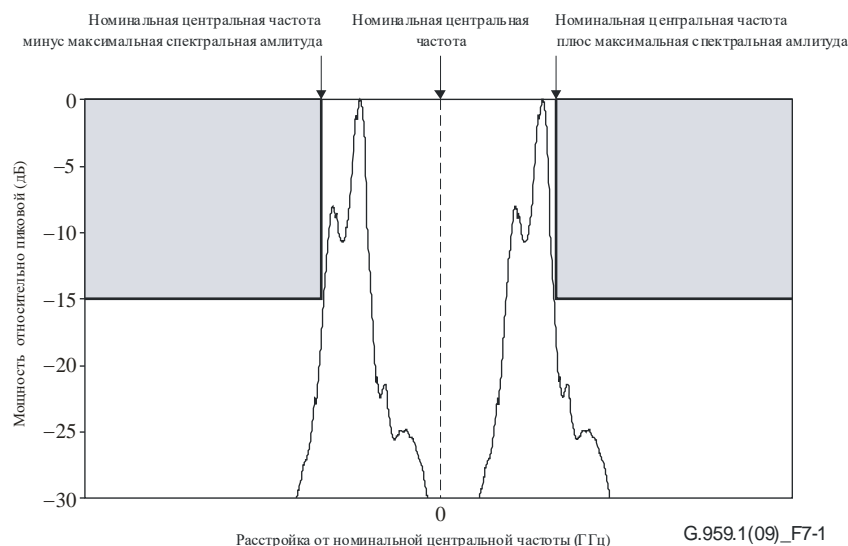
### **7.2.2.4 Межканальный интервал**

Межканальный интервал определяется как номинальная разность частот между двумя соседними каналами. Все возможные допуски для фактических частот рассматриваются в пункте 7.2.2.5.

### **7.2.2.5 Максимальная спектральная амплитуда**

Измеренная в точке MPI-S<sub>M</sub> максимально допустимая разность между номинальной центральной частотой канала и максимально удаленными от нее частотами в спектре передатчика с уровнем мощности –15 дБ относительно пиковой. Это показано на рисунке 7-1.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Измерения на частотах с уровнем –15 дБ в спектре передатчика следует производить с номинальной шириной полосы частот по разрешению 0,01 нм.



**Рисунок 7-1 – Иллюстрация максимальной спектральной амплитуды**

### 7.2.2.6 Диапазон рабочих волн

Диапазон рабочих длин волн системы зависит от исходных характеристик, характеристик передачи волокна (коэффициента ослабления, хроматической дисперсии) и полосы пропускания оптического усилителя (если он используется).

### 7.2.2.7 Тип источника

Используемые передающие устройства зависят от характеристик ослабления и дисперсии, а также иерархического уровня каждого прикладного кода. В этом качестве могут применяться лазеры с несколькими продольными модами (MLM) и лазеры с одной продольной модой (SLM). Для каждого из этих приложений настоящая Рекомендация показывает номинальный тип источника. Предполагается, что индикация номинального типа источника в настоящей Рекомендации не является требованием и что устройства SLM могут быть заменены для любого приложения, показывающего MLM в качестве номинального типа источника без какой-либо деградации работы системы.

### 7.2.2.8 Максимальный и минимальный коэффициент заполнения

Оставлены для дальнейшего изучения.

### 7.2.2.9 Максимальная RMS ширина

В максимальной среднеквадратичной (RMS) ширине или стандартном отклонении  $\sigma$  (в нанометрах) спектрального распределения лазера MLM учитываются все лазерные моды, частоты которых ниже пиковой моды и отличаются от нее не больше, чем на 20 дБ. Эта спецификация применяется только к системам с MLM лазером с длиной волны 1310 нм.

### 7.2.2.10 Максимальная ширина на уровне -20 дБ

Максимальная ширина спектра на уровне -20 дБ SLM лазера (в нанометрах) определяется максимальной полной шириной центрального пика длины волны, измеряемой на уровне -20 дБ от максимальной амплитуды центральной длины волны при стандартных условиях работы.

### 7.2.2.11 Максимальная спектральная плотность мощности

Максимальная (оптическая) спектральная плотность мощности определяется как максимальный усредненный во времени уровень мощности в интервале 10 МГц в любой части модулированного спектра сигнала. Поэтому измерение должно производиться с разрешающей способностью не хуже 10 МГц полной ширины по уровню половины максимума, или FWHM (то есть оптическая пропускная способность фильтра должна быть меньше этого значения).

Этот параметр используется для исключения попадания в режим бриллюэновского рассеяния для мощных источников с потенциально узкой собственной шириной линии, например, систем типа лазер-усилитель-модулятор. Однако эта спецификация применима к источникам любого типа.

### 7.2.2.12 Минимальный коэффициент подавления боковой моды

Минимальный коэффициент подавления боковой моды – это минимальное отношение наибольшего пика всего спектра передатчика ко второму по амплитуде пику. Спектральная разрешающая способность измерения должна превышать максимальную спектральную ширину пика, определенную в пункте 7.2.2.10. Второй по величине пик может находиться рядом с главным пиком или быть удаленным от него.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В рамках этого определения пики спектра, которые отделены от наибольшего пика тактовой частотой, не рассматриваются в качестве боковых мод.

### 7.2.2.13 Максимальный и минимальный коэффициент экстинкции (в канале)

Для оптических переданных NRZ- и RZ-сигналов коэффициент экстинкции ER определяется следующим образом:

$$ER = 10 \log_{10} (A/B),$$

где:

- A – средний уровень оптической мощности в центре логической "1"; и
- B – средний уровень оптической мощности в центре логического "0".

Для оптических логических уровней принято следующее соглашение:

- эмиссия света для логической "1";
- отсутствие эмиссии для логического "0".

Для оптических переданных сигналов PAM4 коэффициент экстинкции определяется следующим образом:

$$ER = 10 \log_{10} (P_3/P_0)$$

где:

- $P_3$  – средняя оптическая мощность в границах двух центральных UI на последовательности из 7 троек (см. рисунок 7-2);
- $P_0$  – средняя оптическая мощность в границах двух центральных UI на последовательности из 6 нулей (см. рисунок 7-2).

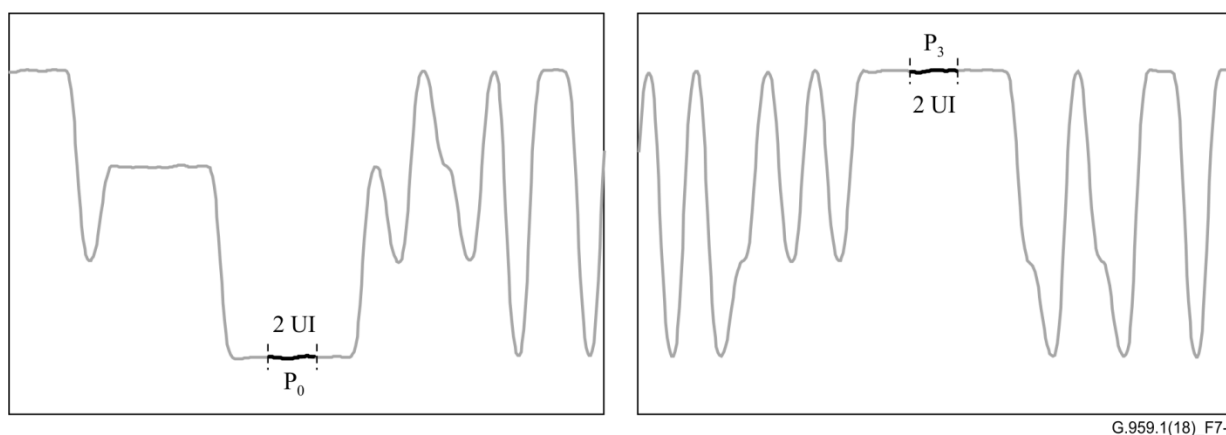


Рисунок 7-2 – Пример определения уровней мощности  $P_0$  и  $P_3$

При наличии фильтра Бесселя-Томсона четвертого порядка указанные значения максимального и минимального коэффициента экстинкции в канале обеспечивать не требуется.

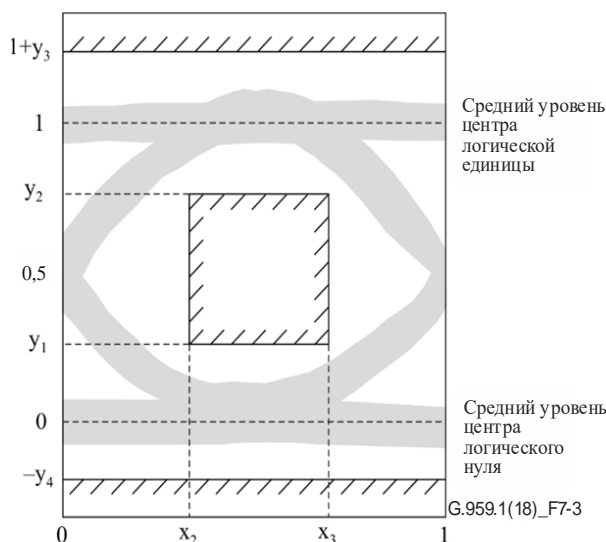
Это определение может быть непосредственно применено к одноканальным системам. В случае многоканального IgDI можно использовать два альтернативных метода.

- Метод А можно использовать, если одноканальные эталонные точки доступны для проверки в передающем конце канала. Для этого метода используются процедуры, описанные в [ITU-T G.957] и [ITU-T G.691]. Конфигурация для этого метода приведена в Приложении А.

- В методе В используется эталонный оптический полосовой фильтр для изоляции отдельных переданных сигналов. Описание характеристик эталонного оптического полосового фильтра приведено в Приложении В.

#### 7.2.2.14 Маска "глаза" для оптических переданных NRZ-сигналов

В настоящей Рекомендации общие характеристики формы импульса передатчика для оптических переданных NRZ- и RZ-сигналов, включая время нарастания, время спада, выброс импульса, отрицательный выброс перед фронтом импульса и переходной процесс ("звон"), которые должны управляться для предотвращения чрезмерной деградации чувствительности приемника, определены в виде диаграммы "глаза" передатчика в точке MPI-S. Для оценки переданного сигнала важно рассмотреть не только раскрытие глаза, но и ограничения на выброс и отрицательный выброс перед фронтом импульса. Параметры прямоугольных масок диаграммы "глаза" передатчика для всех оптических переданных NRZ-сигналов показаны на рисунке 7-3, а долевых масок – на рисунке 7-4. Для масок, изображенных на рисунке 7-3, приемлемые диаграммы "глаза" передатчика не должны пересекать ни одну штриховую линию. Для долевых масок, изображенных на рисунке 7-4, должно соблюдаться приемлемое отношение количества образцов, находящихся внутри обведенной зоны, к количеству образцов за ее пределами ("доля попаданий"). Описание испытательной установки для STM-64 приведено в Приложении А к [ITU-T G.691]. Допуски фильтра для эталонных оптических приемников NRZ 10G, NRZ 25G и NRZ 40G определены для STM-64 в Приложении А к [ITU-T G.691].

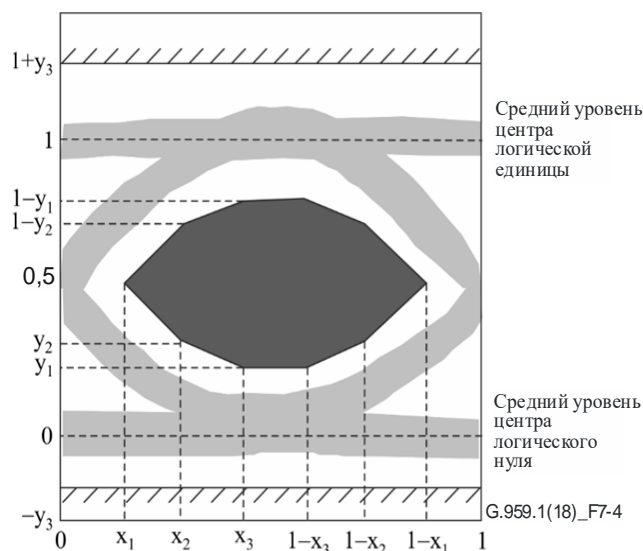


	NRZ 2.5G	NRZ 10G участок 1310 нм	NRZ 10G участок 1550 нм	Усиленный NRZ 10G	NRZ 40G
$x_3-x_2$ (Примечание 2)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
$y_1$	0,25	0,25	0,25	$\Delta + 0,25$ (Примечание 1)	0,25
$y_2$	0,75	0,75	0,75	$\Delta + 0,75$ (Примечание 1)	0,75
$y_3$	0,25	0,4	0,25	0,25	0,25
$y_4$	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Переменная  $\Delta$  принимает значения  $-0,25 < \Delta < +0,25$ .

ПРИМЕЧАНИЕ 2. –  $x_2$  и  $x_3$  прямоугольной маски "глаза" не должны быть равноудалены от вертикальных осей в 0 UI и 1 UI.

**Рисунок 7-3 – Прямоугольная маска диаграммы "глаза" для оптических переданных сигналов NRZ (без долевых масок)**



	Долевая NRZ 10G малая (Примечание)	Долевая NRZ 10G большая (Примечание)	Долевая NRZ 25G
$x_1$	0,25	0,25	0,25
$x_2$	0,4	0,4	0,4
$x_3$	0,45	0,45	0,45
$y_1$	0,25	0,22	0,25
$y_2$	0,28	0,25	0,28
$y_3$	0,4	0,4	0,4
Макс. доля попаданий	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$
ПРИМЕЧАНИЕ. – Определения малой и большой масок "глаза" NRZ 10G используются в других Рекомендациях МСЭ-Т, касающихся оптических интерфейсов.			

**Рисунок 7-4 – Долевые маски диаграммы "глаза" NRZ 10G и NRZ 25G**

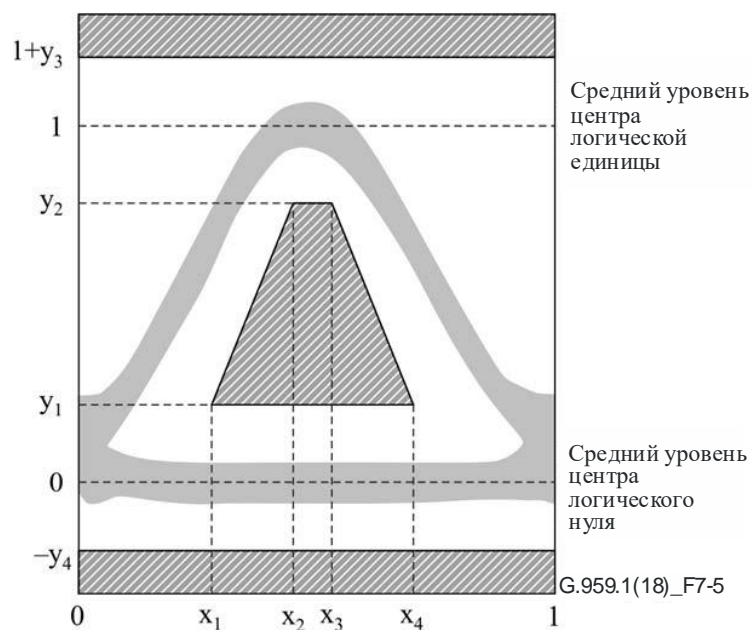
Это определение может быть непосредственно применено к одноканальным системам. В случае многоканального IrDI можно использовать два альтернативных метода.

- Метод А можно использовать, если одноканальные эталонные точки доступны для проверки в передающем конце канала. Для этого метода используются процедуры, описанные в [ITU-T G.957] и [ITU-T G.691]. Описание конфигурации для этого метода приведено в Приложении А.
- В методе для изоляции отдельных переданных сигналов используется эталонный оптический полосовой фильтр, за которым установлен эталонный приемник. Описание характеристик эталонного оптического полосового фильтра и эталонного приемника приведено в Приложении В.

#### 7.2.2.15 Маска "глаза" для оптических переданных сигналов RZ

Характеристики импульса оптических трибутарных сигналов класса RZ 40G, такие как изменение высоты импульса, также определены в виде маски диаграммы "глаза" передатчика.

На рисунке 7-5 показаны параметры, определяющие маски диаграммы "глаза" передатчика. Приемлемые диаграммы "глаза" передатчика не должны пересекать ни одну из штриховых линий. Испытательная установка для STM-64 описана в Приложении А к [ITU-T G.691]. Допуски на фильтр для оптического эталонного приемника RZ 40G оставлены для дальнейшего изучения.



	<b>RZ 40G</b>
$x_4 - x_1$	FFS
$x_3 - x_2$	FFS
$y_1$	FFS
$y_2$	FFS
$y_3$	FFS
$y_4$	FFS
FFS: для дальнейшего изучения	

**Рисунок 7-5 – Маска диаграммы "глаза" для оптического переданного сигнала RZ 40G**

Это определение может быть прямо применено к системам. В случае многоканального IrDI можно использовать два альтернативных метода.

- Метод А можно использовать, если одноканальные эталонные точки доступны для проверки в передающем конце канала. Для этого метода используются процедуры, описанные в [ITU-T G.957] и [ITU-T G.691]. Описание конфигурации для этого метода приведено в Приложении А.
- В методе В для изоляции отдельных переданных сигналов используется эталонный оптический полосовой фильтр, за которым установлен эталонный приемник. Описание характеристик эталонного оптического полосового фильтра и эталонного приемника приведено в Приложении В.

**7.2.2.16 Максимальное и минимальное выходное значение  $OMA_{outer}$  в канале**

Для оптических сигналов PAM4 выходное значение  $OMA_{outer}$  в канале определяется как разность между средней оптической мощностью  $P_3$  в границах двух центральных UI на последовательности из 7 троек и средней оптической мощностью  $P_0$  в границах двух центральных UI на последовательности из 6 нулей (см. рисунок 7-2).

**7.2.2.17 Максимальное значение TDECQ**

Для оптических сигналов PAM4 выходное значение TDECQ (закрытие "глаза" вследствие влияния передатчика и дисперсии) определяется согласно пунктам 121.8.5.1, 121.8.5.2 и 121.8.5.3 [IEEE 802.3bs], за следующими исключениями.

- Скорость передачи символов у генератора испытательных последовательностей совпадает со скоростью передачи символов, определенной для данного прикладного кода. Например, для прикладного кода со скоростью передачи данных и линейным кодированием,

соответствующим оптическим трибутарным сигналам FOIC4.8 PAM4, скорость передачи данных будет равна приблизительно 55,904737223 Гбит/с, а скорость передачи символов – приблизительно 27,952368612 Гбод.

- Сочетание оптоэлектронного преобразователя и осциллографа имеет АЧХ фильтра Бесселя-Томсона четвертого порядка с шириной полосы пропускания, приблизительно равной половине скорости передачи символов для данного прикладного кода.
- Эталонный корректор представляет собой 5-отводный Т-корректор с прямой обратной связью (FFE), где Т – период передачи символов. Сумма коэффициентов отводов корректора равняется 1.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Этот эталонный корректор предписывается методикой контроля TDECQ и не подразумевает какой-то определенной реализации корректора в приемнике.

- Приведенная спектральная плотность мощности шума  $N(f)$  эквивалентна спектральной плотности мощности белого шума, пропущенного через фильтр Бесселя-Томсона четвертого порядка с шириной полосы пропускания, равной половине скорости передачи символов для данного прикладного кода.

#### **7.2.2.18 Минимальное значение ( $OMA_{outer}$ минус TDECQ) в канале**

Для оптических сигналов PAM4 передатчик с максимальным значением TDECQ должен иметь большее значение  $OMA_{outer}$ , чем передатчик со значением TDECQ меньше максимального. Для этого нормируется значение  $OMA_{outer}$  минус TDECQ. Следует иметь в виду, что минимальное выходное значение  $OMA_{outer}$  должно обеспечиваться даже у передатчиков с очень низким значением TDECQ.

### **7.2.3 Оптический тракт (один участок) от точки MPI-S<sub>M</sub> до MPI-R<sub>M</sub> или от MPI-S до MPI-R**

#### **7.2.3.1 Максимальный коэффициент ослабления**

Максимальный коэффициент ослабления на тракте, при котором рассматриваемая система работает в условиях окончательного BER  $10^{-12}$  (или заданного прикладным кодом) при наихудшем сигнале на передающей стороне и максимальной дисперсии. Определение эффектов, включенных в максимальный коэффициент ослабления, приведено в пункте 6.3.1 [ITU-T G.691]. Требуемые для целевых расстояний IrDI максимальные значения коэффициента ослабления получены при коэффициенте потерь в установленном волокне 0,275 дБ/км (с учетом сростков и краев кабеля) в диапазоне 1530–1565 нм при коэффициенте потерь 0,55 дБ/км для одноканального IrDI и длине волны 1310 нм. Для практического применения определены коэффициенты ослабления, равные 11 дБ на участке 40 км, 22 дБ на участке 80 км при длине волны 1550 нм, 11 дБ на участке 20 км и 22 дБ на участке 40 км при длине волны 1310 нм, за исключением внутростанционных приложений и приложений для очень малых расстояний. Следует отметить, что этот метод, который также используется для определения других интерфейсов при данной длине волны, дает теоретическое значение длины участка. Учет потерь в соединителях и сростках, которые присутствуют при практической реализации, могут привести к другим значениям длин участков.

#### **7.2.3.2 Минимальный коэффициент ослабления**

Минимальный коэффициент ослабления на тракте, позволяющий рассматриваемой системе, которая работает в наихудших условиях на передающей стороне, обеспечить BER не ниже  $10^{-12}$  (или значения, заданного прикладным кодом).

#### **7.2.3.3 Максимальная хроматическая дисперсия на верхней и нижней границах диапазона длин волн**

Эти два параметра определяют максимальное допустимое для системы нескомпенсированное значение хроматической дисперсии на главном тракте.

Внутри заданного диапазона длин волн значение максимальной дисперсии определяется путем линейной интерполяции между значениями, заданными для нижней и верхней границ диапазона длин волн. В тех случаях, когда максимальное значение дисперсии на обеих границах диапазона длин волн одинаковое, это значение должно обеспечиваться во всем диапазоне.

Для волокна МСЭ-Т G.652 требуемый допуск на максимальную дисперсию на верхней и нижней границах диапазона длин волн устанавливается равным целевому расстоянию, умноженному на коэффициент 1,05 (кроме прикладных кодов 4I1-9D1F, 4L1-9C1F, 4L1-9D1F, 8R1-4D1F, 4I1-4D1F и 8I1-4D1F, для которых применяется коэффициент 1,00) и на максимальный коэффициент дисперсии для этого волокна на соответствующих длинах волн. Для волокна МСЭ-Т G.653 требуемый допуск на максимальную дисперсию на верхней и нижней границах диапазона длин волн устанавливается равным целевому расстоянию, умноженному на коэффициент 1,05 и на наибольшее абсолютное значение максимального коэффициента дисперсии волокна МСЭ-Т G.653.В на соответствующих длинах волн. Для волокна МСЭ-Т G.655 требуемый допуск на максимальную дисперсию на верхней и нижней границах диапазона длин волн устанавливается равным целевому расстоянию, умноженному на коэффициент 1,05 и на значение максимального коэффициента дисперсии волокна МСЭ-Т G.655.Е на соответствующих длинах волн.

Они рассматриваются как наихудшие значения дисперсии для соответствующих типов волокон. Использование наихудшего случая для этого параметра должно обеспечить некоторый запас по чувствительному параметру, а также позволить увеличить расстояния передачи для волокон с малыми потерями.

Допустимая оптическая потеря на тракте рассматривает все детерминированные эффекты в результате воздействия хроматической дисперсии, а также потери из-за максимальной дифференциальной групповой задержки.

#### 7.2.3.4 Максимальное отклонение хроматической дисперсии

Это максимальная допустимая разность между фактическим значением хроматической дисперсии оптического тракта от точки MPI-S до точки MPI-R и значением дисперсии на тракте, определенном во время инсталляции. Отклонение хроматической дисперсии учитывается в приложениях с помощью компенсации дисперсии (DC). Пример компенсации дисперсии показан на рисунке 7-6. На этом рисунке приемник содержит модуль DC перед детектором (Det). Кроме того, может также присутствовать дополнительный оптический усилитель (OA).

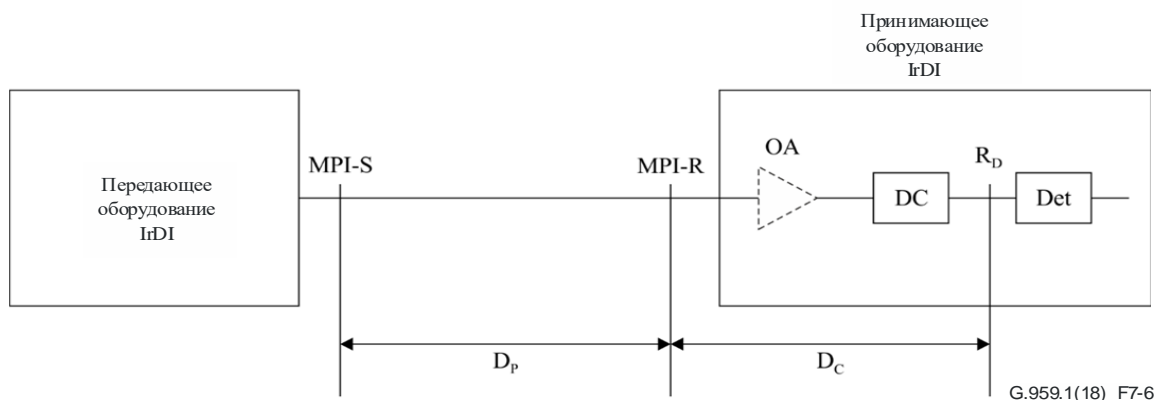


Рисунок 7-6 – Одноканальный IrDI с компенсацией дисперсии (DC) в приемнике

Во время инсталляции приемника измеренное значение дисперсии оптического тракта  $D_I$  используется для установления величины компенсации дисперсии в приемнике. Если определить фактическое значение дисперсии оптического тракта  $D_p$  и фактическое значение компенсации дисперсии в приемнике  $D_c$ , то существует требование, чтобы в любой момент времени после инсталляции:

$$|D_p + D_c| < D_{r \max},$$

где  $D_{r \max}$  – максимальная допустимая остаточная дисперсия. Например,  $D_{r \max} = 30$  пс/нм для класса NRZ 40G без использования адаптивной компенсации дисперсии. Такие факторы, как погрешность измерения, температура, ремонтные работы и старение, приводят к отличию  $D_p$  от  $D_I$  на величину  $\delta_p$ . Аналогично, такие факторы как установка степени разбиения, температура и старение приводят к тому, что  $D_c$  отличается от  $D_I$  на величину  $\delta_c$ . Поэтому приведенное выше ограничение означает, что для исключения превышения  $D_{r \max}$  требуется, чтобы:



$$|\delta_P| + |\delta_C| < D_{\text{rmax}}.$$

Поскольку для определения спецификации хроматического отклонения дисперсии ( $\delta_P$ ) использовались разумные значения  $D_{\text{rmax}}$  и  $\delta_C$ , данная Рекомендация определяет только значения  $\delta_P$ , они приведены в таблицах с 8-1 по 8-18.

### 7.2.3.5 Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S<sub>M</sub> или MPI-S

Отражения вызваны неоднородностями показателя преломления вдоль оптического тракта. Если не контролировать их, то они могут ухудшить работу системы путем влияния на работу оптического источника или усилителя или в результате многочисленных отражений, которые приводят к интерференционному шуму в приемнике. Отражения на оптическом тракте контролируются путем определения:

- минимальных оптических обратных потерь кабельного участка в эталонной точке источника (например, MPI-S<sub>M</sub>, MPI-S), включая любые соединители; и
- максимального дискретного коэффициента отражения между эталонными точками источника (например, MPI-S<sub>M</sub>, MPI-S) и эталонными точками приема (например, MPI-R<sub>M</sub>, MPI-R).

Коэффициент отражения выражает отражение от любой отдельной дискретной точки, тогда как оптические возвратные потери – это отношение падающей оптической мощности к суммарной обратной оптической мощности для всего волокна, включая как дискретные отражения, так и распределенное обратное рассеяние, например, рэлеевское рассеяние.

Описание методов измерения отражения приведено в Дополнении I к [ITU-T G.957]. Для измерения коэффициента отражения и возвратных потерь предполагается, что точки MPI-S и MPI-R совпадают с торцами разъемов. Признается, что при этом не учитывается фактическое отражение соответствующих разъемов в работающей системе. Предполагается, что эти отражения имеют номинальное значение коэффициента отражения для определенного типа используемых соединителей.

### 7.2.3.6 Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками MPI-S<sub>M</sub> и MPI-R<sub>M</sub> или между точками MPI-S и MPI-R

Оптический коэффициент отражения определяется как отношение отраженной оптической мощности в точке к оптической мощности падающего света в этой точке. Контроль отражений подробно обсуждается в [ITU-T G.957]. Максимальное количество разъемов и других дискретных точек отражения, которые могут быть включены в оптический тракт (например, для кроссов или компонентов WDM), должно обеспечивать указанные полные оптические возвратные потери. Если это невозможно при использовании соединителей, отвечающих максимальным дискретным коэффициентам отражения, приведенным в таблицах с 8-1 по 8-18, то необходимо использовать разъемы, имеющие более высокие показатели по коэффициенту отражения. При другом подходе необходимо уменьшить количество разъемов. Кроме того, может потребоваться ограничение количества разъемов или использование разъемов с более высокими показателями по коэффициенту отражения, чтобы избежать недопустимого ухудшения из-за множественных отражений.

В таблицах с 8-1 по 8-18 для снижения влияния множественных отражений (например, интерференционных шумов) максимальное значение дискретного коэффициента отражения между эталонными точками источника и эталонными точками приемника равно  $-27$  дБ. Значение максимального коэффициента отражения приемника выбрано так, чтобы гарантировать приемлемые потери из-за множественных отражений для всех вероятных конфигураций систем, включая несколько соединителей и т. д. В тех системах, в которых используется меньшее количество разъемов или более качественные разъемы, формируется меньше множественных отражений и, следовательно, в них можно использовать приемники с более высоким коэффициентом отражения.

Для прикладных кодов РАМ4 максимальное значение каждого дискретного коэффициента отражения должно быть меньше или равно значению, приведенному в таблице 7-2, в соответствии с числом дискретных коэффициентов отражения в канале, превышающих  $-55$  дБ. Если число дискретных коэффициентов отражения находится между двумя числами, указанными в таблице, берется меньшее из двух максимальных значений дискретного коэффициента отражения.

**Таблица 7-2 – Максимальное значение дискретного коэффициента отражения для прикладных кодов PAM4**

Число дискретных коэффициентов отражения, превышающих –55 дБ	Максимальное значение каждого дискретного коэффициента отражения	
	8R1-4D1F	4I1-4D1F, 8I1-4D1F
1	-25	-22
2	-31	-29
4	-35	-33
6	-38	-35
8	-40	-37
10	-41	-39

### 7.2.3.7 Максимальная дифференциальная групповая задержка

Дифференциальная групповая задержка (DGD) – это разность времени между частями импульса, которые переданы в двух основных модах поляризации оптического сигнала. Для расстояний, превышающих несколько километров, и при сильном взаимодействии между поляризационными модами можно статистически моделировать DGD в волокне с помощью распределения Максвелла.

В настоящей Рекомендации максимальная дифференциальная групповая задержка определяется как значение DGD, допускаемое в системе при максимальном ухудшении чувствительности приблизительно на 1 дБ, за исключением прикладного кода 4I1-9D1F, для которого максимальное ухудшение чувствительности составляет приблизительно 0,5 дБ.

Из-за статистической природы поляризационной модовой дисперсии (PMD) отношение максимальной DGD к средней DGD можно определить только вероятностно. Вероятность превышения мгновенным DGD любого данного значения может быть выведена из того, что она подчиняется статистике Максвелла. Поэтому, если мы знаем максимальную допустимую для системы DGD, то мы можем получить эквивалентную среднюю DGD, деля ее на отношение максимального значения к среднему значению, что соответствует приемлемой вероятности. Некоторые примеры таких отношений приведены ниже в таблице 7-3.

**Таблица 7-3 – Средняя DGD и вероятность**

Отношение максимального значения к среднему значению	Вероятность превышения максимального значения
3,0	$4,2 \times 10^{-5}$
3,5	$7,7 \times 10^{-7}$
4,0	$7,4 \times 10^{-9}$

### 7.2.4 Интерфейс в точке MPI-R<sub>M</sub> или MPI-R

#### 7.2.4.1 Максимальная средняя входная мощность (в канале)

Максимальное приемлемое значение средней получаемой мощности в канале в точке MPI-R<sub>M</sub> или MPI-R для достижения указанного максимального BER прикладного кода.

#### 7.2.4.2 Минимальная средняя входная мощность (в канале)

Минимальное значение средней получаемой мощности в канале в точке MPI-R<sub>M</sub>. Эта мощность является минимальной средней выходной мощностью канала минус максимальный коэффициент ослабления приложения.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Вводимая в канал в точке MPI-R<sub>M</sub> минимальная средняя мощность должна превышать минимальную эквивалентную чувствительность на значение максимальных оптических потерь на тракте.

### 7.2.4.3 Максимальная средняя суммарная входная мощность

Максимальная приемлемая суммарная входная мощность в точке MPI-R<sub>M</sub>.

### 7.2.4.4 Максимальная разность мощностей в канале

Разность между наибольшим значением средней введенной в канал мощности и наименьшим значением введенной в канал средней мощности в тот же момент времени при заданной оптической пропускной способности в диапазоне независимо от числа каналов в приложении.

### 7.2.4.5 Максимальные потери на оптическом тракте

Потери на тракте – это наблюдаемое снижение чувствительности приемника (или эквивалентной чувствительности в случае многоканальных приложений) из-за искажения формы волны сигнала при прохождении сигнала по тракту. Они проявляются как сдвиг кривых BER системы в сторону более высоких уровней входной мощности. Это соответствует положительным потерям на тракте. При некоторых обстоятельствах возможны отрицательные потери на тракте, но они невелики. (Отрицательные потери на тракте указывают, что несовершенный "глаз" передатчика частично улучшен зависящими от тракта искажениями.) В идеальном случае изменяются только кривые BER, однако нередко встречаются изменения формы, они могут свидетельствовать о появлении постоянства BER. Поскольку потери на тракте являются изменением чувствительности приемника, они измеряются при уровне BER  $10^{-12}$ .

В случае прикладных кодов, требующих передачу байтов FEC (то есть имеющих код с суффиксом F), измеряются оба вида чувствительности приемника (с ухудшением и без него вследствие оптического тракта) после проведения коррекции ошибок (если она использовалась).

Для приложений со скоростями передачи в канале, соответствующих классам NRZ 2.5G и NRZ 10G, допускаются максимальные потери на тракте, равные 1 дБ для систем с малой дисперсией и равные 2 дБ для систем с высокой дисперсией. Чтобы исключить работу систем с высокими потерями, потери на тракте не считаются пропорциональными целевому расстоянию.

Для приложений со скоростями передачи в канале, соответствующих классу NRZ 40G, значение оптических потерь на тракте на 1 дБ выше, чем для более низких скоростей. Это должно позволить учесть потери, связанные с PMD (как первого, так и второго порядка).

В будущем могут быть введены системы, использующие методы изменения дисперсии, основанные на предискажении сигнала в передатчике. В этом случае потери на тракте в приведенном выше смысле могут быть определены только между точками при использовании неискаженных сигналов. Однако эти точки не совпадают с основными интерфейсами тракта, поэтому они могут быть недоступны. Определение потерь на тракте в этом случае оставлено для дальнейшего изучения.

Среднее значение случайных дисперсионных потерь из-за PMD включено в допустимые потери на тракте. В этом отношении для большинства прикладных кодов комбинация передатчика и приемника должна допускать фактическую DGD 0,3 бита при максимальном снижении чувствительности приблизительно на 1 дБ (при 50% оптической мощности в каждой основной поляризационной моде). Для правильно спроектированного приемника это соответствует потерям, составляющим 0,1–0,2 дБ при мгновенном значении DGD, составляющем 0,1 битового периода (что соответствует среднему значению DGD в 0,3 битового периода и отношению максимального значения к среднему, равному 3,0). Фактическая DGD, которая реально встречается при работе, – это беспорядочно изменяющееся свойство волокна или кабеля, и она не может быть определена в настоящей Рекомендации. Эта тема более подробно обсуждается в Дополнении I к [ITU-T G.691].

Обратите внимание на то, что снижение отношения сигнал/шум из-за оптического усиления не считается потерями на тракте.

Это определение может быть непосредственно применено к одноканальным системам. В случае многоканального IgDI можно использовать два альтернативных метода.

- Метод А можно использовать, если одноканальные эталонные точки доступны для проверки в передающем конце канала. Для этого метода используются процедуры, описанные в [ITU-T G.957] и [ITU-T G.691]. Описание конфигурации для этого метода приведено в Приложении А.

- В методе В для изоляции отдельных переданных сигналов используется эталонный оптический полосовой фильтр, за которыми установлен эталонный приемник. Характеристики эталонного оптического полосового фильтра и эталонного приемника приведены в Приложении В.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Потери на оптическом тракте, наблюдаемые в эталонном приемнике, могут не совпадать с фактическими потерями в приемном оборудовании из-за реализации этой конструкции.

#### **7.2.4.6 Минимальная эквивалентная чувствительность**

Это минимальная чувствительность в точке  $MPI-R_M$ , которая потребовалась бы для помещенного в точку  $MPI-R_M$  приемника в многоканальных приложениях для достижения указанного максимума BER прикладного кода при удалении всех каналов, кроме одного (с идеальным фильтром без потерь). Эта чувствительность должна достигаться с использованием передатчика с наихудшими значениями маски "глаза" передатчика, коэффициента экстинкции, оптических возвратных потерь в точке  $MPI-S_M$ , деградации разъемов, перекрестных помех со стороны передатчика, оптического шума усилителя и погрешностей измерения. Она не должна достигаться при наличии дисперсии, нелинейности или отражений на оптическом тракте; эти эффекты определяются отдельно в распределении максимальных оптических потерь на тракте.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Вводимая в канал в точке  $MPI-R_M$  минимальная средняя мощность должна превышать минимальную эквивалентную чувствительность на значение максимальных оптических потерь на тракте.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Чувствительность приемника не должна достигаться при наличии флуктуаций приемника, превышающих соответствующий предел возбуждения флуктуаций (например, предел, предусмотренный в [ITU-T G.8251] для оптических трибутарных сигналов OTN).

Эффекты старения отдельно не определяются. Указываются значения для наихудшего случая и окончания эксплуатации.

#### **7.2.4.7 Максимальный коэффициент отражения оптического сетевого элемента**

Обратные отражения от ONE в кабельную систему определяются максимальным допустимым коэффициентом отражения ONE, измеренным в эталонной точке  $MPI-R_M$  или  $MPI-R$ . Оптический коэффициент отражения определен в пункте 7.2.3.6.

#### **7.2.4.8 Минимальная чувствительность**

Это минимальное значение средней получаемой мощности в точке  $MPI-R$  для достижения указанного максимума BER прикладного кода. Эта чувствительность должна достигаться с использованием передатчика с наихудшими значениями маски "глаза" передатчика, коэффициента экстинкции, оптических возвратных потерь в точке  $MPI-S_M$ , деградации разъемов, оптического шума усилителя и погрешностей измерения. Она не должна достигаться при наличии дисперсии или отражений на оптическом тракте; эти эффекты определяются отдельно в распределении максимальных оптических потерь на тракте.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Минимальная средняя оптическая мощность в приемнике должна превышать минимальную чувствительность на значение максимальных оптических потерь на тракте.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Чувствительность приемника не должна достигаться при наличии флуктуаций приемника, превышающих соответствующий предел возбуждения флуктуаций (например, предел, предусмотренный в [ITU-T G.8251] для оптических трибутарных сигналов OTN).

Эффекты старения отдельно не определяются. Указываются значения для наихудшего случая и окончания эксплуатации.

#### **7.2.4.9 Максимальное и минимальное входное значение $OMA_{outer}$ в канале**

Максимально допустимое значение  $OMA_{outer}$  в канале (определение см. в пункте 7.2.2.16) в точке  $MPI-R_M$  или  $MPI-R$ , обеспечивающее достижение заданного максимального значения BER для данного прикладного кода.

#### **7.2.4.10 Максимальный допуск на потери из-за многолучевой интерференции**

Для прикладных кодов РАМ4 бюджет оптической мощности включает допуск на потери из-за многолучевой интерференции, обусловленной наличием нескольких дискретных отражений в оптическом тракте между передатчиком и приемником (см. пункт 7.2.3.6).

### 7.2.4.11 Минимальная эквивалентная чувствительность ( $OMA_{outer}$ минус SECQ)

Для прикладных кодов PAM4 это минимально требуемая чувствительность приемника, расположенного в точке MPI-R<sub>M</sub> в многоканальных приложениях, которая обеспечивает заданное максимальное значение BER для данного прикладного кода в случае исключения всех каналов, кроме одного (с идеальным фильтром без потерь) в точке MPI-R<sub>M</sub>. Она нормируется как чувствительность, которую бы демонстрировал приемник, если использовать для измерений передатчик с SECQ = 0 дБ, где SECQ (закрытие "глаза" на нагрузочном сигнале для PAM4) определяется как для TDECQ в пункте 7.2.2.17, но без использования испытательного волокна. Минимальная эквивалентная чувствительность должна обеспечиваться при максимальной дифференциальной групповой задержке в оптическом тракте.

Чувствительность приемника следует измерить с использованием испытательного передатчика с как можно меньшим значением SECQ, а затем найти эквивалентное значение чувствительности ( $OMA_{outer}$  минус SECQ) по формуле:

$$\text{чувствительность} = \text{измеренное значение чувствительности } OMA_{outer} - \text{SECQ испытательного передатчика.}$$

## 8 Значения параметров

### 8.1 Многоканальный IrDI

Параметры и значения физического уровня для многоканальных междоменных интерфейсов приведены в таблицах с 8-1 по 8-6.

**Таблица 8-1 – Параметры и значения многоканального IrDI для приложений связи на малые расстояния с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 2.5G**

Параметр (Примечание)	Единицы измерения	P16S1-1D2 P16S1-1D5	P32S1-1D2 P32S1-1D5
<b>Общая информация</b>			
Максимальное число каналов	–	16	32
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	$10^{-12}$	$10^{-12}$
Тип волокна	–	МСЭ-Т G.652, МСЭ-Т G.655	МСЭ-Т G.652, МСЭ-Т G.655
<b>Интерфейс в точке MPI-S<sub>M</sub></b>			
Максимальная средняя выходная мощность канала	дБм	–4	–4
Минимальная средняя выходная мощность канала	дБм	–10	–10
Максимальная средняя суммарная выходная мощность	дБм	+8	+11
Центральная частота	ТГц	192,1 + 0,2 <i>m</i> , <i>m</i> = 0...15	192,1 + 0,1 <i>m</i> , <i>m</i> = 0...31
Межканальный интервал	ГГц	200	100
Максимальная спектральная амплитуда	ГГц	40	20
Минимальный коэффициент экстинкции в канале	дБ	8,2	8,2
Маска "глаза"	–	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G
<b>Оптический тракт (один участок) от точки MPI-S<sub>M</sub> до точки MPI-R<sub>M</sub></b>			
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	11	11

**Таблица 8-1 – Параметры и значения многоканального IrDI для приложений связи на малые расстояния с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 2.5G**

Параметр (Примечание)	Единицы измерения	P16S1-1D2 P16S1-1D5	P32S1-1D2 P32S1-1D5
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	2	2
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	800 для [ITU-T G.652], 420 для [ITU-T G.655]	800 для [ITU-T G.652], 420 для [ITU-T G.655]
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	800 для [ITU-T G.652], 420 для [ITU-T G.655]	800 для [ITU-T G.652], 420 для [ITU-T G.655]
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S <sub>M</sub>	дБ	24	24
Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками MPI-S <sub>M</sub> и MPI-R <sub>M</sub>	дБ	-27	-27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	120	120
<b>Интерфейс в точке MPI-R<sub>M</sub></b>			
Максимальная средняя мощность, введенная в канал	дБм	-6	-6
Минимальная средняя мощность, введенная в канал	дБм	-21	-21
Максимальная средняя суммарная мощность, введенная в канал	дБм	+6	+9
Максимальное различие между мощностями в канале	дБ	NA	NA
Максимальные потери на оптическом тракте	дБ	1	1
Минимальная эквивалентная чувствительность	дБм	-22	-22
Максимальный коэффициент отражения оптического сетевого элемента	дБ	-27	-27
ПРИМЕЧАНИЕ. – Значения параметров в этой таблице могут быть неприменимы к будущим системам, в которых используются линейные усилители или внутридоменные интерфейсы (IaDI).			

**Таблица 8-2 – Параметры и значения многоканального IrDI для приложений внутристанционной связи с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 10G**

Параметр (Примечание 1)	Единицы измерения	P16I1-2D2 P16I1-2D3 (Примечание 2) P16I1-2D5	P32I1-2D2 P32I1-2D5
<b>Общая информация</b>			
Максимальное число каналов	–	16	32
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	NRZ 10G	NRZ 10G
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup>
Тип волокна	–	МСЭ-Т G.652, МСЭ-Т G.653, МСЭ-Т G.655	МСЭ-Т G.652, МСЭ-Т G.655
<b>Интерфейс в точке MPI-S<sub>M</sub></b>			
Максимальная средняя выходная мощность канала	дБм	-3	-3
Минимальная средняя выходная мощность канала	дБм	-6	-6
Максимальная средняя суммарная выходная мощность	дБм	+9	+12
Центральная частота	ТГц	192,1 + 0,2 <i>m</i> , <i>m</i> = 0...15	192,1 + 0,1 <i>m</i> , <i>m</i> = 0...31
Межканальный интервал	ГГц	200	100
Максимальная спектральная амплитуда	ГГц	40	20

**Таблица 8-2 – Параметры и значения многоканального IrDI для приложений  
внутристанционной связи с использованием оптических трибутарных сигналов  
класса NRZ 10G**

Параметр (Примечание 1)	Единицы измерения	P16I1-2D2 P16I1-2D3 (Примечание 2) P16I1-2D5	P32I1-2D2 P32I1-2D5
Минимальный коэффициент экстинкции в канале	дБ	8,2	8,2
Маска "глаза"	–	NRZ 10G с усилением	NRZ 10G с усилением
<b>Оптический тракт (один участок) от точки MPI-S<sub>M</sub> до точки MPI-R<sub>M</sub></b>			
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	6 (Примечание 2)	6
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	0	0
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	400 для МСЭ-Т G.652, ±70 для МСЭ-Т G.653, 210 для МСЭ-Т G.655	400 для МСЭ-Т G.652, 210 для МСЭ-Т G.655
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	400 для МСЭ-Т G.652, ±70 для МСЭ-Т G.653, 210 для МСЭ-Т G.655	400 для МСЭ-Т G.652, 210 для МСЭ-Т G.655
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S <sub>M</sub>	дБ	24	24
Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками MPI-S <sub>M</sub> и MPI-R <sub>M</sub>	дБ	–27	–27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	30	30
<b>Интерфейс в точке MPI-R<sub>M</sub></b>			
Максимальная средняя мощность, введенная в канал	дБм	–3	–3
Минимальная средняя мощность, введенная в канал	дБм	–12	–12
Максимальная средняя суммарная мощность, введенная в канал	дБм	+9	+12
Максимальное различие между мощностями в канале	дБ	NA	NA
Максимальные потери на оптическом тракте	дБ	2 для МСЭ-Т G.652, 1 для МСЭ-Т G.653 (Примечание 2), 1 для МСЭ-Т G.655	2 для МСЭ-Т G.652, 1 для МСЭ-Т G.655
Минимальная эквивалентная чувствительность	дБм	–14 для МСЭ-Т G.652, –13 для МСЭ-Т G.653, –13 для МСЭ-Т G.655	–14 для МСЭ-Т G.652, –13 для МСЭ-Т G.655
Максимальный коэффициент отражения оптического сетевого элемента	дБ	–27	–27
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Значения параметров в этой таблице могут быть неприменимы к будущим системам, в которых используются линейные усилители или внутридоменные интерфейсы (IaDI).</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – При потерях на оптическом тракте, равных 1 дБ, рекомендуется устанавливать расстояние передачи внутристанционных интерфейсов с волокнами МСЭ-Т G.653 в пределах 2 км по причине нелинейности волокна. Если расстояние передачи превышает 2 км, могут наблюдаться дополнительные потери (которые приплюсовываются к указанным потерям на оптическом тракте). Как вариант, допускается использование нежвидистантной сетки центральных частот каналов в рамках совместного проектирования.</p>			

**Таблица 8-3 – Параметры и значения многоканального IrDI для приложений связи на малые расстояния с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 10G**

Параметр (Примечание)	Единицы измерения	P16S1-2B2 P16S1-2B5	P16S1-2C2 P16S1-2C3 P16S1-2C5	P32S1-2B2 P32S1-2B5	P32S1-2C2 P32S1-2C5
<b>Общая информация</b>					
Максимальное число каналов	–	16	16	32	32
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	NRZ 10G	NRZ 10G	NRZ 10G	NRZ 10G
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	$10^{-12}$	$10^{-12}$	$10^{-12}$	$10^{-12}$
Тип волокна	–	МСЭ-Т G.652, МСЭ-Т G.655	МСЭ-Т G.652, МСЭ-Т G.653, МСЭ-Т G.655	МСЭ-Т G.652, МСЭ-Т G.655	МСЭ-Т G.652, МСЭ-Т G.655
<b>Интерфейс в точке MPI-S<sub>M</sub></b>					
Максимальная средняя выходная мощность канала	дБм	+3	-7	+3	-7
Минимальная средняя выходная мощность канала	дБм	0	-11	0	-11
Максимальная средняя суммарная выходная мощность	дБм	+15	+5	+18	+8
Центральная частота	ТГц	192,1 + 0,2 <i>m</i> , <i>m</i> = 0...15	192,1 + 0,2 <i>m</i> , <i>m</i> = 0...15	192,1 + 0,1 <i>m</i> , <i>m</i> = 0...31	192,1 + 0,1 <i>m</i> , <i>m</i> = 0...31
Межканальный интервал	ГГц	200	200	100	100
Максимальная спектральная амплитуда	ГГц	40	40	20	20
Минимальный коэффициент экстинкции в канале	дБ	8,2	8,2	8,2	8,2
Маска "глаза"	–	NRZ 10G с усилением	NRZ 10G с усилением	NRZ 10G с усилением	NRZ 10G с усилением
<b>Оптический тракт (один участок) от точки MPI-S<sub>M</sub> до точки MPI-R<sub>M</sub></b>					
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	11	11	11	11
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	0	0	0	0



**Таблица 8-3 – Параметры и значения многоканального IrDI для приложений связи на малые расстояния с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 10G**

Параметр (Примечание)	Единицы изме- рения	P16S1-2B2 P16S1-2B5	P16S1-2C2 P16S1-2C3 P16S1-2C5	P32S1-2B2 P32S1-2B5	P32S1-2C2 P32S1-2C5
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	800 для MCЭ-Т G.652, 420 для MCЭ-Т G.655	800 для MCЭ-Т G.652, ±130 для MCЭ-Т G.653, 420 для MCЭ-Т G.655	800 для MCЭ-Т G.652, 420 для MCЭ-Т G.655	800 для MCЭ-Т G.652, 420 для MCЭ-Т G.655
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	800 для MCЭ-Т G.652, 420 для MCЭ-Т G.655	800 для MCЭ-Т G.652, ±130 для MCЭ-Т G.653, 420 для MCЭ-Т G.655	800 для MCЭ-Т G.652, 420 для MCЭ-Т G.655	800 для MCЭ-Т G.652, 420 для MCЭ-Т G.655
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S <sub>M</sub>	дБ	24	24	24	24
Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками MPI-S <sub>M</sub> и MPI-R <sub>M</sub>	дБ	-27	-27	-27	-27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	30	30	30	30
<b>Интерфейс в точке MPI-R<sub>M</sub></b>					
Максимальная средняя мощность, введенная в канал	дБм	+3	-7	+3	-7
Минимальная средняя мощность, введенная в канал	дБм	-11	-22	-11	-22
Максимальная средняя суммарная мощность, введенная в канал	дБм	+15	+5	+18	+8
Максимальное различие между мощностями в канале	дБ	NA	2	NA	2
Максимальные потери на оптическом тракте	дБ	2 для MCЭ-Т G.652, 1 для MCЭ-Т G.655	2 для MCЭ-Т G.652, 1 для MCЭ-Т G.653, 1 для MCЭ-Т G.655	2 для MCЭ-Т G.652, 1 для MCЭ-Т G.655	2 для MCЭ-Т G.652, 1 для MCЭ-Т G.655
Минимальная эквивалентная чувствительность	дБм	-13 для MCЭ-Т G.652, -12 для MCЭ-Т G.655	-24 для MCЭ-Т G.652, -23 для MCЭ-Т G.653, -23 для MCЭ-Т G.655	-13 для MCЭ-Т G.652, -12 для MCЭ-Т G.655	-24 для MCЭ-Т G.652, -23 для MCЭ-Т G.655
Максимальный коэффициент отражения оптического сетевого элемента	дБ	-27	-27	-27	-27
ПРИМЕЧАНИЕ. – Значения параметров в этой таблице могут быть неприменимы к будущим системам, в которых используются линейные усилители или внутридомовые интерфейсы (IaDI).					

**Таблица 8-4 – Параметры и значения многоканального IrDI для приложений связи на большие расстояния с использованием оптических трибутарных сигналов классов NRZ 2.5G и NRZ 10G**

Параметр (Примечание)	Единицы измерения	P16L1-1A2 P16L1-1A5	P16L1-2A2 P16L1-2A5
<b>Общая информация</b>			
Максимальное число каналов	–	16	16
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	NRZ 2.5G	NRZ 10G
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	$10^{-12}$	$10^{-12}$
Тип волокна	–	МСЭ-Т G.652, МСЭ-Т G.655	МСЭ-Т G.652, МСЭ-Т G.655
<b>Интерфейс в точке MPI-S<sub>M</sub></b>			
Максимальная средняя выходная мощность канала	дБм	+5	+5
Минимальная средняя выходная мощность канала	дБм	+2	0
Максимальная средняя суммарная выходная мощность	дБм	+17	+17
Центральная частота	ТГц	192,1 + 0,2 <i>m</i> , <i>m</i> = 0...15	192,1 + 0,2 <i>m</i> , <i>m</i> = 0...15
Межканальный интервал	ТГц	200	200
Максимальная спектральная амплитуда	ТГц	40	40
Минимальный коэффициент экстинкции в канале	дБ	8,2	8,2
Маска "глаза"	–	NRZ 2.5G	NRZ 10G с усилением
<b>Оптический тракт (один участок) от точки MPI-S<sub>M</sub> до точки MPI-R<sub>M</sub></b>			
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	22	22
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	11	11
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	1600 для МСЭ-Т G.652, 840 для МСЭ-Т G.655	1600 для МСЭ-Т G.652, 840 для МСЭ-Т G.655
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	1600 для МСЭ-Т G.652, 840 для МСЭ-Т G.655	1600 для МСЭ-Т G.652, 840 для МСЭ-Т G.655
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S <sub>M</sub>	дБ	24	24
Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками MPI-S <sub>M</sub> и MPI-R <sub>M</sub>	дБ	-27	-27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	120	30
<b>Интерфейс в точке MPI-R<sub>M</sub></b>			
Максимальная средняя мощность, введенная в канал	дБм	-6	-6
Минимальная средняя мощность, введенная в канал	дБм	-20	-22
Максимальная средняя суммарная мощность, введенная в канал	дБм	+6	+6
Максимальное различие между мощностями в канале	дБ	3	3
Максимальные потери на оптическом тракте	дБ	2 для МСЭ-Т G.652, 1 для МСЭ-Т G.655	2 для МСЭ-Т G.652, 1 для МСЭ-Т G.655
Минимальная эквивалентная чувствительность	дБм	-22 для МСЭ-Т G.652, -21 для МСЭ-Т G.655	-24 для МСЭ-Т G.652, -23 для МСЭ-Т G.655
Максимальный коэффициент отражения оптического сетевого элемента	дБ	-27	-27
ПРИМЕЧАНИЕ. – Значения параметров в этой таблице могут быть неприменимы к будущим системам, в которых используются линейные усилители или внутримодемовые интерфейсы (IaDI).			

**Таблица 8-5 – Параметры и значения многоканального IrDI для приложений с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 25G**

Параметр	Единицы измерения	4I1-9D1F		4L1-9C1F	4L1-9D1F
<b>Общая информация</b>					
Максимальное число каналов	–	4		4	4
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	OTL4.4 или FOIC1.4-RS		OTL4.4 или FOIC1.4-RS	OTL4.4 или FOIC1.4-RS
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	10 <sup>-12</sup> (Примечание 1)		10 <sup>-12</sup> (Примечание 1)	10 <sup>-12</sup> (Примечание 1)
Тип волокна	–	МСЭ-Т G.652		МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652
<b>Интерфейс в точке MPI-S<sub>M</sub></b>					
Максимальная средняя выходная мощность канала	дБм	4	2,9	2,9	5,1
Минимальный коэффициент экстинкции в канале (Примечание 2)	дБ	4	7	8	7
Максимальный коэффициент экстинкции в канале (Примечание 2)	дБ	7	–	–	–
Минимальная средняя выходная мощность канала (Примечание 2)	дБм	-0,6	-2,5	-2,7	0,6
Максимальная средняя суммарная выходная мощность	дБм	10	8,9	8,9	11,1
Максимальное различие между мощностями в канале	дБ	5		3,6	3,6
Центральная частота	ТГц	229,0 + 0,8m, m = 0...3		229,0 + 0,8m, m = 0...3	229,0 + 0,8m, m = 0...3
Межканальный интервал	ГГц	800		800	800
Максимальная спектральная амплитуда	ГГц	±184		±184	±184
Маска "глаза"	–	Долевая NRZ 25G		Долевая NRZ 25G	Долевая NRZ 25G
<b>Оптический тракт (один участок) от точки MPI-S<sub>M</sub> до точки MPI-R<sub>M</sub></b>					
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	6,3		18	18
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	0		0	10
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	-28,5...+9,5		-114...+38	-114...+38
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	-28,5...+9,5		-114...+38	-114...+38
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S <sub>M</sub>	дБ	20		20	20
Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками MPI-S <sub>M</sub> и MPI-R <sub>M</sub>	дБ	-26		-26	-26
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	8		10,3	10,3
<b>Интерфейс в точке MPI-R<sub>M</sub></b>					
Максимальная средняя мощность, введенная в канал	дБм	4	2,9	4,5	-4,9
Минимальная средняя мощность, введенная в канал (Примечание 2)	дБм	-6,9	-8,8	-20,7	-17,4
Максимальная средняя суммарная мощность, введенная в канал	дБм	10	8,9	10,5	1,1

**Таблица 8-5 – Параметры и значения многоканального IrDI для приложений с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 25G**

Параметр	Единицы измерения	4I1-9D1F		4L1-9C1F		4L1-9D1F	
Максимальное различие между мощностями в канале	дБ	5,5		4,5		4,5	
Максимальные потери на оптическом тракте	дБ	1,5		2,5		1,5	
Минимальная эквивалентная чувствительность (Примечание 2)	дБм	-8,4	-10,3	-23,2		-18,9	
Максимальный коэффициент отражения оптического сетевого элемента	дБ	-26		-26		-26	
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – BER для этих прикладных кодов должен соответствовать требованиям только после коррекции ошибок (если она используется). Поэтому BER на входе декодера FEC может значительно превышать <math>10^{-12}</math>.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Параметры, установленные для прикладного кода 4I1-9D1F, допускают для передатчика два набора значений максимальной и минимальной средней выходной мощности в канале, минимального и минимального коэффициента экстинкции в канале и максимальной средней суммарной выходной мощности (это показано путем разделения столбца надвое). Этим двум наборам значений параметров передатчика соответствуют разные значения максимальной и минимальной средней мощности, введенной в канал, максимальной средней суммарной мощности, введенной в канал, и минимальной эквивалентной чувствительности для одного и того же физического передатчика (это также показано путем разделения столбца надвое). Передатчик должен обеспечивать значения параметров, приведенные в одной из двух половин разделенного столбца, а приемник – значения параметров в обеих половинах столбца.</p>							

**Таблица 8-6 – Параметры и значения многоканального IrDI для приложений с использованием оптических трибутарных сигналов класса PAM4 50G**

Параметр	Единицы измерения	8R1-4D1F		4I1-4D1F		8I1-4D1F	
<b>Общая информация</b>							
Максимальное число каналов	–	8		4		8	
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	FOIC4.8 PAM4		FOIC2.4 PAM4		FOIC4.8 PAM4	
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	$10^{-13}$ (Примечание 1)		$10^{-13}$ (Примечание 1)		$10^{-13}$ (Примечание 1)	
Тип волокна	–	МСЭ-Т G.652		МСЭ-Т G.652		МСЭ-Т G.652	
<b>Интерфейс в точке MPI-S<sub>M</sub></b>							
Максимальная средняя выходная мощность канала	дБм	+5,3 (Примечание 2)		+5,3		+5,3 (Примечание 2)	
Минимальная средняя выходная мощность канала	дБм	-3,5		-3,4		-2,8	
Максимальная средняя суммарная выходная мощность	дБм	+13,2		+11,3		+13,2	
Минимальный коэффициент экстинкции в канале (Примечание 3)	дБ	3,5	4,5	3,5	4,5	3,5	4,5
Максимальный коэффициент экстинкции в канале (Примечание 3)	дБ	4,5	–	4,5	–	4,5	–
Максимальное выходное значение OMA <sub>outer</sub> в канале	дБм	+5,5		+5,1		+5,7	
Минимальное выходное значение OMA <sub>outer</sub> в канале	дБм	-0,5		-0,4		+0,2	
Максимальное значение TDECQ	дБ	3,1		3,4		3,3	
Максимальное различие между мощностями в канале	дБ	4		4		4	
Минимальное значение (OMA <sub>outer</sub> минус TDECQ) в канале (Примечание 3)	дБм	-1,8	-1,9	-1,7	-1,8	-1,1	-1,2

**Таблица 8-6 – Параметры и значения многоканального IrDI для приложений с использованием оптических трибутарных сигналов класса PAM4 50G**

Параметр	Единицы измерения	8R1-4D1F	4I1-4D1F	8I1-4D1F
Центральная частота	ТГц	229,0 + 0,8 m, m = 0...3 и 5...8	229,0 + 0,8 m, m = 0...3	229,0 + 0,8 m, m = 0...3 и 5...8
Межканальный интервал	ГГц	800	800	800
Максимальная спектральная амплитуда	ГГц	±184	±184	±184
<b>Оптический тракт (один участок) от точки MPI-S<sub>M</sub> до точки MPI-R<sub>M</sub></b>				
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	4	6,3	6,3
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	0	0	0
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	-10,2... +1,9	-28,4... +9,5	-50,8... +9,5
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	-10,2... +1,9	-28,4... +9,5	-50,8... +9,5
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S <sub>M</sub>	дБ	16,5	15,1	15,1
Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками MPI-S <sub>M</sub> и MPI-R <sub>M</sub>	дБ	См. пункт 7.2.3.6	См. пункт 7.2.3.6	См. пункт 7.2.3.6
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	3	8	8
<b>Интерфейс в точке MPI-R<sub>M</sub></b>				
Максимальная средняя мощность, введенная в канал	дБм	+5,3	+5,3	+5,3
Минимальная средняя мощность, введенная в канал	дБм	-7,5	-9,7	-9,1
Максимальная средняя суммарная мощность, введенная в канал	дБм	+13,2	+11,3	+13,2
Максимальное входное значение OMA <sub>outer</sub> в канале	дБм	+5,7	+5,1	+5,7
Минимальное входное значение OMA <sub>outer</sub> в канале	дБм	-4,5	-6,7	-6,1
Максимальное различие между мощностями в канале	дБ	4,1	4,2	4,5
Максимальный допуск на потери из-за многолучевой интерференции (Примечание 3)	дБ	0,4   0,3	0,6   0,4	0,3   0,6
Минимальная эквивалентная чувствительность (OMA <sub>outer</sub> минус SECQ)	дБм	-6,2	-8,6	-8
Максимальный коэффициент отражения оптического сетевого элемента	дБ	-26	-26	-26
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – BER для этих прикладных кодов должен соответствовать требованиям только после коррекции ошибок (если она используется). Поэтому BER на входе декодера FEC может значительно превышать 10<sup>-13</sup>.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Ввиду ограничения на максимальную среднюю суммарную выходную мощность не все полосы могут работать на максимальной средней выходной мощности канала.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Параметры, установленные для этих прикладных кодов, допускают для передатчика два набора значений минимального и максимального значений коэффициента экстинкции и минимального значения (OMA<sub>outer</sub> минус TDECQ) в канале (это показано путем разделения столбца надвое). Этим двум наборам значений параметров передатчика соответствуют разные значения максимального допуска на потери из-за многолучевой интерференции для одного и того же физического приемника (это показано путем разделения столбца надвое). Передатчик должен обеспечивать значения параметров, приведенные в одной из двух половин разделенного столбца, а приемник – значения параметров в обеих половинах столбца.</p>				

## 8.2 Одноканальный IrDI

Параметры и значения физического уровня для одноканальных междоменных интерфейсов приведены в таблицах с 8-7 по 8-18.

**Таблица 8-7 – Параметры и значения одноканального IrDI для приложений внутростанционной связи и связи на малые расстояния с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 2.5G**

Параметр	Единицы измерения	P111-1D1	P1S1-1D1	P1S1-1D2
<b>Общая информация</b>	–	Примечание	Примечание	Примечание
Максимальное число каналов	–	1	1	1
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	$10^{-12}$	$10^{-12}$	$10^{-12}$
Тип волокна	–	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652
<b>Интерфейс в точке MPI-S</b>				
Диапазон рабочих длин волны	нм	1266–1360	1260–1360	1530–1565
Тип источника		MLM	SLM	SLM
Максимальная среднеквадратичная ширина ( $\sigma$ )	нм	3,4	NA	NA
Максимальная ширина на уровне –20 дБ	нм	NA	1	< 1
Максимальная спектральная плотность мощности	мВт/ 10 МГц	FFS	FFS	FFS
Минимальный коэффициент подавления боковых мод	дБ	NA	30	30
Максимальная средняя выходная мощность	дБм	–3	0	0
Минимальная средняя выходная мощность	дБм	–10	–5	–5
Минимальный коэффициент экстинкции	дБ	8,2	8,2	8,2
Маска "глаза"	–	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G
<b>Оптический тракт от точки MPI-S до точки MPI-R</b>				
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	6	11	11
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	0	0	0
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	$\pm 12$	$\pm 140$	800
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	$\pm 12$	$\pm 140$	715
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S	дБ	14	14	14
Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками MPI-S и MPI-R	дБ	–27	–27	–27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	120	120	120
<b>Интерфейс в точке MPI-R</b>				
Максимальная введенная мощность	дБм	–3	0	0
Минимальная чувствительность	дБм	–17	–17	–17
Максимальные потери на оптическом тракте	дБ	1	1	1
Максимальный коэффициент отражения оптического сетевого элемента	дБ	–14	–14	–14
ПРИМЕЧАНИЕ. – Значения параметров для этих прикладных кодов в значительной степени основаны на [ITU-T G.957].				

**Таблица 8-8 – Параметры и значения одноканального IrDI для приложений связи на большие расстояния с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 2.5G**

Параметр	Единицы измерения	P1L1-1D1	P1L1-1D2	1L1-1D2F
<b>Общая информация</b>		Примечание 1	Примечание 1	
Максимальное число каналов	–	1	1	1
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G	С использованием FEC в OTU1 с NRZ
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	$10^{-12}$	$10^{-12}$	$10^{-12}$ (Примечание 2)
Тип волокна	–	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652
<b>Интерфейс в точке MPI-S</b>				
Диапазон рабочих длин волны	нм	1280–1335	1530–1565	1530–1565
Тип источника		SLM	SLM	SLM
Максимальная среднеквадратичная ширина ( $\sigma$ )	нм	NA	NA	NA
Максимальная ширина на уровне –20 дБ	нм	1	1	1
Максимальная спектральная плотность мощности	мВт/ 10 МГц	FFS	FFS	FFS
Минимальный коэффициент подавления боковых мод	дБ	30	30	30
Максимальная средняя выходная мощность	дБм	+3	+3	+3
Минимальная средняя выходная мощность	дБм	–2	–2	–2
Минимальный коэффициент экстинкции	дБ	8,2	8,2	8,2
Маска "глаза"	–	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G
<b>Оптический тракт от точки MPI-S до точки MPI-R</b>				
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	22	22	24
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	12	12	12
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	$\pm 180$	1600	1600
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	$\pm 180$	1430	1430
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S	дБ	24	24	24
Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками MPI-S и MPI-R	дБ	–27	–27	–27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	120	120	120
<b>Интерфейс в точке MPI-R</b>				
Максимальная введенная мощность	дБм	–9	–9	–9
Минимальная чувствительность	дБм	–25	–26	–28
Максимальные потери на оптическом тракте	дБ	1	2	2
Максимальный коэффициент отражения оптического сетевого элемента	дБ	–27	–27	–27
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Значения параметров для этих прикладных кодов в значительной степени основаны на [ITU-T G.957]. ПРИМЕЧАНИЕ 2. – BER для этих прикладных кодов должен соответствовать требованиям только после коррекции ошибок (если она используется). Поэтому BER на входе декодера FEC может значительно превышать $10^{-12}$ .				

**Таблица 8-9 – Параметры и значения одноканального IrDI для приложений связи на сверхбольшие расстояния с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 2.5G**

Параметр	Единицы измерения	P1U1-1A2	P1U1-1A3	P1U1-1A5	1U1-1B2F 1U1-1B5F	1U1-1B3F
Прикладной код МСЭ-Т G.691		U-16.2	U-16.3	–	–	–
<b>Общая информация</b>		(Примечание 1)	(Примечание 1)			
Максимальное число каналов	–	1	1	1	1	1
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G	С использованием FEC в OTU1 с NRZ	С использованием FEC в OTU1 с NRZ
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	$10^{-12}$	$10^{-12}$	$10^{-12}$	$10^{-12}$ (Примечание 2)	$10^{-12}$ (Примечание 2)
Тип волокна	–	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.653	МСЭ-Т G.655	МСЭ-Т G.652, МСЭ-Т G.655	МСЭ-Т G.653
<b>Интерфейс в точке MPI-S</b>						
Диапазон рабочих длин волны	нм	1530–1565	1530–1565	1530–1565	1530–1565	1530–1565
Тип источника		SLM	SLM	SLM	SLM	SLM
Максимальная спектральная плотность мощности	мВт/ 10 МГц	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Минимальный коэффициент подавления боковых мод	дБ	30	30	30	30	30
Максимальная средняя выходная мощность	дБм	+15	+15	+15	+18	+18
Минимальная средняя выходная мощность	дБм	+12	+12	+12	+15	+15
Минимальный коэффициент экстинкции	дБ	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2
Маска "глаза"	–	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G
<b>Оптический тракт от точки MPI-S до точки MPI-R</b>						
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	44	44	44	44	44
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	33	33	33	27	27
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	3200	±550	1700	3200 для МСЭ-Т G.652, 1700 для МСЭ-Т G.655	±550 (Примечание 3)



**Таблица 8-9 – Параметры и значения одноканального IrDI для приложений связи на сверхбольшие расстояния с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 2.5G**

Параметр	Единицы измерения	P1U1-1A2	P1U1-1A3	P1U1-1A5	1U1-1B2F 1U1-1B5F	1U1-1B3F
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	2860	±550	1390	2860 для МСЭ-Т G.652, 1390 для МСЭ-Т G.655	±550 (Примечание 3)
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S	дБ	24	24	24	24	24
Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками MPI-S и MPI-R	дБ	-27	-27	-27	-27	-27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	120	120	120	120	120
<b>Интерфейс в точке MPI-R</b>						
Максимальная введенная мощность	дБм	-18	-18	-18	-9	-9
Минимальная чувствительность	дБм	-34	-33	-34	-31	-30
Максимальные потери на оптическом тракте	дБ	2	1	2	2	1
Максимальный коэффициент отражения оптического сетевого элемента	дБ	-27	-27	-27	-27	-27
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Значения параметров для этих прикладных кодов в значительной степени основаны на [ITU-T G.691].</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – BER для этого прикладного кода должен соответствовать требованиям только после коррекции ошибок (если она используется). Поэтому BER на входе декодера FEC может значительно превышать <math>10^{-12}</math>.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Для оптических волокон МСЭ-Т G.653 некоторые комбинации длин волн передатчика и длин волн нулевой дисперсии волокон могут привести к негативной дисперсии в канале. Надлежащая работа в этом режиме не проверялась на уровнях мощности, требуемых для этого приложения. Для того чтобы избежать такой ситуации может потребоваться совместная разработка соединения провайдером канала и производителем системы.</p>						

**Таблица 8-10 – Параметры и значения одноканального IrDI для приложений  
внутристанционной связи с использованием оптических трибутарных сигналов  
класса NRZ 10G**

Параметр	Единицы измерения	P111-2D2	P111-2D3	P111-2D5
Прикладной код МСЭ-Т G.691		I-64.2	I-64.3	I-64.5
<b>Общая информация</b>				
Максимальное число каналов	–	1	1	1
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	NRZ 10G	NRZ 10G	NRZ 10G
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup>
Тип волокна	–	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.653	МСЭ-Т G.655
<b>Интерфейс в точке MPI-S</b>				
Диапазон длин рабочих волн	Нм	1500–1565	1500–1565	1500–1565
Тип источника		SLM	SLM	SLM
Максимальная плотность спектральной мощности	мВт/ 10 МГц	FFS	FFS	FFS
Минимальный коэффициент подавления боковых мод	дБ	30	30	30
Максимальная средняя выходная мощность	дБм	–1	–1	–1
Минимальная средняя выходная мощность	дБм	–5	–5	–5
Минимальный коэффициент экстинкции	дБ	8,2	8,2	8,2
Маска "глаза"	–	NRZ 10G диапазон 1550 нм	NRZ 10G диапазон 1550 нм	NRZ 10G диапазон 1550 нм
<b>Оптический тракт из точки MPI-S в точку MPI-R</b>				
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	7	7	7
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	0	0	0
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	500	±150	270
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	400	±150	180
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S	дБ	24	24	24
Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками MPI-S и MPI-R	дБ	–27	–27	–27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	30	30	30
<b>Интерфейс в точке MPI-R</b>				
Максимальная средняя введенная мощность	дБм	–1	–1	–1
Минимальная чувствительность	дБм	–14	–13	–13
Максимальные потери на оптическом тракте	дБ	2	1	1
Максимальный коэффициент отражения элемента оптической сети	дБ	–27	–27	–27

**Таблица 8-11 – Параметры и значения одноканального IrDI для приложений связи на малые расстояния с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 10G и волокна MCЭ-Т G.652**

Параметр	Единицы измерения	P1S1-2D1	P1S1-2D2a	P1S1-2D2b	1S1-2D2bF
Прикладной код MCЭ-Т G.691 (Примечание 1)		S-64.1	S-64.2a	S-64.2b	
<b>Общая информация</b>					
Максимальное число каналов	–	1	1	1	1
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	NRZ 10G	NRZ 10G	NRZ 10G	С использованием FEC в OTU2 с NRZ
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	$10^{-12}$	$10^{-12}$	$10^{-12}$	$10^{-12}$ (Примечание 2)
Тип волокна	–	MCЭ-Т G.652	MCЭ-Т G.652	MCЭ-Т G.652	MCЭ-Т G.652
<b>Интерфейс в точке MPI-S</b>					
Диапазон длин рабочих волн	нм	1290–1330	1530–1565	1530–1565	1530–1565
Тип источника	–		SLM	SLM	SLM
Максимальная плотность спектральной мощности	мВт/10 МГц	FFS	FFS	FFS	FFS
Минимальный коэффициент подавления боковых мод	дБ	30	30	30	30
Максимальная средняя выходная мощность	дБм	+5	–1	+2	+2
Минимальная средняя выходная мощность	дБм	+1	–5	–1	–2
Минимальный коэффициент экстинкции	дБ	6	8,2	8,2	8,2
Маска "глаза"	–	NRZ 10G диапазон 1310 нм	NRZ 10G диапазон 1550 нм	NRZ 10G диапазон 1550 нм	NRZ 10G диапазон 1550 нм
<b>Оптический тракт из точки MPI-S в точку MPI-R</b>					
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	11	11	11	12
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	6	7	3	3
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	$\pm 70$	800	800	800
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	$\pm 70$	720	720	720
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S	дБ	14	24	24	24
Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками MPI-S и MPI-R	дБ	–27	–27	–27	–27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	30	30	30	30
<b>Интерфейс в точке MPI-R</b>					
Максимальная средняя входная мощность	дБм	–1	–8	–1	–1
Минимальная чувствительность	дБм	–11	–18	–14	–16
Максимальные потери на оптическом тракте	дБ	1	2	2	2
Максимальный коэффициент отражения элемента оптической сети	дБ	–14	–27	–27	–27
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Прикладные коды с суффиксом "а" имеют уровни мощности передатчика, соответствующие приемникам APD; прикладные коды с суффиксом "б" имеют уровни мощности передатчика, соответствующие приемникам PIN.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – BER для этого прикладного кода должен соответствовать требованиям только после коррекции ошибок (если она используется). Поэтому BER на входе декодера FEC может значительно превышать <math>10^{-12}</math>.</p>					

**Таблица 8-12 – Параметры и значения одноканального IrDI для приложений связи на малые расстояния с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 10G и волокон MCЭ-Т G.653 и MCЭ-Т G.655**

Параметр	Единицы измерения	P1S1-2D3a P1S1-2D5a	P1S1-2D3b P1S1-2D5b	1S1-2D3bF 1S1-2D5bF
Прикладной код MCЭ-Т G.691 (Примечание 1)		S-64.3a S-64.5a	S-64.3b S-64.5b	
<b>Общая информация</b>				
Максимальное число каналов	–	1	1	1
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	NRZ 10G	NRZ 10G	С использованием FEC в OTU2 с NRZ
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup> (Примечание 2)
Тип волокна	–	MCЭ-Т G.653, MCЭ-ТG.655	MCЭ-ТG.653, MCЭ-Т G.655	MCЭ-Т G.653, MCЭ-Т G.655
<b>Интерфейс в точке MPI-S</b>				
Диапазон длин рабочих волн	ни	1530–1565	1530–1565	1530–1565
Тип источника	–	SLM	SLM	SLM
Максимальная плотность спектральной мощности	мВт/ 10МГц	FFS	FFS	FFS
Минимальный коэффициент подавления боковых мод	дБ	30	30	30
Максимальная средняя выходная мощность	дБм	–1	+2	+2
Минимальная средняя выходная мощность	дБм	–5	–1	–2
Минимальный коэффициент экстинкции	дБ	8,2	8,2	8,2
Маска "глаза"	–	NRZ 10G диапазона 1550 нм	NRZ 10G диапазона 1550 нм	NRZ 10G диапазона 1550 нм
<b>Оптический тракт из точки MPI-S в точку MPI-R</b>				
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	11	11	12
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	7	3	3
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	±140 для MCЭ-Т G.653, 430 для MCЭ-Т G.655	±140 для MCЭ-Т G.653, 430 для MCЭ-Т G.655	±140 для MCЭ-Т G.653, 430 для MCЭ-Т G.655
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	±140 для MCЭ-Т G.653, 350 для MCЭ-Т G.655	±140 для MCЭ-Т G.653, 350 для MCЭ-Т G.655	±140 для MCЭ-Т G.653, 350 для MCЭ-Т G.655
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S	дБ	24	24	24
Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками MPI-S и MPI-R	дБ	–27	–27	–27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	30	30	30
<b>Интерфейс в точке MPI-R</b>				
Максимальная средняя входная мощность	дБм	–8	–1	–1
Минимальная чувствительность	дБм	–17	–13	–15
Максимальные потери на оптическом тракте	дБ	1	1	1
Максимальный коэффициент отражения элемента оптической сети	дБ	–27	–27	–27
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Прикладные коды с суффиксом "а" имеют уровни мощности передатчика, соответствующие приемникам APD; прикладные коды с суффиксом "b" имеют уровни мощности передатчика, соответствующие приемникам PIN.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – BER для этих прикладных кодов должен соответствовать требованиям только после коррекции ошибок (если она используется). Поэтому BER на входе декодера FEC может значительно превышать 10<sup>-12</sup>.</p>				

**Таблица 8-13 – Параметры и значения одноканального IrDI для приложений связи на большие расстояния с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 10G**

Параметр	Единицы измерения	P1L1-2D1	P1L1-2D2	1L1-2D2F
Прикладной код МСЭ-Т G.691		L-64.1	–	–
<b>Общая информация</b>				
Максимальное число каналов	–	1	1	1
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	NRZ 10G	NRZ 10G	С использованием FEC в OTU2 с NRZ
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	$10^{-12}$	$10^{-12}$	$10^{-12}$ (Примечание)
Тип волокна	–	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652
<b>Интерфейс в точке MPI-S</b>				
Диапазон рабочих длин волн	нм	1290–1320	1530–1565	1530–1565
Тип источника	–	SLM	SLM	SLM
Максимальная спектральная плотность мощности	мВт/ 10 МГц	FFS	FFS	FFS
Минимальный коэффициент подавления боковых мод	дБ	30	30	30
Максимальная средняя выходная мощность	дБм	+7	+4	+4
Минимальная средняя выходная мощность	дБм	+3	0	–1
Минимальный коэффициент экстинкции	дБ	6	9	8,2
Маска "глаза"	–	NRZ 10G диапазон 1310 нм	NRZ 10G диапазон 1550 нм	NRZ 10G диапазон 1550 нм
<b>Оптический тракт из точки MPI-S в точку MPI-R</b>				
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	22	22	22
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	16	11	11
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	$\pm 140$	1600	1600
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	$\pm 140$	1430	1430
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S	дБ	24	24	24
Максимальный дискретный коэффициент ослабления между MPI-S и MPI-R	дБ	–27	–27	–27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	30	30	30
<b>Интерфейс в точке MPI-R</b>				
Максимальная средняя входная мощность	дБм	–9	–7	–7
Максимальная чувствительность	дБм	–20	–24	–25
Минимальные потери на оптическом тракте	дБ	1	2	2
Максимальный коэффициент отражения элемента оптической сети	дБ	–27	–27	–27
ПРИМЕЧАНИЕ. – BER для этих прикладных кодов должен выполняться только после коррекции ошибок (если она используется). Поэтому BER на входе декодера FEC может значительно превышать $10^{-12}$ .				

**Таблица 8-14 – Параметры и значения одноканального IrDI для приложений связи на очень большие расстояния с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 10G**

Параметр	Единицы измерения	P1V1-2C2	1V1-2C2F	P1V1-2B5	1V1-2B5F
<b>Общая информация</b>					
Максимальное число каналов	–	1	1	1	1
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	NRZ 10G	С использованием FEC в OTU2 с NRZ	NRZ 10G	С использованием FEC в OTU2 с NRZ
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	$10^{-12}$	$10^{-12}$ (Примечание 1)	$10^{-12}$	$10^{-12}$ (Примечание 1)
Тип волокна	–	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.655	МСЭ-Т G.655
<b>Интерфейс в точке MPI-S</b>					
Диапазон рабочих длин волн	нм	–	–	1530–1565	1530–1565
Центральная частота	ТГц	192,1	192,1	–	–
Максимальная спектральная амплитуда	ГГц	40	40	–	–
Тип источника	–	SLM	SLM	SLM	SLM
Максимальная спектральная плотность мощности	мВт/ 10 МГц	FFS	FFS	FFS	FFS
Минимальный коэффициент подавления боковых мод	дБ	30	30	30	30
Максимальная средняя выходная мощность	дБм	+7	+7	+13	+13
Минимальная средняя выходная мощность	дБм	+4	+3	+10	+10
Минимальный коэффициент экстинкции	дБ	9 (Примечание 2)	9 (Примечание 2)	9	8,2
Маска "глаза"	–	NRZ 10G с усилением	NRZ 10G с усилением	NRZ 10G диапазон 1550 нм	NRZ 10G диапазон 1550 нм
<b>Оптический тракт из точки MPI-S в точку MPI-R</b>					
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	33	33	33	33
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	21	21	20	20
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	2400	2400	1280	1280
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	2400	2400	1050	1050
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S	дБ	24	24	24	24
Максимальный дискретный коэффициент ослабления между MPI-S и MPI-R	дБ	–27	–27	–27	–27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	30	30	30	30
<b>Интерфейс в точке MPI-R</b>					
Максимальная средняя входная мощность	дБм	–14	–14	–7	–7
Максимальная чувствительность	дБм	–30	–31	–24	–24
Минимальные потери на оптическом тракте	дБ	1	1	1	1
Максимальный коэффициент отражения элемента оптической сети	дБ	–27	–27	–27	–27
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – BER для этих прикладных кодов должен соответствовать требованиям только после коррекции ошибок (если она используется). Поэтому BER на входе декодера FEC может значительно превышать $10^{-12}$ . ПРИМЕЧАНИЕ 2. – При наличии фильтра Бесселя-Томсона четвертого порядка указанные значения коэффициента экстинкции для этих прикладных кодов обеспечивать не требуется.					

**Таблица 8-15 – Параметры одноканального IrDI для приложений связи на большие и очень большие расстояния с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 10G и электронной компенсацией дисперсии**

Параметр	Единицы измерения	P1L1-2D2E	1L1-2D2FE	P1V1-2B2E	1V1-2B2FE
<b>Общая информация</b>		(Примечание 1)	(Примечание 1)	(Примечание 1)	(Примечание 1)
Максимальное число каналов	–	1	1	1	1
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	NRZ 10G	С использованием FEC в OTU2 с NRZ	NRZ 10G	С использованием FEC в OTU2 с NRZ
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	$10^{-12}$	$10^{-12}$ (Примечание 2)	$10^{-12}$	$10^{-12}$ (Примечание 2)
Тип волокна	–	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652
<b>Интерфейс в точке MPI-S</b>					
Диапазон рабочих длин волн	нм	FFS	FFS	FFS	FFS
Тип источника	–	SLM	SLM	SLM	SLM
Максимальная спектральная плотность мощности	мВт/ 10 МГц	FFS	FFS	FFS	FFS
Минимальный коэффициент подавления боковых мод	дБ	FFS	FFS	FFS	FFS
Максимальная средняя выходная мощность	дБм	FFS	FFS	FFS	FFS
Минимальная средняя выходная мощность	дБм	FFS	FFS	FFS	FFS
Минимальный коэффициент экстинкции	дБ	FFS	FFS	FFS	FFS
Маска "глаза"	–	FFS	FFS	FFS	FFS
<b>Оптический тракт из точки MPI-S в точку MPI-R</b>					
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	22	22	33	33
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	FFS	FFS	FFS	FFS
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	FFS	FFS	FFS	FFS
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	FFS	FFS	FFS	FFS
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S	дБ	FFS	FFS	FFS	FFS
Максимальный дискретный коэффициент ослабления между MPI-S и MPI-R	дБ	FFS	FFS	FFS	FFS
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	30	30	30	30
<b>Интерфейс в точке MPI-R</b>					
Максимальная средняя входная мощность	дБм	FFS	FFS	FFS	FFS
Максимальная чувствительность	дБм	FFS	FFS	FFS	FFS
Минимальные потери на оптическом тракте	дБ	FFS	FFS	FFS	FFS
Максимальный коэффициент отражения элемента оптической сети	дБ	FFS	FFS	FFS	FFS
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Эти прикладные коды требуют разработки дополнительного параметра для обеспечения надлежащих спектральных характеристик передатчика. Этот параметр изучается. С исходным набором значений вышеупомянутых параметров можно ознакомиться в Дополнении VII.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – BER для этих прикладных кодов должен соответствовать требованиям только после коррекции ошибок (если она используется). Поэтому BER на входе декодера FEC может значительно превышать <math>10^{-12}</math>.</p>					

**Таблица 8-16 – Параметры и значения одноканального IrDI для приложений  
внутристанционной связи с использованием оптических трибутарных сигналов  
класса NRZ 40G**

Параметр	Единицы измерения	P1I1-3D1	I11-3D1F	P1I1-3D3	P1I1-3D5
<b>Общая информация</b>					
Максимальное число каналов	–	1	1	1	1
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	NRZ 40G	С использованием FEC в OTU3 с NRZ	NRZ 40G	NRZ 40G
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	10–12	10–12 (Примечание 1)	10–12	10–12
Тип волокна	–	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.653	МСЭ-Т G.655.D (Примечание 2)
<b>Интерфейс в точке MPI-S</b>					
Диапазон рабочих длин волн	нм	1307–1317	1307–1317	1530–1565	1530–1565
Тип источника	–	SLM	SLM	SLM	SLM
Максимальная спектральная плотность мощности	мВт/ 10 МГц	FFS	FFS	FFS	FFS
Минимальный коэффициент подавления боковых мод	дБ	35	35	35	35
Максимальная средняя выходная мощность	дБм	+4	+4	+3	+3
Минимальная средняя выходная мощность	дБм	0	0	0	0
Минимальный коэффициент экстинкции	дБ	8,2	8,2	8,2	8,2
Маска "глаза"	–	NRZ 40G	NRZ 40G	NRZ 40G	NRZ 40G
<b>Оптический тракт (один участок) от точки MPI-S до точки MPI-R</b>					
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	6	6	5	4
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	0	0	0	0
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	±16	±16	±33	33
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	±16	±16	±33	33
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S	дБ	24	24	24	24
Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками MPI-S и MPI-R	дБ	–27	–27	–27	–27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	7,5	7,5	7,5	7,5
<b>Интерфейс в точке MPI-R</b>					
Максимальная средняя мощность, введенная в канал	дБм	+4	+4	+3	+3
Минимальная чувствительность	дБм	–7	–7	–7	–6
Максимальные потери на оптическом тракте	дБ	1	1	2	2
Максимальный коэффициент отражения оптического сетевого элемента	дБ	–27	–27	–27	–27
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – BER для этих прикладных кодов должен соответствовать требованиям только после коррекции ошибок (если она используется). Поэтому BER на входе декодера FEC может значительно превышать $10^{-12}$ . ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В случае использования волокна МСЭ-Т G.655.E целевое расстояние сокращается.					



**Таблица 8-17 – Параметры и значения одноканального IrDI для приложений связи на малые и большие расстояния с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 40G в диапазоне 1300 нм**

Параметр	Единицы измерения	P1S1-3D1	1S1-3D1F	P1L1-3C1	1L1-3C1F
<b>Общая информация</b>					
Максимальное число каналов	–	1	1	1	1
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	NRZ 40G	С использованием FEC в OTU3 с NRZ	NRZ 40G	С использованием FEC в OTU3 с NRZ
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	$10^{-12}$	$10^{-12}$ (Примечание)	$10^{-12}$	$10^{-12}$ (Примечание)
Тип волокна	–	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652
<b>Интерфейс в точке MPI-S</b>					
Диапазон рабочих длин волн	нм	1310–1314	1310–1314	1310–1314	1310–1314
Тип источника	–	SLM	SLM	SLM	SLM
Максимальная спектральная плотность мощности	мВт/ 10 МГц	FFS	FFS	FFS	FFS
Минимальный коэффициент подавления боковых мод	дБ	35	35	35	35
Максимальная средняя выходная мощность	дБм	+7	+4	+7	+4
Минимальная средняя выходная мощность	дБм	+4	+1	+4	+1
Минимальный коэффициент экстинкции	дБ	8,2	8,2	8,2	8,2
Маска "глаза"	–	NRZ 40G	NRZ 40G	NRZ 40G	NRZ 40G
<b>Оптический тракт (один участок) от точки MPI-S до точки MPI-R</b>					
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	10,5	10,5	20	20
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	3	0	9	6
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	$\pm 27$	$\pm 27$	$\pm 53$	$\pm 53$
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	$\pm 27$	$\pm 27$	$\pm 53$	$\pm 53$
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S	дБ	24	24	24	24
Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками MPI-S и MPI-R	дБ	-27	-27	-27	-27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	7,5	7,5	7,5	7,5
<b>Интерфейс в точке MPI-R</b>					
Максимальная средняя мощность, введенная в канал	дБм	+4	+4	-2	-2
Минимальная чувствительность	дБм	-7,5	-10,5	-18	-21
Максимальные потери на оптическом тракте	дБ	1	1	2	2
Максимальный коэффициент отражения оптического сетевого элемента	дБ	-27	-27	-27	-27
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – BER для этих прикладных кодов должен соответствовать требованиям только после коррекции ошибок (если она используется). Поэтому BER на входе декодера FEC может значительно превышать $10^{-12}$ .					

**Таблица 8-18 – Параметры и значения одноканального IrDI для приложений связи на малые и большие расстояния с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 40G в диапазоне 1550 нм**

Параметр	Единицы измерения	P1S1-3C2 P1S1-3C3 P1S1-3C5	P1L1-3A2 P1L1-3A3 P1L1-3A5	1L1-3C2FD 1L1-3C3FD 1L1-3C5FD	1L1-3C2F 1L1-3C3F 1L1-3C5F
<b>Общая информация</b>					
Максимальное число каналов	–	1	1	1	1
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	NRZ 40G	NRZ 40G	С использованием FEC в OTU3 с NRZ	С использованием FEC в OTU3 с NRZ
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup> (Примечание 3)	10 <sup>-12</sup> (Примечание 3)
Тип волокна	–	МСЭ-Т G.652, МСЭ-Т G.653, МСЭ-Т G.655	МСЭ-Т G.652, МСЭ-Т G.653, МСЭ-Т G.655	МСЭ-Т G.652, МСЭ-Т G.653, МСЭ-Т G.655	МСЭ-Т G.652, МСЭ-Т G.653, МСЭ-Т G.655
<b>Интерфейс в точке MPI-S</b>					
Центральная частота	ТГц	192,1	192,1	192,1	192,1
Максимальное отклонение центральной частоты	ГГц	40	40	40	40
Тип источника	–	SLM	SLM	SLM	SLM
Максимальная плотность спектральной мощности	мВт/ 10 МГц	FFS	FFS	FFS	FFS
Минимальный коэффициент подавления боковых мод	дБ	35	35	35	35
Максимальная средняя выходная мощность	дБм	+3	+8	+5	+5
Минимальная средняя выходная мощность	дБм	-3	+5	+2	+2
Минимальный коэффициент экстинкции	дБ	8,2	10	10	10
Маска "глаза"	–	NRZ 40G	NRZ 40G	NRZ 40G	NRZ 40G
<b>Оптический тракт из точки MPI-S в MPI-R</b>					
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	11	22	22	22
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	0	11	11	11
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	800 для МСЭ-Т G.652, ±120 для МСЭ-Т G.653, 420 для МСЭ-Т G.655	1600 для МСЭ-Т G.652, ±240 для МСЭ-Т G.653, 840 для МСЭ-Т G.655	1600 для МСЭ-Т G.652, ±240 для МСЭ-Т G.653, 840 для МСЭ-Т G.655	1600 для МСЭ-Т G.652, ±240 для МСЭ-Т G.653, 840 для МСЭ-Т G.655
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	800 для МСЭ-Т G.652, ±120 для МСЭ-Т G.653, 420 для МСЭ-Т G.655	1600 для МСЭ-Т G.652, ±240 для МСЭ-Т G.653, 840 для МСЭ-Т G.655	1600 для МСЭ-Т G.652, ±240 для МСЭ-Т G.653, 840 для МСЭ-Т G.655	1600 для МСЭ-Т G.652, ±240 для МСЭ-Т G.653, 840 для МСЭ-Т G.655
Максимальное отклонение хроматической дисперсии	пс/нм	(Примечание 2)	(Примечание 2)	± 80	(Примечание 2)
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S	дБ	24	24	24	24

**Таблица 8-18 – Параметры и значения одноканального IrDI для приложений связи на малые и большие расстояния с использованием оптических трибутарных сигналов класса NRZ 40G в диапазоне 1550 нм**

Параметр	Единицы измерения	P1S1-3C2 P1S1-3C3 P1S1-3C5	P1L1-3A2 P1L1-3A3 P1L1-3A5	1L1-3C2FD 1L1-3C3FD 1L1-3C5FD	1L1-3C2F 1L1-3C3F 1L1-3C5F
Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками MPI-S и MPI-R	дБ	-27	-27	-27	-27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	7,5 (Примечание 1)	7,5 (Примечание 1)	7,5 (Примечание 1)	7,5 (Примечание 1)
<b>Интерфейс в точке MPI-R</b>					
Максимальная средняя входная мощность	дБм	+3	-3	-6	-6
Минимальная чувствительность	дБм	-17	-20	-22	-23
Максимальные потери на оптическом тракте	дБ	3	3	2	3
Минимальный коэффициент отражения элемента оптической сети	дБ	-27	-27	-27	-27
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Некоторые категории волокон MCЭ-Т G.652, MCЭ-Т G.653 и MCЭ-Т G.655 имеют слишком высокий коэффициент PMD, чтобы гарантировать это значение DGD. ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Это значение должно быть согласовано при совместной разработке соединения провайдером канала и производителем системы. ПРИМЕЧАНИЕ 3. – BER для этих прикладных кодов должен соответствовать требованиям только после коррекции ошибок (если она используется). Поэтому BER на входе декодера FEC может значительно превышать $10^{-12}$ .					

## 9 Соображения в отношении оптической безопасности

Соображения в отношении оптической безопасности изложены в [ITU-T G.664].

ПРИМЕЧАНИЕ. – Для уровней оптической мощности, указанных в этой версии настоящей Рекомендации, не является необходимым автоматическое снижение мощности согласно [ITU-T G.664], [IEC 60825-1] и [IEC 60825-2]. Однако будущими версиями настоящей Рекомендации могут устанавливаться уровни мощности, превышающие безопасные. В этом случае для приложений, не относящихся к оптическим транспортным сетям (non-OTN), процедура ALS, определенная в [ITU-T G.664], должна применяться только к отдельным сигнальным клиентским интерфейсам синхронной цифровой иерархии (SDH).

## 10 Управление уровнем мощности

Оставлено для дальнейшего изучения.

## Приложение А

### Конфигурация для метода А оценки одноканальных характеристик в многоканальном IrDI

(Данное Приложение является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

#### А.1 Эталонная конфигурация

В случае многоканального IrDI одноканальные эталонные точки могут использоваться для оценки отдельных переданных сигналов для оценки одноканальных характеристик (коэффициент экстинкции, маски "глаза" и оптических потерь на тракте).

Измерения маски "глаза" выполняются путем формирования одноканального сигнала в эталонной точке  $S_x$  "Диаграммы "глаза" передатчика установки для измерения", приведенной на рисунке В.1 в [ITU-T G.957].

Для оптических потерь на тракте производятся два измерения, показанные на рисунке А.1. Первое измерение (измерение 1) включает измерение мощности, требуемой для достижения эталонного BER, с использованием сигнала в точке  $S_x$ , затем оно повторяется (измерение 2) с использованием сигнала в эталонной точке  $R_x$ .

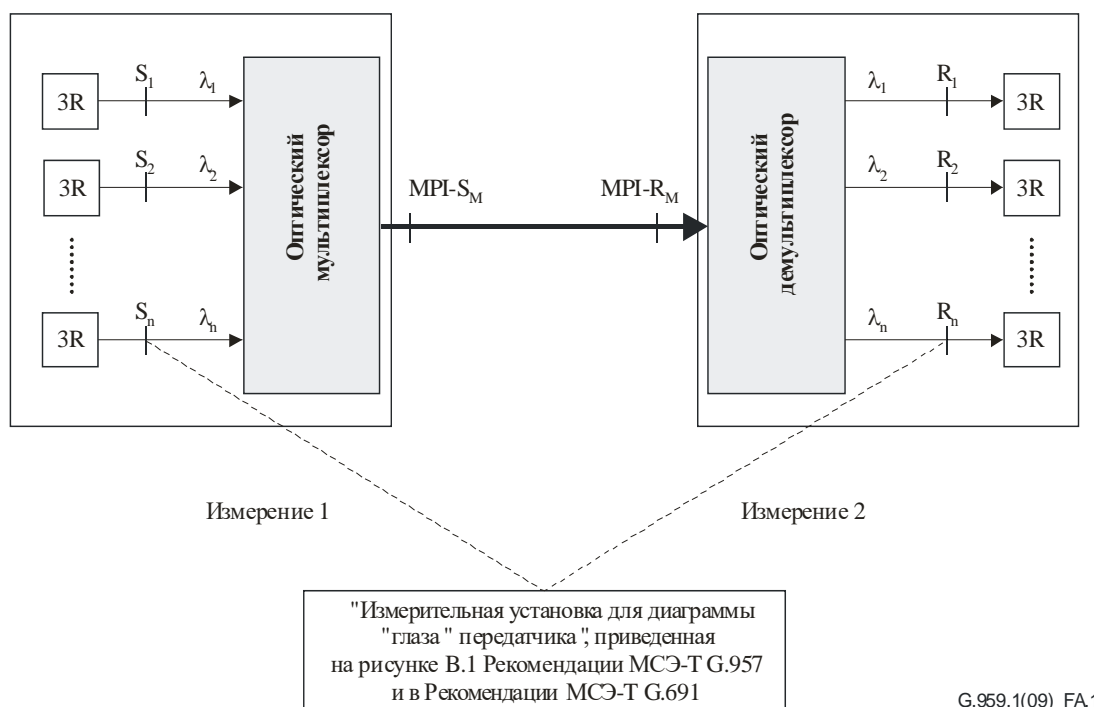


Рисунок А.1 – Конфигурация для метода А

## Приложение В

### Характеристики эталонного оптического полосового фильтра и эталонные характеристики приемника для метода В оценки одноканальных характеристик в многоканальном IrDI

(Данное Приложение является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

#### В.1 Эталонная конфигурация

В случае многоканального IrDI для изоляции отдельных передаваемых сигналов для оценки одноканальных характеристик (коэффициента экстинкции, маски "глаза" и потерь на оптическом тракте) можно использовать эталонный оптический полосовой фильтр.

Измерения маски "глаза" производятся путем формирования сигнала в точке MPI-S<sub>M</sub> в эталонном оптическом полосовом фильтре и направления выходного сигнала в эталонный приемник согласно конфигурации, приведенной в Приложении В к [ITU-T G.957].

В случае определения потерь на оптическом тракте два измерения производятся согласно рисунку В.1. Первое измерение (измерение 1) включает измерение мощности, требуемой для достижения эталонного BER, используя сигнал в точке MPI-S<sub>M</sub>, затем оно повторяется (измерение 2), используя сигнал в точке MPI-R<sub>M</sub>.

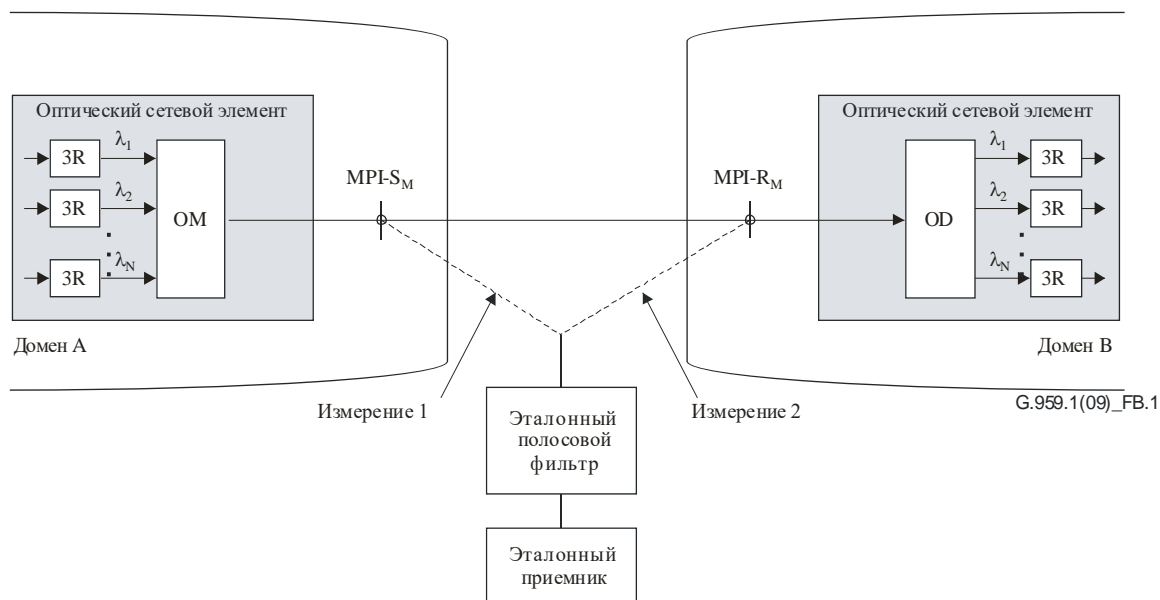


Рисунок В.1 – Конфигурация для метода В

#### В.2 Эталонный оптический полосовой фильтр

Эталонный оптический полосовой фильтр применяется для изоляции отдельных оптических трибутарных сигналов от композитного многоканального сигнала. Он должен иметь адекватные характеристики для обеспечения минимальных помех от соседних сигналов при введении незначительного искажения в испытываемый сигнал. Минимальный набор соответствующих требований приведен в пункте В.2.1.

Для выполнения этой функции применяются несколько технологий, например настраиваемый фильтр или демультиплексор.

## В.2.1 Параметры оптического фильтра

Требования к частотной зависимости эталонного оптического полосового фильтра показаны на рисунке В.2. Значение  $Y$  выбирается таким образом, чтобы измерение отношения мощности  $OTS_i$  к суммарной мощности всех других сигналов превышало 20 дБ.

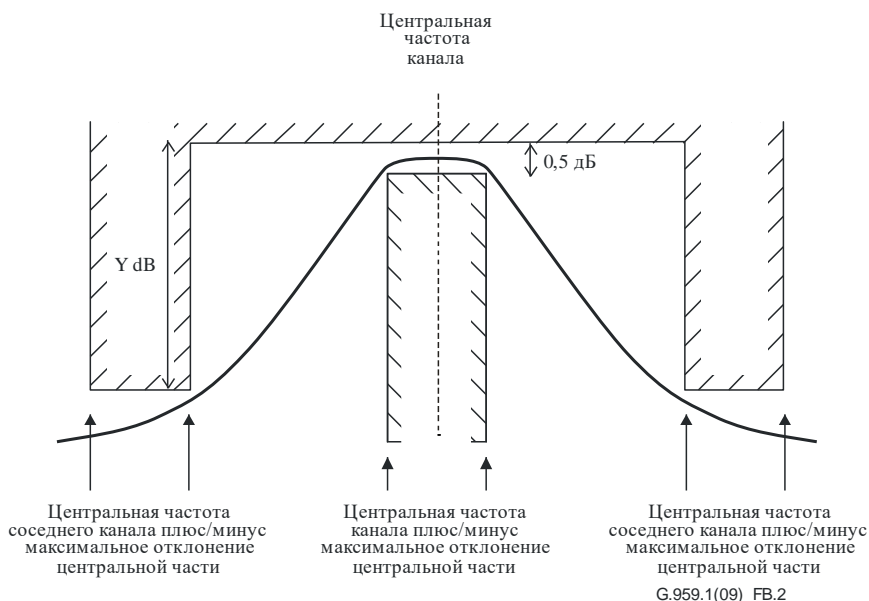


Рисунок В.2 – Частотная характеристика оптического полосового фильтра

Конструкция фильтра должна быть такой, чтобы сигнал с максимальной скоростью не подвергался существенному искажению из-за модуляции по амплитуде и фазе.

## В.3 Эталонный приемник

Это приемник с частотной характеристикой, описанной в Приложении А к [ITU-T G.691], то есть фильтр четвертого порядка Бесселя-Томсона с частотой отсечки, равной 0,75 от рассматриваемой скорости передачи. Значения допусков к этому фильтру приводятся в таблице А.1 к [ITU-T G.691].

Если для измерения BER в целях оценки потерь на оптическом тракте используется эталонный приемник, то порог должен быть откорректирован для обеспечения минимального BER для измерения 1 и затем повторно оптимизирован для измерения 2, чтобы учесть требования различных прикладных кодов и охватить различные реализации конструкции, отвечающие этим прикладным кодам.

При проведении одноканальных тестов для некоторых прикладных кодов может возникнуть необходимость применения в эталонном приемнике предусилителя.

Для различных канальных скоростей передачи сигналов требуются различные характеристики эталонного приемника, это определено в Приложении А к [ITU-T G.691].

## Дополнение I

### Одноканальные клиентские интерфейсы с регенерацией 3R

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

#### I.1 Введение

В настоящем Дополнении приведено описание использования регенерации 3R в клиентских сигнальных интерфейсах в оптические сети OTN. Использование регенерации 3R облегчит соединение таких оптических сетей с существующими транспортными сетями, например, сетями SDH; считается, что это ускорит развертывание OTN по мере созревания оптической сетевой технологии.

#### I.2 Описание клиентских сигнальных интерфейсов с регенерацией 3R

Клиентские сигналы с оптическими характеристиками, которые соответствуют спецификациям физического уровня оптических сетей OTN, например, по длине волны и частоте, могут оказаться привлекательными, поскольку в таких сетях не требуются затраты на преобразования "из оптической формы в электрическую и затем обратно в оптическую форму" (OEO) в сетевых интерфейсах. Однако преобразование OEO может оказаться необходимым для передачи клиентских сигналов из унаследованного оборудования синхронных оптических сетей или синхронной цифровой иерархии (SONET/SDH). Кроме того, для обеспечения взаимодействия использование физически совместимых клиентских сигналов потребует совместной разработки до тех пор, пока не будут согласованы необходимые спецификации физического уровня для оптического интерфейса.

Если описанная выше обработка OEO включает регенерацию 3R плюс любое другое необходимое преобразование, например, преобразование длины волны, то спецификацию оптических параметров физического уровня интерфейса клиента можно взять из описания приложений ближней связи, приведенных в [ITU-T G.957]. Интерфейс клиентского сигнала ближней связи, основанный на использовании регенерации 3R на сетевой стороне интерфейса, может использоваться для унаследованных передатчиков и приемников клиентских сигналов, а также для более новых передатчиков и приемников клиентских сигналов. Этот интерфейс является примером non-OTN междоменного интерфейса (non-OTN\_IrDI), описанного в [ITU-T G.872]. Этот интерфейс показан на рисунке I.1, где  $\lambda_s$  означает длину волны, используемую для ближней связи.

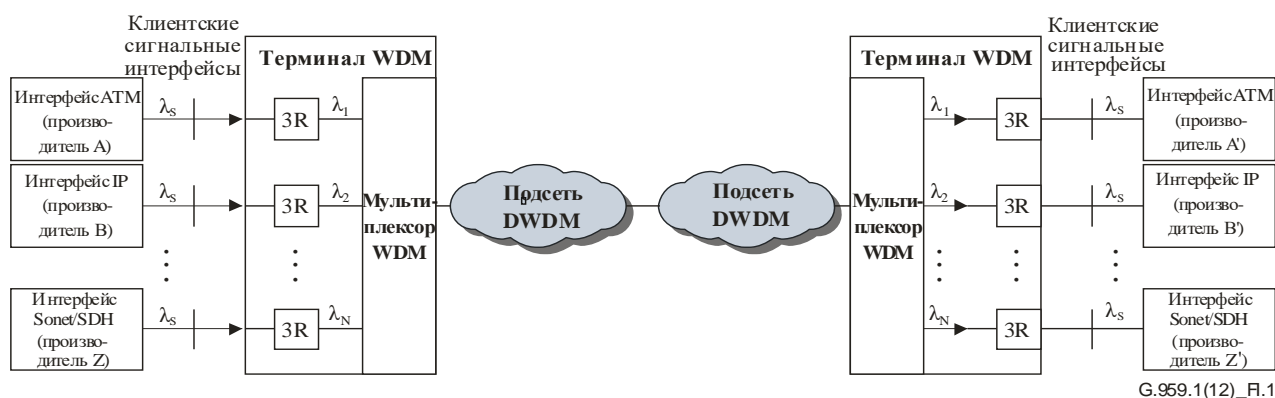


Рисунок I.1 – Пример клиентского сигнального интерфейса с регенерацией 3R

## Дополнение II

### Универсальные эталонные точки в OTN

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

На рисунке II.1 показан набор "универсальных" эталонных точек для оптических сетевых элементов (ONE) в будущей OTN.

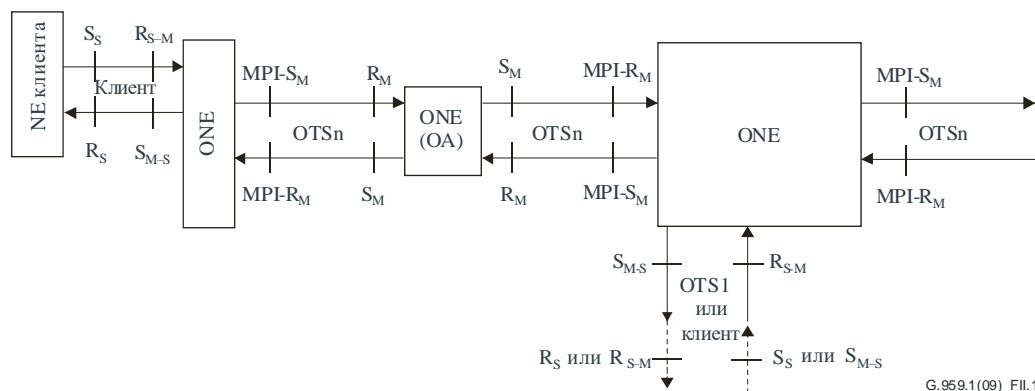


Рисунок II.1 – Универсальные эталонные точки для оптических сетевых элементов

Эталонные точки на рисунке II.1 определены следующим образом:

- $S_S$  – (одноканальная) эталонная точка в оптическом волокне сразу после одноканального сетевого элемента (NE) оптического разъема передатчика;
- $R_S$  – (одноканальная) эталонная точка непосредственно перед оптическим разъемом NE одноканального клиентского приемника;
- $S_{M-S}$  – (одноканальная) эталонная точка сразу после выходного оптического разъема любого трибутарного интерфейса оптического сетевого элемента (нижний индекс "M-S" означает одноканальный выход из системы, которая может быть многоканальной);
- $R_{S-M}$  – это (одноканальная) эталонная точка в оптическом волокне непосредственно перед входным оптическим разъемом любого трибутарного интерфейса оптического сетевого элемента (нижний индекс "S-M" означает одноканальный вход в систему, которая может быть многоканальной);
- $MPI-S_M$  – это (многоканальная) эталонная точка в оптическом волокне сразу после выходного оптического разъема транспортного интерфейса оптического сетевого элемента;
- $MPI-R_M$  – это (многоканальная) эталонная точка в оптическом волокне непосредственно перед входным оптическим разъемом транспортного интерфейса оптического сетевого элемента;
- $S_M$  – это (многоканальная) эталонная точка в оптическом волокне непосредственно перед оптическим разъемом транспортного интерфейса оптического сетевого элемента;
- $R_M$  – это эталонная точка в оптическом волокне непосредственно перед входным оптическим разъемом линейного многоканального ОА;

Клиентские интерфейсы в эталонных точках одноканального источника  $S_S$  и одноканального приемника  $R_S$ , а также эталонные точки многоканального источника  $S_M$  и многоканального приемника  $R_M$  линейных усилителей не входят в сферу применения настоящей Рекомендации.

Термин "оптический сетевой элемент" (ONE) используется для иллюстрации общего случая универсального сетевого элемента в оптической транспортной сети. В целом ONE может иметь:

- 1) только многоканальные интерфейсы;
- 2) только одноканальные интерфейсы; или
- 3) любую комбинацию одноканальных и многоканальных интерфейсов (то есть ONE, приведенный на рисунке II.1, не подразумевают какую-либо определенную конфигурацию).



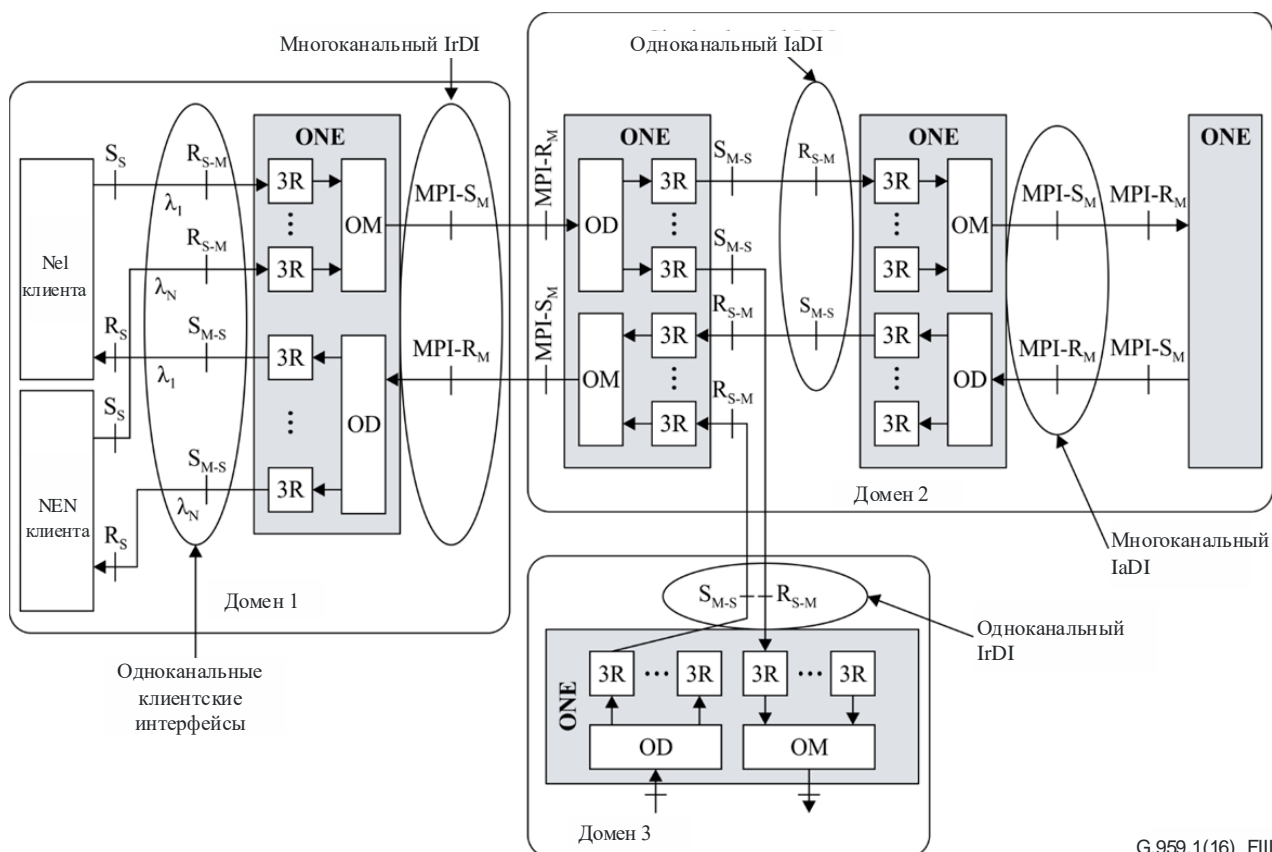
## Дополнение III

### Разъяснение по поводу использования эталонных точек в IrDI и IaDI

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

На рисунке III.1 приведено дальнейшее разъяснение приложения универсальных эталонных точек OTN, указанных в Дополнении II.

Простые оптические сети можно конфигурировать, используя демультиплексоры WDM, соединенные по выходам с мультиплексорами, при этом получается простой оптический мультиплексор с добавлением и выделением каналов (OADM). Они соединены одноканальными интерфейсами. Такое расположение показано на рисунке III.1.



G.959.1(16)\_FIII.1

Рисунок III.1 – Примеры многоканальных и одноканальных междоменных и внутридоменных интерфейсов

## Дополнение IV

### Соображения в отношении реализации управляющих сигналов

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Присутствие сигналов управления оптическими трибутарными сигналами (OTSi), OMS и OTS определено для интерфейсов IaDI OTN и прогнозируется для некоторых будущих IrDI OTN. Соображения в отношении видов физической реализации таких сигналов приведены в пунктах IV.1 и IV.2.

#### IV.1 Реализация сигнала управления оптическими трибутарными сигналами

Могут потребоваться как связанные, так и не связанные с OTSi реализации управляющего сигнала.

Для связанных с OTSi управляющих сигналов в [ITU-T G.709] определен подход "цифровой обертки". В этом методе используется структура цифрового кадра, включающая служебные разряды, байты полезной нагрузки и байты для упреждающей коррекции ошибок.

Связанный с OTSi служебный транспорт с использованием нецифровых (оптических) механизмов, например, модуляции поднесущей частоты (sub-carrier-modulation), также может использоваться в некоторых приложениях; он оставлен для дальнейшего изучения. Дальнейшие системные потери могут быть введены с помощью этих методов.

Оптический управляющий канал (OSC) – это подход, описанный в [ITU-T G.709] для реализации служебных сигналов, не связанных с OTSi. Он обсуждается в пункте IV.2 в контексте управляющих сигналов OMS и OTS.

Служебная информация для каждого OTSi формируется и терминируется на уровне OTSi оптических сетевых элементов.

#### IV.2 Реализация оптического мультиплексного участка и сигнала управления участком оптической передачи

OSC – это отдельный сигнал, который передает дополнительную информацию для управления сетью. Сообщения управления для OMS и OTS вместе с управляющими сообщениями для одного или нескольких OTSi, которые передаются через не связанные с OTSi реализации, совместно используют OSC. Для мониторинга многоканального сигнала в OTS и OMS оптических сетевых элементов OSC может быть предоставлен для каждого направления передачи. OSC формируется и терминируется в каждом оптическом сетевом элементе.

В настоящее время предпочтительная длина волны для OSC определена в [ITU-T G.692]. При определении длины волны OSC в будущем необходимо будет учитывать полную поперечную совместимость и избыточность прикладных кодов.

## Дополнение V

### Система условных обозначений для высшего класса поддерживаемого оптического трибутарного сигнала

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

В пункте 5.3 условное обозначение прикладного кода строится следующим образом:

PnWx-ytz.

В этой структуре y означает наивысший класс поддерживаемого оптического трибутарного сигнала:

- 1 означает класс NRZ 2.5G;
- 2 означает класс NRZ 10G;
- 9 означает класс NRZ 25G;
- 3 означает класс NRZ 40G;
- 7 означает класс RZ 40G;
- 4 означает класс PAM4 50G.

Текущее распределение значений показано в таблице V.1.

**Таблица V.1 – Выделенные значения y  
в условных обозначениях прикладного кода**

Скорость оптического трибутарного сигнала	NRZ	PAM4	RZ
1,25G	0		
2,5G	1		
10G	2		
25G	9		
40G	3		7
50G		4	
100G			

## Дополнение VI

### Приложения с оптическим трибутарным сигналом класса RZ 40G

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Предполагается, что будущая редакция настоящей Рекомендации будет содержать спецификации одноканальных IrDI со скоростью передачи/линейным кодированием класса RZ 40G. Считается, что эти приложения будут допускать более высокую PMD, чем PMD приложений со скоростью передачи/линейного кодирования NRZ 40G.

Характеристики этих приложений изучаются для трех различных коэффициентов заполнения RZ: 33%, 50% и 67%.

- Считается, что допуск по PMD первого уровня будет наивысшим для коэффициента заполнения 67% и самым низким для коэффициента заполнения 33%.
- Однако считается, что допуск по PMD второго уровня будет упорядочен в обратном направлении – наибольший допуск будет при коэффициенте заполнения 67%, а наименьший допуск – при коэффициенте заполнения 33% из-за его более широкого оптического спектра.
- Величина PMD второго уровня, допустимая для любого коэффициента заполнения для данных потерь, зависит от остаточной хроматической дисперсии в детекторе (точка R<sub>D</sub> на рисунке 7-б), которая, в свою очередь, зависит от максимального отклонения хроматической дисперсии в канале и конструкции "черного ящика" приемника. Поскольку при проектировании каналов для таких скоростей максимальное отклонение хроматической дисперсии является критическим фактом в приложениях, не использующих адаптивную компенсации дисперсии, этот параметр устанавливается при совместной разработке соединения провайдером канала и разработчиком системы.

Считается, что список приведенных в таблице VI.1 параметров и значений создаст основу для такого будущего приложения.

**Таблица VI.1 – Параметры и значения одноканального IrDI для оптического трибутарного сигнала класса RZ 40G**

Параметр	Единицы измерения	P1L1-7A2 P1L1-7A3 P1L1-7A5
<b>Общая информация</b>		
Максимальное число каналов	–	1
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	RZ 40G
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	10 <sup>-12</sup>
Тип волокна	–	МСЭ-Т G.652, МСЭ-Т G.653, МСЭ-Т G.655
<b>Интерфейс в точке MPI-S</b>		
Центральная частота	ТГц	192,1
Максимальная спектральная амплитуда	ГГц	40
Тип источника	–	SLM
Максимальный коэффициент заполнения	%	FFS
Минимальный коэффициент заполнения	%	FFS
Максимальная спектральная плотность мощности	мВт/10 МГц	FFS
Минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	35
Максимальная средняя выходная мощность	дБм	+12

**Таблица VI.1 – Параметры и значения одноканального IrDI  
для оптического трибутарного сигнала класса RZ 40G**

Параметр	Единицы измерения	P1L1-7A2 P1L1-7A3 P1L1-7A5
Минимальная средняя выходная мощность	дБм	+9
Минимальный коэффициент экстинкции	дБ	10
Маска "глаза"	–	RZ 40G
<b>Оптический тракт из точки MPI-S в MPI-R</b>		
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	22
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	11
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	1600 для MCЭ-Т G.652, ±240 для MCЭ-Т G.653 (Примечание 1), 840 для MCЭ-Т G.655 (Примечание 1)
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	1600 для MCЭ-Т G.652, ±240 для MCЭ-Т G.653 (Примечание 1), 840 для MCЭ-Т G.655 (Примечание 1)
Максимальное отклонение хроматической дисперсии	пс/нм	(Примечание 2)
Минимальные оптические возвратные потери в MPI-S	дБ	24
Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками MPI-S и MPI-R	дБ	–27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	FFS
<b>Интерфейс в точке MPI-R</b>		
Максимальная средняя введенная мощность	дБм	+1
Минимальная чувствительность	дБм	–16
Максимальные потери на оптическом тракте	дБ	3 (Примечание 1)
Максимальный коэффициент отражения от оптического элемента	дБ	–27
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Каналы, в которых используются волокна MCЭ-Т G.653 или MCЭ-Т G.655, могут иметь слишком большие потери на тракте из-за нелинейных эффектов, которые зависят от точного распределения дисперсии по каналу.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Это значение должно быть согласовано при совместной разработке соединения провайдером канала и производителем системы.</p>		

## Дополнение VII

### Приложения, использующие электронную компенсацию дисперсии

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Ожидается, что пересмотренный вариант настоящей Рекомендации будет содержать значения параметров для приложений P1L1-2D2E, 1L1-2D2FE, P1V1-2B2E и 1V1-2B2FE в таблице 8-15. Эти прикладные коды требуют разработки дополнительного параметра для обеспечения надлежащих спектральных характеристик передатчика. Этот параметр изучается. С исходным набором значений других параметров можно ознакомиться в таблице VII.1.

**Таблица VII.1 – Параметры одноканального IrDI для приложений связи на большие и очень большие расстояния с использованием оптического трибутарного сигнала класса NRZ 10G, использующих электронную компенсацию дисперсии**

Параметр	Единицы измерения	P1L1-2D2E	1L1-2D2FE	P1V1-2B2E	1V1-2B2FE
<b>Общая информация</b>					
Максимальное число каналов	–	1	1	1	1
Скорость передачи/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов	–	NRZ 10G	С использованием FEC в OTU2 с NRZ	NRZ 10G	С использованием FEC в OTU2 с NRZ
Максимальный коэффициент битовых ошибок	–	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup>
Тип волокна	–	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652	МСЭ-Т G.652
<b>Интерфейс в точке MPI-S</b>					
Диапазон рабочих длин волн	нм	1530–1565	1530–1565	1530–1565	1530–1565
Тип источника	–	SLM	SLM	SLM	SLM
Максимальная спектральная плотность мощности	мВт/10 МГц	FFS	FFS	FFS	FFS
Минимальный коэффициент подавления боковых мод	дБ	30	30	30	30
Максимальная средняя выходная мощность	дБм	+4	+4	+14	+14
Минимальная средняя выходная мощность	дБм	0	-1	+11	+11
Минимальный коэффициент экстинкции	дБ	9	8,2	8,2	8,2
Маска "глаза"	–	NRZ 10G диапазон 1550 нм	NRZ 10G диапазон 1550 нм	NRZ 10G диапазон 1550 нм	NRZ 10G диапазон 1550 нм
<b>Оптический тракт из точки MPI-S в точку MPI-R</b>					
Максимальный коэффициент ослабления	дБ	22	22	33	33
Минимальный коэффициент ослабления	дБ	11	11	21	21
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней границе диапазона длин волн	пс/нм	1600	1600	2400	2400

**Таблица VII.1 – Параметры одноканального IrDI для приложений связи на большие и очень большие расстояния с использованием оптического трибутарного сигнала класса NRZ 10G, использующих электронную компенсацию дисперсии**

Параметр	Единицы измерения	P1L1-2D2E	1L1-2D2FE	P1V1-2B2E	1V1-2B2FE
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней границе диапазона длин волн	пс/нм	1430	1430	2150	2150
Минимальные оптические возвратные потери в точке MPI-S	дБ	24	24	24	24
Максимальный дискретный коэффициент ослабления между MPI-S и MPI-R	дБ	-27	-27	-27	-27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	30	30	30	30
<b>Интерфейс в точке MPI-R</b>					
Максимальная средняя входная мощность	дБм	-7	-7	-7	-7
Максимальная чувствительность	дБм	-24	-25	-24	-24
Минимальные потери на оптическом тракте	дБ	2	2	2	2
Максимальный коэффициент отражения элемента оптической сети	дБ	-27	-27	-27	-27

## Библиография

- [b-ITU-T G.871] Recommendation ITU-T G.871/Y.1301 (2000), *Framework of Optical Transport Network Recommendations*.
- [b-ITU-T G-Sup.39] ITU-T G-series Recommendations – Supplement 39 (2016), *Optical system design and engineering considerations*.





## СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия D	Принципы тарификации и учета и экономические и стратегические вопросы международной электросвязи/ИКТ
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	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	Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий
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 протокола Интернет, сети последующих поколений, интернет вещей и "умные" города
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи