

УДК: 621.396

Омецинська Н.В.,кандидат технічних наук
доцент, кафедра вищої математики та
економіко-математичного моделювання
Академії муніципального управління.

АНАЛІЗ РЕГЛАМЕНТОВАНИХ СТАНДАРТАМИ ІЕС І РЕКОМЕНДАЦІЯМИ ІТУ ОПТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОМОДОВИХ ОВ ДЛЯ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ

Анотація. У статті досліджується оптичне волокно як фізичне середовище для високошвидкісної передачі оптичних сигналів на велику відстань. Проведен аналіз регламентованих стандартами ІЕС (Міжнародною електротехнічною комісією) і рекомендаціями ІТУ (ITU-T – International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector (Сектор стандартизації Міжнародного союзу електрозв'язку); проаналізовано характеристики одномодових ОВ (оптичне волокно) для мереж зв'язку. Створення нових ВОСП (волоконно-оптична система передачі) з підвищеною пропускною спроможністю і модернізація існуючих ВОСП супроводжуються підвищенням вимог до характеристик ООВ. Оскільки норми на характеристики ОВ та методи їхнього тестування регулярно переглядаються в зв'язку з появою нових типів ООВ, в стаття подано таблицю відповідності класифікації ООВ згідно із Рекомендаціями ІТУ–Т та із Стандартами ІЕС, в якій проаналізовано інформацію щодо особливостей характеристик різних категорій ООВ і їхнього застосування у швидкодіючих ВОСП; систематизовано норми на ці характеристики в світлі останніх Рекомендацій і розроблено зведену таблицю, що дає їхнє зіставлення для ОВ різних категорій.

Ключові слова: волоконно-оптичний зв'язк, оптичне волокно, дисперсія імпульсу, хроматична дисперсія, матеріальна дисперсія, оптичний діапазон, класифікація одномодових оптичних волокон.

Омецинская Н. В.,кандидат технических наук
доцент, кафедра высшей математики и
экономико-математического моделирования
Академии муниципального управления

АНАЛІЗ РЕГЛАМЕНТИРОВАННЫХ СТАНДАРТАМИ ІЕС И РЕКОМЕНДАЦИЯМИ ІТУ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОМОДОВЫХ ОВ ДЛЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Аннотация В статье исследуется оптическое волокно в качестве физической среды для высокоскоростной передачи оптических сигналов на большое расстояние. Проведен анализ регламентированных стандартами ІЕС (Международной электротехнической комиссией) и рекомендациями ІТУ (ITU-T - International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector - Сектор стандартизации Международного союза электросвязи); проанализировано характеристики одномодовых ОВ (оптическое волокно) для сетей связи. Создание новых ВОСП (волоконно-оптическая система передачи) с повышенной пропускной способностью и модернизация существующих ВОСП сопровождаются повышением

требований к характеристикам ООВ. Поскольку нормы на характеристики ОВ и методы их тестирования регулярно пересматриваются в связи с появлением новых типов ООВ, в статье подано таблицу соответствия классификации ООВ по Рекомендациями ITUT и со Стандартами ИЕС, в которой проанализирована информация об особенностях характеристик различных категорий ООС и их применения в быстродействующих ВОСП; систематизированы нормы на эти характеристики в свете последних рекомендаций и разработаны сводную таблицу, которая дает их сопоставление для ОВ различных категорий.

Ключевые слова: волоконно-оптической связи, оптическое волокно, дисперсия импульса, хроматические дисперсия, материальная дисперсия, оптический диапазон, классификация одномодовых оптических волокон.

Ometsynska N.V.,

Candidate of Science
associate professor of department of
higher mathematics and Economics
and Mathematical Modeling
Academy of Municipal Administration

ANALYSIS REGULATED IEC AND ITU RECOMMENDATIONS OPTICAL CHARACTERISTICS OF SINGLE-MODE OBS FOR COMMUNICATION NETWORKS

Abstract. The article investigates the optical fiber as the physical medium for high-speed transmission of optical signals over a long distance. The analysis of the regulated standards IEC (International Electrotechnical Commission) and the recommendations ITU (ITU-T - International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector - Telecommunication Standardization Sector of the International Telecommunication Union); The characteristics of single-mode OB (optical fiber) for communication networks. Creating new PLAYBACK (fiber-optic transmission system) with increased capacity and modernization of existing PLAYBACK accompanied by increased performance requirements for SBC. Since the rules on the characteristics of agents and methods of testing are reviewed regularly by the emergence of new types of SBC, the article is submitted correspondence table classification GLD on the recommendation ITUT and to IEC, which analyzed information about the features of the characteristics of different categories of environmental protection and their application in PLAYBACK fast; systematized standards for these characteristics in light of recent recommendations and developed a summary table that compares them to OB different categories;

Keywords: optical fiber communication, optical fiber dispersion pulse, chromatic dispersion, material dispersion, optical range, the classification of single-mode optical fibers.

Постановка проблеми. Сучасний ринок оптичного волокна представлено десятками різних типів світловодів, які суттєво різняться своїми характеристиками і вартістю. За модернізації існуючих і розбудови нових ВОЛЗ в кожній конкретній ситуації потрібен оптимальний вибір оптичного кабелю з відповідними ОВ, цей вибір суттєво впливає на вартість, технічні характеристики і тривалість експлуатації мережі передавання інформації в цілому. Тому питання аналізу регламентованих

стандартами ІЕС і рекомендаціями ІТУ та характеристик одномодових ОВ для мереж зв'язку є актуальним.

Аналіз останніх досліджень. Невпинно зростаючі потреби користувачів одержувати інформацію різного типу висувають проблему аналізу та систематизації ООВ. Питанням застосування ОВ в телекомунікаційних мережах приділяють увагу такі науковці як Каток В. Б., Манько А. А., Котенко М.О. Сергієнко І.В. Але комплексному дослідженню питання технічних характеристик ООВ приділено недостатню увагу.

Отже, вирішення проблеми систематизації характеристик різних категорій ООВ і їхнього застосування у швидкодіючих ВОСП є актуальною.

Постановка завдання. Завданням наукової статті є: аналіз регламентованих стандартами ІЕС і рекомендаціями ІТУ оптичних характеристик одномодових ОВ для мереж зв'язку.

Виклад основного матеріалу. У волоконно-оптичному зв'язку для переносу інформаційного сигналу використовуються електромагнітні хвилі (ЕМ-хвилі) ближнього інфрачервоного діапазону оптичного спектра, передавачами слугують напівпровідникові лазери або світлодіоди, а приймачами – фотодіоди. Оптичне випромінення від передавача, модульоване корисним сигналом, передається на відстань по волоконному світловоду – кварцовому оптичному волокну, яке слугує за фізичне передавальне середовище ЕМ-хвиль частотного діапазону $\sim 1,82 \cdot 10^{14} \dots 3,66 \cdot 10^{14}$ Гц.

Використання одномодового ОВ дозволяє збільшити швидкості передачі в розрахунку на один оптичний канал до 160 Гбіт/с, з яких на даний час лише швидкості до 40 Гбіт/с виявились освоєними традиційними системами передачі (SDH, STM–256), залишивши більш високі швидкості солітонним системам.

Відповідно до стандарту ІЕС 60793-2-50 та рекомендацій ІТУ–Т Rec.G.652 – ІТУ–Т Rec.G.657, ООВ за робочим діапазоном довжин хвиль і хроматичною дисперсією поділяються на класи, у межах кожного з яких можливий поділ на категорії залежно від робочих діапазонів довжин хвиль, величин погонного загасання і втрат оптичної потужності на макрозгинах волокна та дисперсії поляризованої моди (ПМД). В Табл. 1.1 приведено відповідність класифікації ООВ згідно із Рекомендаціями ІТУ–Т та із Стандартами ІЕС і систематизовано інформацію щодо особливостей передавальних характеристик різних категорій ООВ.

Приведемо відповідну класифікацію одномодових ОВ для мереж зв'язку і проаналізуємо основні аспекти застосування ООВ різних категорій. За цією класифікацією розрізняють наступні класи ООВ для мереж зв'язку:

а) *Одномодове оптичне волокно з незміщеною дисперсією, що відповідає ITU–T Rec.G.652* (категорії А, В і С, D волокна G.652) або стандартне ООВ.

Волокно категорії G.652.A має характеристики і параметри, необхідні для підтримки додатків SDH-систем (Synchronous digital hierarchy – синхронна цифрова ієрархія), що використовують усі рівні STM (Synchronous transport module – синхронний транспортний модуль) включно до рівня STM–16, описаних у ITU–T Rec.G.957, ITU–T Rec.G.691, і рівень STM–256 із ITU–T Rec.G.693, а також для забезпечення швидкості передачі 10 Гбіт/с на відстань до 40 км (Ethernet). Застосовується в О- і С-оптичних діапазонах.

Волокно категорії G.652.B має характеристики, необхідні для підтримки додатків SDH-систем на швидкостях до рівня STM–64 включно: окремих додатків із ITU–T Rec.G.691, ITU–T Rec.G.692, а також підтримки рівня STM–256 для окремих додатків із ITU–T Rec.G.693, і ITU–T Rec.G.959.1. Це волокно може використовуватися також і в L-діапазоні.

Таблиця 1. Класифікація ООВ згідно із Рекомендаціями ITU–T та стандартами ІЕС і систематизована інформація щодо особливостей різних категорій ООВ

Назва одномодового ОВ	ITU–T (категорія волокна)	ІЕС	Оптичний діапазон, нм	Примітка
1. ООВ з незміщеною дисперсією (стандартне) (волокно оптимізоване за погонним загасанням в оптичному діапазоні з околу 1310 нм та має нуль хроматичної дисперсії і довжину хвилі відсічки поблизу 1300 нм; в околі 1550 нм коефіцієнт дисперсії ~ 16...18 пс/(нм·км))	G.652.A	В1.1	1260÷1360 & 1530÷1565	–
	G.652.B			Зменшен а ПМД
	G.652.C	В1.3	1260÷1625 (згладжено пік втрат на гідроксила х ОН–, 1383 нм)	–
	G.652.D			Зменшен а ПМД
2. ООВ зі зміщеною дисперсією (волокно з нулем хроматичної дисперсії, зміщеним в окіл довжини хвилі 1550 нм, та із монотонно зростаючим за зростання довжини хвилі коефіцієнтом дисперсії, яке оптимізоване для використання в діапазоні довжин хвиль від 1525 до 1575 нм; виконані деякі умови для передачі на більш низьких довжинах хвиль до 1460 нм та на більш високих – до 1625 нм; в деяких випадках	G.653.A	В.2	1525÷1575 1460÷1625	–
	G.653.B			Зменшен а ПМД

може бути використаним також і в околі 1310 нм, з урахуванням обмежень, зазначених у ITU-T Rec.G.653)				
3. Одномодове оптичне волокно зі зміщеною довжиною хвилі відсічки (має нульову дисперсію поблизу довжини хвилі 1300 нм, з мінімізованими втратами і зі зсувом відсічки одномодового ОВ до довжин хвиль поблизу 1550 нм; оптимізоване в діапазоні від 1530 до 1625 нм і може використовуватися для цифрової передачі даних у С-діапазоні на великі відстані; виконані деякі умови для передачі на довжинах хвиль до 1625 нм; в околі 1550 нм коефіцієнт дисперсії ~ 20 пс/(нм·км); наявні три категорії волокна відрізняються основними вимогами на величину діаметра поля моди, коефіцієнт хроматичної дисперсії і ПМД)	G.654.A	В1. 2	1530÷1625	–
	G.654.B			Зменшен а ПМД
	G.654.C			
4. ООВ з ненульовою зміщеною дисперсією (за винятком волокна категорії D, волокна всіх інших категорій у всьому діапазоні довжин хвиль їхнього можливого використання мають ненульову величину хроматичної дисперсії – не змінюється її знак; волокна категорій А, В, С оптимізовані для використання в С-діапазоні довжин хвиль від 1530 до 1565 нм; для волокон категорій В і С виконані деякі умови для використання також і у довгохвильовій області L; волокна категорій D та E дозволяють вести передачу у всьому діапазоні довжин хвиль від 1460 до 1625 нм)	G.655.A	В.4	1530÷1565 & 1565÷1625 & 1460÷1550 & 1550÷1625	–
	G.655.B			–
	G.655.C			Зменшен а ПМД
	G.655.D			Дисперсія може бути від'ємною при $\lambda < 1514$; зменшена ПМД
	G.655.E			Дисперсія додатна; зменшена ПМД
5. ООВ з ненульовою дисперсією для широкосмугового оптичного переносу	G.656.A	–	1460÷1625	Дисперсія додатна
6. Нечутливе до згинних втрат ООВ для мереж доступу (волокна категорії А – підмножина волокон G.652.D, але макрозгинних втрати значно менші; для волокон категорії В здатність до низьких значень втрат на макрозгинах за найменших радіусів згину є домінуючою)	G.657.A	–	1260÷1625 & 1260÷1360 & 1530÷1625	Зменшені втрати оптичної потужності на макрозгинах
	G.657.B			

За характеристиками ОВ категорії G.652.C подібне волокну G.652.A, але працює також і в L-діапазоні та в діапазонах E, S, а волокно категорії G.652.D – волокну G.652.B, але дозволяє передачу також і в діапазонах E, S.

б) Одномодове оптичне волокно зі зміщеною дисперсією, *що відповідає ITU-T Rec. G.653* (категорії A та B волокна G.653).

Волокно категорії G.653.A – для підтримки додатків SDH-систем із ITU-T Rec.G.691, ITU-T Rec.G.692, ITU-T Rec.G.693, ITU-T Rec.G.957, і ITU-T Rec.G.977, з неоднаковою канальною відстанню в околі 1550 нм.

Волокно категорії G.653.B має характеристики, подібні волокну G.653.A, але більш строга вимога на ПМД дозволяє підтримку додатків SDH-систем рівня STM-64 для дистанцій, що перевищують 400 км, а також – рівня STM-256 із ITU-T Rec.G.959.1, в діапазоні довжин хвиль від 1460 до 1625 нм.

в) Одномодове оптичне волокно зі зміщеною довжиною хвилі відсічки, *що відповідає ITU-T Rec. G.654* (категорії A, B та C волокна G.654).

Волокно категорії G.654.A має характеристики, необхідні для підтримки додатків SDH-систем, описаних у ITU-T Rec.G.691, ITU-T Rec.G.692, ITU-T Rec.G.957, та ITU-T Rec.G.977, у C-діапазоні.

Волокно категорії G.654.B має характеристики для підтримки додатків SDH-систем із ITU-T Rec.G.691, ITU-T Rec.G.692, ITU-T Rec.G.957, ITU-T Rec.G.977, ITU-T Rec.G.959.1, за великих довжин прольоту, у C-діапазоні. Застосовне на довших дистанціях і для більш ємнісних WDM-систем (Wavelength Division Multiplexing systems – систем із спектральним поділом каналів) порівняно із G.654.A, наприклад, у підводних системах без регенераторів з віддаленою накачкою ОП, ITU-T Rec.G.973, ITU-T Rec.G.665, і в підводних системах з ОП, описаними в ITU-T Rec.G.977.

Волокно категорії G.654.C має характеристики, подібні до волокна категорії G.654.A, але підтримує додатки із ITU-T Рекомендації G.959.1 з більш високою швидкістю передачі, з прольотами великої довжини.

г) Одномодове оптичне волокно з ненульовою зміщеною дисперсією, *що відповідає ITU-T Rec. G.655* (категорії A, B C, D, E волокна G.655).

За винятком волокна категорії D, волокна всіх інших категорій у всьому діапазоні довжин хвиль їхнього можливого використання не змінюють знаку хроматичної дисперсії. Ненульова дисперсія зменшує ріст нелінійних ефектів (спричиненими залежністю ПЗ волокна від інтенсивності напрямлюваного ним світла), що можуть бути особливо шкідливими у DWDM-системах (Dense Wavelength Division Multiplexing – спектральне розділення каналів з підвищеною щільністю носійних частот). Хроматична дисперсія повинна бути погоджена з функціонуванням

системи. Вимоги на дисперсію впливають із проектування WDM-системи, яке повинне збалансувати дисперсію першого порядку з нелінійними ефектами, такими як чотирихвильове змішування, перехресна фазова модуляція, модуляційна нестійкість, вимушене бриллюенівське розсіювання і формування солітону, ITU–T Rec.G.663.

Волокно категорії G.655.A має характеристики, необхідні для підтримки більшості додатків SDH-систем із ITU–T Rec.G.691, ITU–T Rec.G.692, ITU–T Rec.G.693, та ITU–T Rec.G.959.1, у C-діапазоні. Щодо додатків із ITU–T Rec.G.692, залежно від носійної довжини хвилі в каналі і дисперсійної характеристики конкретного волокна, максимальне значення повної вхідної потужності може бути обмеженим. Обмеженим може бути також і мінімальне рознесення каналів (типова величина – 200 ГГц).

Волокно категорії G.655.B має характеристики, необхідні для підтримки додатків SDH-систем із ITU–T Rec.G.691, ITU–T Rec.G.692, ITU–T Rec.G.693, та ITU–T Rec.G.959.1, у C-діапазоні. Виконано деякі умови для передачі на довжинах хвиль до 1625 нм. Відносно додатків з ITU–T Rec.G.692, залежно від носійної довжини хвилі в каналі і дисперсійної характеристики конкретного волокна повна вхідна потужність дещо вища порівняно з волокном категорії G.655.A, а типове мінімальне рознесення каналів – 100 ГГц чи менше. Вимоги на величину ПМД дозволяють працювати SDH-системам рівня STM-64 з дистанціями принаймні довжиною 400 км.

Волокно категорії G.655.C за характеристиками подібне до волокна категорії G.655.B, але завдяки більш строгому обмеженню на ПМД, дозволяє працювати SDH-системам рівня STM-64 з дистанціями до 2000 км, залежно від інших компонентів системи передачі. Це волокно забезпечує підтримку оптичних інтерфейсів, описаних в ITU–T Rec.G.691, ITU–T Rec.G.959.1, ITU–T Rec.G.693, та підтримку DWDM систем з рознесенням каналів, визначеним у ITU–T Rec.G.694.1, залежно від мінімальної дисперсії. За від'ємної дисперсії застосовне в лініях з керуванням дисперсією, наприклад, у підводних лініях.

Для волокон категорій G.655.D і G.655.E підтримуються ті самі додатки, що і для волокна G.655.C. Для довжин хвиль, більших від 1530 нм, дисперсія додатна і її величина достатня для зниження більшості спотворень сигналу через нелінійні ефекти. Дисперсія волокна категорії G.655.D для довжин хвиль, менших від 1514 нм, може проходити через нуль, але це волокно може використовуватися для підтримки додатків CWDM-систем (Coarse Wavelength Division Multiplexing systems – систем з грубим спектральним поділом каналів) з каналами 1471 нм і вище, що не мають істотних спотворень через нелінійні впливи. Дисперсія волокна категорії G.655.E у діапазоні від 1460 до 1625 нм додатна і її величина в

певних частинах цього діапазону може бути більшою порівняно з відповідними значеннями дисперсії волокна G.655.D, що є важливим для деяких WDM-систем, наприклад, для систем з малим рознесенням каналів.

Волокна класу G.655 мають багато застосувань у складі кабелів, призначених для прокладання по морському дну. Повна оптимізація для деяких підводних застосувань може привести до вибору інших граничних значень параметрів волокна порівняно з регламентованими в ITU-T Rec.G.655. Наприклад, довжина хвилі відсічки одномодового волокна в кабелі може перевищувати 1500 нм.

д) *Одномодове оптичне волокно з ненульовою дисперсією для широкосмугового оптичного переносу, що відповідає ITU-T Rec.G.656* (категорія волокна G.656). Це волокно з хроматичною дисперсією, що додатна і більша від деякого ненульового значення у діапазоні довжин хвиль від 1460 до 1625 нм, де воно може бути використаним для підтримки додатків CWDM- і DWDM-систем. Волокно має характеристики, необхідні для підтримки більшості додатків SDH-систем із ITU-T Rec.G.691, ITU-T Rec.G.692, ITU-T Rec.G.693, ITU-T Rec.G.695, ITU-T Rec.G.959.1. Щодо додатків із ITU-T Rec.G.692, залежно від носійної довжини хвилі в каналі і дисперсійної характеристики конкретного волокна повна вхідна потужність може бути обмеженою, а типове мінімальне рознесення каналів – 100 ГГц чи менше. Вимоги на ПМД дозволяють працювати 40 Гбіт/с-системам SDH із ITU-T Rec.G.959.1.

е) *Одномодове оптичне волокно, нечутливе до згинних втрат, для мереж доступу, що відповідає ITU-T Rec.G.657* (категорії А, В волокна G.657). Це волокно призначене для широкосмугових оптичних мереж доступу, і оптимізоване за втратами оптичної потужності на його макрозгинах. Поліпшені макрозгинні властивості волокна та кабелю забезпечують системи передачі з низьким радіусом монтажу в приміщеннях устаткування зв'язку і приміщеннях абонентів в багатоквартирних та в окремих житлових будинках.

Волокна категорії G.657.A призначені для використання як в мережах доступу так і в інших частинах загальної мережі, в O – L оптичних діапазонах.

Волокно категорії G.657.B має низькі значення втрат на макрозгинах при найменших радіусах згину і переважно призначається для використання всередині приміщень, а також безпосередньо зовні приміщень. Ці волокна – для використання в O, C і L оптичних діапазонах для обмежених дистанцій передачі.

Висновки. В статті проаналізовано характеристики одномодових оптичних волокон різних типів для мереж зв'язку згідно з рекомендаціями ITU-T. Розглянуто класифікацію одномодових ОВ для мереж зв'язку, яка відповідає стандартам ІЕС і рекомендаціям ITU-T.

Використані джерела інформації:

1. IEC 60793-2-50, Optical fibres - Part 2-50: Product specifications - Sectional specification for class B single-mode fibres..
2. ITU-T Recommendation G.652 , Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.
3. ITU-T Recommendation G.653, Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.
4. ITU-T Recommendation G.654 , Characteristics of a cut-off shifted single-mode optical fibre and cable.
5. ITU-T Recommendation G.655 , Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable..
6. ITU-T Recommendation G.656 , Characteristics of a fibre and cable with non-zero dispersion for wideband optical transport.
7. ITU-T Recommendation G.657, Characteristics of a bending loss insensitive single mode optical fibre and cable for the access network.
8. ITU-T Recommendation G.957, Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy.
9. ITU-T Recommendation G.691, Optical interfaces for single-channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers
10. ITU-T Recommendation G.693, Optical interfaces for intra-office systems.
11. ITU-T Recommendation G.692, Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.
12. ITU-T Recommendation G.959.1, Optical transport network physical layer interfaces.
13. ITU-T Recommendation G.977, Characteristics of optically amplified optical fibre submarine cable systems.
14. ITU-T Recommendation G.973, Characteristics of repeaterless optical fibre submarine cable systems.
15. ITU-T Recommendation G.665, Generic characteristics of Raman amplifiers and Raman amplified subsystems.
16. ITU-T Recommendation G.663, Application related aspects of optical fibre amplifier devices and sub-systems.
17. ITU-T Recommendation G.694.1 , Spectral grids for WDM applications, DWDM frequency grid.
18. ITU-T Recommendation G.695 , Optical interfaces for coarse wavelength division multiplexing applications.
19. ITU-T Recommendation G.983.1, Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON).

References:

1. IEC 60793-2-50, Optical fibres - Part 2-50: Product specifications - Sectional specification for class B single-mode fibres..
2. ITU-T Recommendation G.652 , Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.
3. ITU-T Recommendation G.653, Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.
4. ITU-T Recommendation G.654 , Characteristics of a cut-off shifted single-mode optical fibre and cable.
5. ITU-T Recommendation G.655 , Characteristics of a non-zero dispersion-shifted

- single-mode optical fibre and cable..
6. ITU-T Recommendation G.656 , Characteristics of a fibre and cable with non-zero dispersion for wideband optical transport.
 7. ITU-T Recommendation G.657, Characteristics of a bending loss insensitive single mode optical fibre and cable for the access network.
 8. ITU-T Recommendation G.957, Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy.
 9. ITU-T Recommendation G.691, Optical interfaces for single-channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers
 10. ITU-T Recommendation G.693, Optical interfaces for intra-office systems.
 11. ITU-T Recommendation G.692, Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.
 12. ITU-T Recommendation G.959.1, Optical transport network physical layer interfaces.
 13. ITU-T Recommendation G.977, Characteristics of optically amplified optical fibre submarine cable systems.
 14. ITU-T Recommendation G.973, Characteristics of repeaterless optical fibre submarine cable systems.
 15. ITU-T Recommendation G.665, Generic characteristics of Raman amplifiers and Raman amplified subsystems.
 16. ITU-T Recommendation G.663, Application related aspects of optical fibre amplifier devices and sub-systems.
 17. ITU-T Recommendation G.694.1 , Spectral grids for WDM applications, DWDM frequency grid.
 18. ITU-T Recommendation G.695 , Optical interfaces for coarse wavelength division multiplexing applications.
 19. ITU-T Recommendation G.983.1, Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON).

Рецензент: Дубко В.О.