

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 24.09.2024 23:10:46
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6068ab013a5d426d39e5f1211ea0b173e745d74a4851fda5b0d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреж-
дение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
« 17 » 09 2024 г.



АППАРАТУРА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ СО СПЕКТРАЛЬНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Методические указания по выполнению лабораторной работы для студентов направления подготовки 11.04.02 «Информационные технологии и системы связи» направленность «Проектирование устройств, систем и сетей телекоммуникаций» по дисциплине «Волоконная оптика в телекоммуникациях»

УДК 004.716

Составители: А. А. Гуламов, А.А. Чуев

Рецензент

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,
Зав. кафедры КПиСС *В.Г. Андронов*

Аппаратура волоконно-оптических систем передачи со спектральным разделением каналов: методические указания по выполнению лабораторной работы для студентов направления подготовки 11.04.02 «Информационные технологии и системы связи» направленность «Проектирование устройств, систем и сетей телекоммуникаций»/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.А. Гуламов, А.А. Чуев. - Курск, 2024. – 26 с.: ил. 1, табл. 8. – Библиогр.: с. 21.

Методические указания по выполнению лабораторной работы содержат теоретические сведения и практические рекомендации, необходимые для освоения принципов и методов расчёта волоконно-оптических систем передач со спектральным разделением каналов.

Методические указания соответствуют учебному плану обучающихся по направлению подготовки 11.04.02 «Информационные технологии и системы связи» направленность «Проектирование устройств, систем и сетей телекоммуникаций» по дисциплине «Волоконная оптика в телекоммуникациях».

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.04.02 «Информационные технологии и системы связи» направленность «Проектирование устройств, систем и сетей телекоммуникаций» по дисциплине «Волоконная оптика в телекоммуникациях».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать *17.09.24*. Формат 60x84/16.
Усл. печ. л. 1,51. Уч.-изд. л. 1,37. Тираж 100 экз. Заказ. *806* Бесплатно
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Содержание

Инструкция по технике безопасности	- 4
1 Цель работы	- 9
2 Общие сведения о ВОСП со спектральным разделением	- 9
3 Аппаратная реализация ВОСП-СР	- 13
3.1 Технология <i>WDM</i> в сетях связи	- 13
3.2 Отношение сигнал/шум в оптоволоконном тракте	- 15
3.3 Расчёт числа оптических усилителей на регенерационном участке	- 16
4 Задание	- 20
Контрольные вопросы	- 20
Библиографический список	- 21
Заключение	- 22
Приложение А Форма титульного листа отчета обучающегося о выполняемой лабораторной работе	- 26

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Общие положения

Настоящая инструкция предназначена для студентов и работников, выполняющих работы на персональном компьютере и на сетевом оборудовании (коммутаторы, маршрутизаторы, межсетевые экраны и т.д.).

К выполнению работ допускаются лица:

- не моложе 16 лет;
- прошедшие медицинский осмотр;
- прошедшие вводный инструктаж по охране труда, а также инструктаж по охране труда на рабочем месте;
- прошедшие обучение безопасным приемам труда на рабочем месте по выполняемой работе.

Работник обязан:

- выполнять правила внутреннего трудового распорядка, установленные в положениях и инструкциях, утвержденных ректором ЮЗГУ, или его заместителями;
- выполнять требования настоящей инструкции;
- сообщать руководителю работ о неисправностях, при которых невозможно безопасное производство работ;
- не допускать присутствия на рабочем месте посторонних лиц;
- уметь оказывать первую помощь и при необходимости оказывать ее пострадавшим при несчастных случаях на производстве, по возможности сохранив обстановку на месте происшествия без изменения и сообщив о случившемся руководителю;
- выполнять требования противопожарной безопасности не разводиться открытый огонь без специального на то разрешения руководителя работ;
- периодически проходить медицинский осмотр в сроки, предусмотренные для данной профессии.

Работник должен знать опасные и вредные производственные факторы, присутствующие на данном рабочем месте:

- возможность травмирования электрическим током при отсутствии или неисправности заземляющих устройств;

- вредное воздействие монитора компьютера при его неправильной установке или неисправности;
- возможность возникновения заболеваний при неправильном расположении монитора, клавиатуры, стула и стола;
- вредное воздействие паров, газов и аэрозолей, выделяющихся при работе копировальной и печатающей оргтехники в непроветриваемых помещениях.

Работник при выполнении любой работы должен обладать здоровым чувством опасности и руководствоваться здравым смыслом. При отсутствии данных качеств он к самостоятельной работе не допускается.

Требования охраны труда перед началом работы

Перед началом работы работник обязан:

- получить от руководителя работ инструктаж о безопасных методах, приемах и последовательности выполнения производственного задания;
- привести в порядок одежду, застегнуть на все пуговицы, чтобы не было свисающих концов, уложить волосы, чтобы они не закрывали лицо и глаза;
- привести рабочее место в безопасное состояние;
- запрещается носить обувь на чрезмерно высоких каблуках;

Перед включением компьютера или сетевого оборудования убедиться в исправности электрических проводов, штепсельных вилок и розеток. Вилки и розетки должны соответствовать Евро-стандарту. Отличительной особенностью этих вилок и розеток является наличие третьего провода, обеспечивающего заземление компьютера или другого прибора. При отсутствии третьего заземляющего провода заземление должно быть выполнено обычным способом с применением заземляющего проводника и контура заземления;

Убедиться, что корпус включаемого оборудования не поврежден, что на нем не находятся предметы, бумага и т.п. Вентиляционные отверстия в корпусе включаемого оборудования не должны быть закрыты занавесками, завалены бумагой, заклеены липкой лентой или перекрыты каким-либо другим способом.

Требования охраны труда во время работы

Запрещается во время работы пить какие-либо напитки, принимать пищу;

Запрещается ставить на рабочий стол любые жидкости в любой таре (упаковке или в чашках);

Помещения для эксплуатации компьютеров, сетевого оборудования должны иметь естественное и искусственное освещение, естественную вентиляцию и соответствовать требованиям действующих норм и правил. Запрещается размещать рабочие места вблизи силовых электрических кабелей и вводов трансформаторов, технологического оборудования, создающего помехи в работе и отрицательно влияющие на здоровье операторов;

Окна в помещениях, где установлены компьютеры должны быть ориентированы на север и северо-восток. Оконные проемы оборудуются регулируемыми устройствами типа жалюзи или занавесками;

Площадь на одно рабочее место пользователей компьютера должна составлять не менее 6 м^2 при рядном и центральном расположении, при расположении по периметру помещения – 4 м^2 . При использовании компьютера без вспомогательных устройств (принтер, сканер и т.п.) с продолжительностью работы менее четырех часов в день допускается минимальная площадь на одно рабочее место 5 м^2 ;

Полимерные материалы, используемые для внутренней отделки интерьера помещений с ПК, должны подвергаться санитарно-эпидемиологической экспертизе. Поверхность пола должна обладать антистатическими свойствами, быть ровной. В помещениях ежедневно проводится влажная уборка. Запрещается использование удлинительных устройств, фильтров, тройников и т.п., не имеющих специальных заземляющих контактов;

Экран видеомонитора должен находиться от глаз оператора на расстоянии 600-700 мм, минимально допустимое расстояние 500 мм;

Продолжительность непрерывной работы с ПК должна быть не более 2 часов.

Требования охраны труда по окончании работы

По окончании работы работник обязан выполнить следующее:

- привести в порядок рабочее место;
- убрать инструмент и приспособления в специально отведенные для него места хранения;
- обо всех замеченных неисправностях и отклонениях от нормального состояния сообщить руководителю работ;
- привести рабочее место в соответствие с требованиями пожарной безопасности.

Действие при аварии, пожаре, травме

В случае возникновения аварии или ситуации, в которой возможно возникновение аварии немедленно прекратить работу, предпринять меры к собственной безопасности и безопасности других рабочих, сообщить о случившемся руководителю работ.

В случае возникновения пожара немедленно прекратить работу, сообщить в пожарную часть по телефону 01, своему руководителю работ и приступить к тушению огня имеющимися средствами.

В случае получения травмы обратиться в медпункт, сохранить по возможности место травмирования в том состоянии, в котором оно было на момент травмирования, доложить своему руководителю работ лично или через товарищей по работе.

Ответственность за нарушение инструкции

Каждый работник ЮЗГУ в зависимости от тяжести последствий несет дисциплинарную, административную или уголовную ответственность за несоблюдение настоящей инструкции, а также прочих положений и инструкций, утвержденных ректором ЮЗГУ или его заместителями.

Руководители подразделений, заведующий кафедрой, начальники отделов и служб несут ответственность за действия своих подчиненных, которые привели или могли привести к авариям и травмам согласно действующему в РФ законодательству в зависи-

мости от тяжести последствий в дисциплинарном, административном или уголовном порядке.

Администрация ЮЗГУ вправе взыскать с виновных убытки, понесенные предприятием в результате ликвидации аварии, при возмещении ущерба работникам по временной или постоянной утрате трудоспособности в соответствии с действующим законодательством.

1 Цель работы

Изучение принципов построения телекоммуникационных систем со спектральным разделением оптических каналов.

Освоение методики расчета числа оптических усилителей на регенерационном участке.

2 Общие сведения о ВОСП со спектральным разделением

Волоконно-оптические системы передачи со спектральным разделением (ВОСП-СП) работают по волоконно-оптическим кабелям с кварцевыми одномодовыми оптическими волокнами (ОВ), соответствующими Рекомендациям МСЭ-Т G.652 и G.655. Основными характеристиками ОВ как линейной системы являются частотные характеристики потерь передачи и дисперсии. Используют оптические диапазоны *S*, *C* и *L* с наименьшими значениями потерь передачи в «окне прозрачности» с длиной волны $\lambda \approx 1,55$ мкм, показанные на рисунке 1.

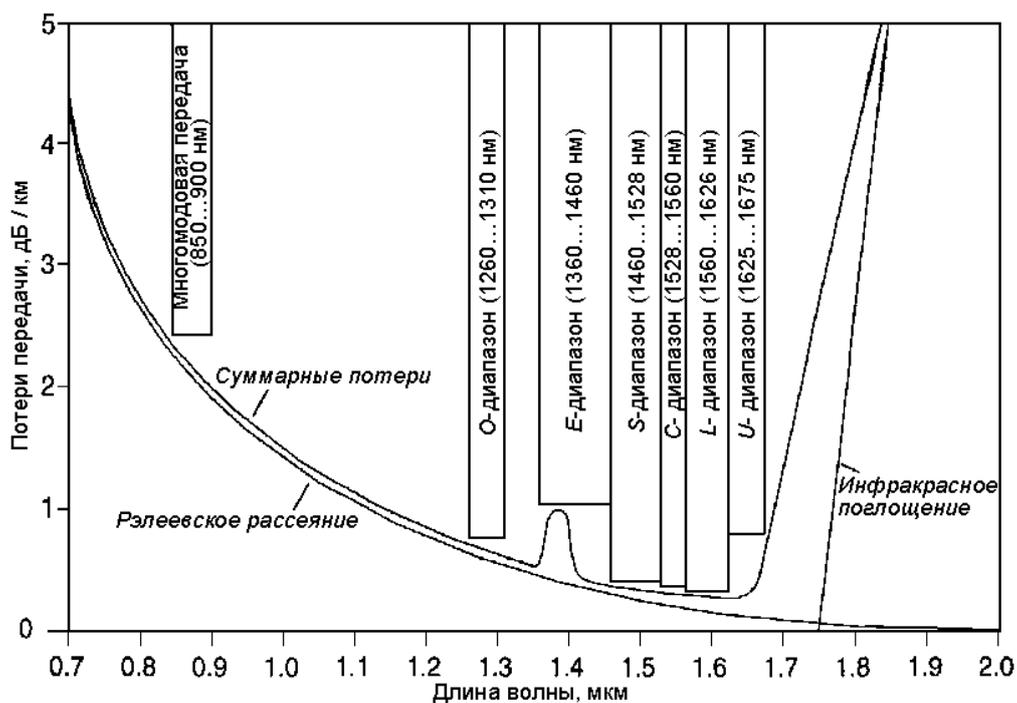


Рисунок 1 – «Окна прозрачности» и диапазоны передачи по оптическому волокну

В одном окне прозрачности организуют большое количество высокоскоростных оптических каналов, каждый из которых имеет собственную оптическую поднесущую частоту, рисунок 2. Иногда, по аналогии с радиорелейными системами, говорят о «стволах» и частотном плане аппаратуры, т.е. о распределении номинальных частот, величине шага и т.д.

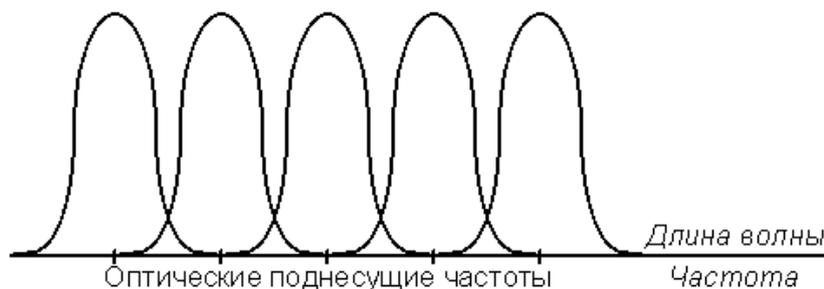


Рисунок 2 – Спектральное разделение оптических каналов

Структурная схема аппаратуры ВОСП-СР, реализующей технологию DWDM, представлена на рисунке 3.

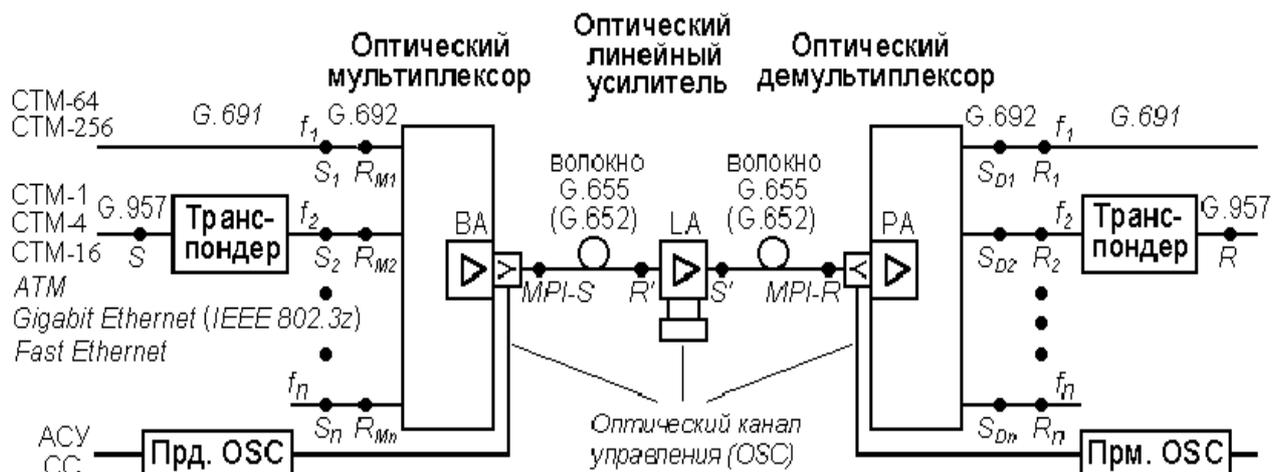


Рисунок 3 – Структурная схема аппаратуры ВОСП-СР

Аппаратура ВОСП-СР предназначена для передачи в одном или двух противоположных направлениях нескольких сигналов по одному волокну оптического кабеля с использованием источников

излучения с различными длинами волн для передачи каждого сигнала.

Основными функциональными узлами аппаратуры являются оптические мультиплексоры и демультимплексоры, обеспечивающие объединение и разделение оптических каналов на передаче и приёме соответственно.

Повышение уровня группового сигнала осуществляется оптическими усилителями: на передаче – мощности (booster amplifier, BA), на приёме – предварительного усиления (preamplifier, PA) и в транзитных пунктах – промежуточными или линейными (line amplifier, LA).

В оконечном пункте на входы оптического мультиплексора R_{mi} могут быть направлены оптические сигналы, отвечающие требованиям технологии DWDM Рек. G.692, в частности, цифровые потоки STM-64 и STM-256 СЦИ (SDH). В транспондере осуществляется преобразование длины волны оптического сигнала с переводом его в электрическую форму, регенерацией и излучением на требуемой длине волны с заданными характеристиками.

По месту размещения в оптическом тракте различают оконечные, усилительные и транзитные пункты. Аппаратура усилительного пункта может включать оптические промежуточные усилители и компенсаторы дисперсии. Аппаратура транзитного пункта может быть выполнена в виде установленных «спина к спине» оконечных пунктов или оптических мультиплексоров ввода/вывода для выделения сигналов оптических каналов.

Особенностью ВОСП-СР является наличие вынесенного за рабочий диапазон частот служебного оптического канала (OSC), что позволяет сохранять управляемость системой при выходе из строя элементов главного тракта. Техническая эксплуатация осуществляется с применением автоматизированных систем управления (АСУ) аппаратурой электросвязи. Аппаратура

контролируется и управляется с помощью местного служебного терминала и/или с помощью рабочей станции сетевой системы управления и контроля оператора.

Система автоматизированного контроля и управления с соответствующим программным обеспечением обеспечивает следующие режимы управления и контроля: конфигурирование; обслуживание аварийных событий; контроль рабочих характеристик; выполнение функций автоматического выключения выходной оптической мощности при отсутствии входного оптического сигнала.

Функции контроля и управления должны осуществляться с помощью контроллера сетевого элемента и контроллеров блоков сетевых элементов, которые обрабатывают информацию об авариях с указанием степени срочности устранения аварии и статусе каждого блока. Контроллер каждого блока должен быть снабжен встроенным программным обеспечением, загрузка которого обеспечивается рабочей станцией или местным служебным терминалом. Процесс загрузки программного обеспечения не должен влиять на процесс передачи цифровых сигналов в оптических каналах. Должно быть обеспечено автоматическое опознавание версии программного обеспечения, а также типа и серийного номера каждого блока. Максимальное время между появлением неисправности и отображением информации об этой неисправности должно быть не более 3,0 с.

В аппаратуре предусматривают организацию служебной связи (СС) и телеобслуживания с использованием оптического служебного канала (*OSC*).

3 Аппаратная реализация ВОСП-СР

3.1 Технология WDM в сетях связи

В настоящее время основной технологией передачи по линиям ВОК цифровой транспортной сети является технология синхронного режима переноса, обеспечивающая высокую живучесть сетей, образованных на её базе. При организации широкополосных сетей интегрального обслуживания используются также технологии АТМ и IP. Технологии WDM, STM, АТМ, IP могут применяться самостоятельно или в виде цепочек: STM-WDM, АТМ-STM-WDM, АТМ-WDM, IP-АТМ-STM-WDM, IP-STM-WDM, IP-WDM.

Основным структурным элементом технологии STM является синхронный транспортный модуль n -го порядка (СТМ- n) с использованием временного разделения каналов (ВРК). Поскольку ВОК содержит несколько оптических волокон, можно говорить также о пространственном разделении сигналов различных систем передачи с образованием по каждому волокну оптического канала передачи. Использование технологии WDM позволяет расширить возможности построения сетей связи за счёт оптических каналов, образуемых с помощью аппаратуры ВОСП-СР методом спектрального разделения.

Накоплен достаточный опыт работы с аналоговыми системами передачи с частотным разделением каналов (АСП-ЧРК) по кабелю с медными жилами. При применении технологии WDM возникает ряд аналогичных задач. В обоих случаях групповой тракт содержит N каналов с различными несущими частотами, каждый из которых занимает определённую, выделяемую фильтром на приёме, полосу частот; полоса частот группового тракта ограничена. Качество передачи определяется отношением сигнал/шум (ОСШ), причём шум на выходе канала складывается из флуктуационной и переходной составляющих. ОСШ в канале зависит от уровня сигнала в канале, поэтому необходима коррекция (выравнивание) ам-

плитудно-частотной характеристики (АЧХ) тракта. Важной является проблема определения мощности группового сигнала, если известны мощности и структура канальных сигналов. Существует оптимальный уровень группового сигнала, превышение которого ведёт к возникновению переходов между каналами из-за нелинейности и прекращению связи. Поэтому в системе передачи имеется система автоматической регулировки уровня (АРУ) сигнала.

Технические решения перечисленных проблем, известные в АСП-ЧРК, внедрены в аппаратуре ВОСП-СР. Полосы частот каналов передачи Δf_k в ГГц, как правило, принимают численно равными скоростям передачи из ряда СТМ-*n*: 2,5 Гбит/с (СТМ-16), 10 Гбит/с (СТМ-64) или 40 Гбит/с (СТМ-256). Полоса частот оптического канала $\Delta \nu_k$ определяется селективностью фильтра демультиплексора. При DWDM используются шаги сетки частот Δ : 100 ГГц, 50 ГГц, 25 ГГц и 12,5 ГГц. Стоит отметить, что шаг сетки частот Δ должен превышать (с некоторым запасом на расфилтровку) полосу частот оптического канала $\Delta \nu_k$, $\Delta \nu_k > \Delta f_k$.

Проблема коррекции АЧХ в аппаратуре ВОСП-СР связана с последовательным включением на участке регенерации большого числа оптических усилителей (*Optical amplifier – OA*). В настоящее время в основном применяются усилители на основе волокна, легированного эрбием, имеющие неравномерную АЧХ усиления в рабочей полосе частот. Результирующая неравномерность, пропорциональная числу усилителей, эквивалентна снижению оптического ОСШ в канале.

Подсистема АРУ группового оптического сигнала на выходе ОА основана на измерении уровня выходного оптического сигнала, изменяющегося при включении или выключении отдельных оптических каналов. Регулирующим элементом служит переменный оптический аттенюатор. Время установления заданного уровня составляет обычно менее десяти миллисекунд.

3.2 Отношение сигнал/шум в оптоволоконном тракте

В ВОСП принято так называемое оптическое отношение сигнал/шум (ООСШ), равное отношению мощности полезного сигнала P_c к мощности шума $P_{ш}$ в спектральном интервале $\Delta\nu_k$, определяемом полосой пропускания оптического фильтра или демультиплексора. При распространении сигнала по линии ООСШ может только убывать.

Оптические усилители характеризуются коэффициентом шума (1) (шум-фактором NF), определяемым как отношение ООСШ на входе и выходе.

$$NF = \frac{\frac{P_{c,ВХ}}{P_{ш,ВХ}}}{\frac{P_{c,ВЫХ}}{P_{ш,ВЫХ}}} = \frac{ООСШ_{ВХ}}{ООСШ_{ВЫХ}}. \quad (1)$$

При определении коэффициента шума исходят из того, что на вход подаётся идеальный когерентный сигнал частоты ν , имеющий минимальную, определяемую квантовыми флуктуациями, мощность шума, $P_{ш.ВХ} = h \nu \Delta\nu_k$, где $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ватт·с². У такого идеального сигнала оптическое отношение сигнал/шум максимально возможное, но не бесконечное:

$$ООСШ_{ВХ} = P_{c.ВХ} / (h \cdot \nu \cdot \Delta\nu_k). \quad (2)$$

Мощность шума $P_{ш.ВЫХ}$ на выходе оптического усилителя состоит из мощности шума $h \cdot \nu \cdot \Delta\nu_k$, связанной в квантовыми флуктуациями, и мощности P_{ASE} усиленного спонтанного излучения:

$$P_{ш.ВЫХ} = h \cdot \nu \cdot \Delta\nu_k + P_{ASE}. \quad (3)$$

Мощность усиленного спонтанного излучения P_{ASE} определяется соотношением:

$$P_{ASE} = 2 \cdot n_{sp} \cdot (G - 1) \cdot h\nu \Delta\nu_k, \quad (4)$$

где n_{sp} – коэффициент спонтанной эмиссии, равный для идеального усилителя единице.

Учитывая, что $G = P_{с.ВЫХ} / P_{с.ВХ}$, выразим коэффициент шума через коэффициент усиления и коэффициент спонтанной эмиссии:

$$NF = \frac{1}{G} [1 + 2n_{sp}(G - 1)], \quad (5)$$

при этом мощность усиленного спонтанного излучения будет равна:

$$P_{ASE} = (NF \cdot G - 1) h\nu \Delta\nu_k. \quad (6)$$

При $G \gg 1$ получим: $NF \approx 2n_{sp}$. Значение коэффициента шума обычно выражают в логарифмическом масштабе: $nf = 10 \cdot \lg(NF)$. В идеальном усилителе ($n_{sp} = 1$), а с большим усилением теоретический предел коэффициента шума равен 2 ($nf = 3$ дБ).

3.3 Расчёт числа оптических усилителей на регенерационном участке

Между оптическими усилителями i -того регенерационного участка имеется существенное затухание усилительного участка a_i , поэтому необходимо учитывать снижение защищённости сигнала от квантовых шумов и ASE в каждом из них.

Рассмотрим методику нахождения результирующей помехозащищённости на участке регенерации, содержащем N_{yu} усилитель-

ных участков. На рисунке 4 приведён фрагмент диаграммы уровней с N оптическими усилителями.

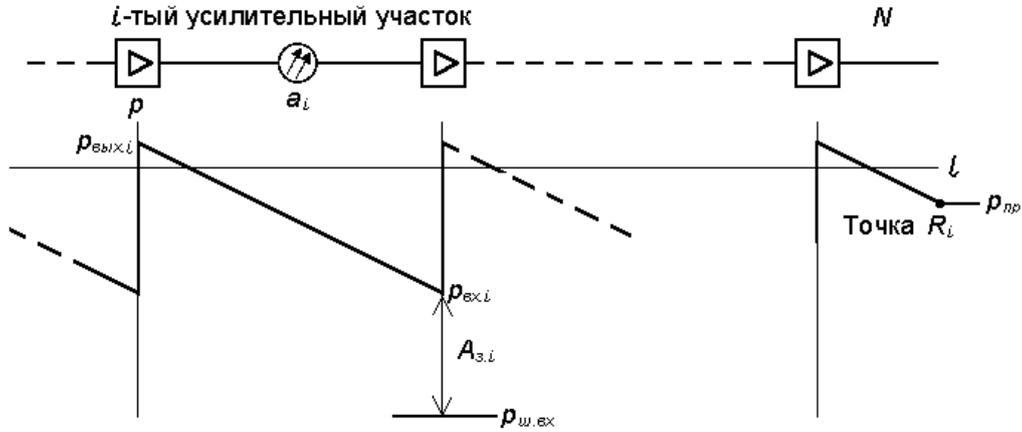


Рисунок 4 – К расчёту ООСШ участка регенерации с N оптическими усилителями

Помехозащищённость на i -м усилительном участке $A_{з.i}$ равна разности уровня сигнала на входе оптического усилителя $P_{вх.i}$ и приведённого ко входу усилителя уровня шума $P_{ш.вх}$:

$$A_{з.i} = P_{вх.i} - P_{ш.вх}. \quad (7)$$

Уровень сигнала на входе усилителя $P_{вх.i}$ ниже уровня на выходе предыдущего усилителя $P_{вых.i-1}$ на величину затухания i -го усилительного участка a_i : $P_{вх.i} = P_{вых.i-1} - a_i$.

Таким образом:

$$A_{з.i} = P_{вх.i} - P_{ш.вх} = P_{вых.i} - a_i - P_{ш.вх}. \quad (8)$$

На выходе цепочки оптических усилителей, образующих регенерационный участок, в точке R_i с уровнем приёма $P_{пр}$ помехозащищённость от i -го усилительного участка $A_{з'.i}$ не изменится и составит:

$$A_{з'.i} = P_{пр} - P_{ш.i}, \quad (9)$$

где $P_{ш.i}$ – уровень шума от i -го усилительного участка.

Приравнивая $A_{з.i}$ и $A_{з'.i}$, получим:

$$P_{вых.i} - a_i - P_{ш.вх} = P_{пр} - P_{ш.i}, \quad (10)$$

откуда

$$P_{ш.i} = P_{пр} - P_{вых.i} + a_i + P_{ш.вх}. \quad (11)$$

Мощность помехи в точке R_i от i -го усилительного участка составит:

$$P_{ш.i} = 10^{0,1 \cdot P_{ш.i}}. \quad (12)$$

Шумы, возникающие на отдельных усилительных участках, имеют независимый характер, поэтому суммарная мощность шума в точке R_i составит:

$$P_{ш.Σ} = \sum_{i=1}^N 10^{0,1 \cdot P_{ш.i}} = \sum_{i=1}^N 10^{0,1(P_{пр} + P_{ш.вх} - P_{вых.i} + a_i)}. \quad (13)$$

Для оценки максимальной длины регенерационного участка по затуханию можно принять, что все усилительные участки имеют одинаковые параметры (затухание a и уровни оптического сигнала на выходе $P_{вых}$ и входе $P_{вх}$ усилителей).

В этом случае:

$$P_{ш.i} = N_{yy} \cdot 10^{0,1(P_{пр} + P_{ш.вх} - P_{вых} + a)}; \quad (14)$$

$$P_{ш.Σ} = 10 \cdot \lg N_{yy} + P_{пр} + P_{ш.вх} - P_{вых} + a, \text{ дБ}. \quad (15)$$

Помехозащищённость в точке R_i составляет:

$$A_{з.R} = P_{пр} - P_{ш.Σ} = P_{пр} - 10 \cdot \lg N_{yy} - P_{пр} - P_{ш.вх} + P_{вых} - a =$$

$$= P_{\text{ВЫХ}} - 10 \cdot \lg N_{\text{УУ}} - P_{\text{Ш.ВХ}} - a. \quad (16)$$

С учётом

$$N_{\text{УУ}} = L_{\text{рег}} / L_{\text{ус}} : A_{3.R} = P_{\text{ВЫХ}} - P_{\text{Ш.ВХ}} - a - 10 \cdot \lg (L_{\text{рег}} / L_{\text{ус}}), \quad (17)$$

где $L_{\text{рег}}$ и $L_{\text{ус}}$ – соответственно длина регенерационного и усилительного участков.

Длина усилительного участка пропорциональна усилению g EDFA (за вычетом затуханий A_p разъёмных соединителей, число которых обозначим n_p) и обратно пропорциональна коэффициенту затухания ВОК α_k с учётом добавки за счёт затухания $A_{\text{св}}$ сварных соединений в местах сращивания строительных длин $l_{\text{стр}}$. Эквивалентное значение коэффициента затухания $\alpha_{\text{экв.к}}$ можно положить равным: $\alpha_{\text{экв.к}} = \alpha_k + A_{\text{св}}/l_{\text{стр}}$. Отсюда:

$$L_{\text{ус}} = (g - A_p \cdot n_p) \cdot \left(\alpha_k + \frac{A_{\text{св}}}{l_{\text{стр}}} \right)^{-1}. \quad (18)$$

Считая в (16) параметры $A_{3.R}$, $P_{\text{ВЫХ}}$, $P_{\text{Ш.ВХ}}$, a и $L_{\text{ус}}$ известными, можно дать оценку максимальной длины регенерационного участка по усилению. Поскольку OA располагают, как правило, в населённых пунктах, то реальные значения a_i существенно различаются, и необходимо пользоваться формулой (13).

Снижение величины шума на усилительном участке позволяет пропорционально увеличить их число без изменения качества передачи. Например, сокращение затухания участков на 3 дБ даёт возможность увеличить длину регенерационного участка вдвое. Так, для оптического канала для скорости 2,5 Гбит/с приводятся значения: 8 участков с затуханием по 22 дБ или 5×30 или 3×33 (общее затухание 176, 150 или 99 дБ).

Эквивалентное повышение ОСШ позволяет получить упреждающую коррекцию ошибок (*Forward Error Correction – FEC*). За счёт введения избыточности в цифровой сигнал (обычно с применением кода Рида-Соломона, ценой прироста скорости передачи от 7 до 23%) происходит исправление одиночных битовых ошибок, что позволяет снизить требования к ООСШ до 7 дБ (эквивалентно увеличению длины регенерационного участка в 5 раз!).

4 Задание

По заданию преподавателя провести расчёт отношение сигнал/шум в оптоволоконном тракте и числа оптических усилителей на регенерационном участке.

Контрольные вопросы

1. Какие оптические диапазоны с наименьшими значениями потерь передачи в «окнах прозрачности» используют с длиной волны $\lambda \approx 1,55$ мкм?
2. Какие виды пунктов различают по месту размещения в оптическом тракте? Что включает в себя аппаратура каждого из видов?
3. Что такое ООСШ? Чему оно равно? Что такое шум-фактор?
4. Каким образом можно существенно увеличить длину регенерационного участка без изменения качества передачи?

Библиографический список

1. Гордиенко, В.Н. Многоканальные телекоммуникационные системы [Текст] : учебник для вузов / В. Н. Гордиенко, М. С. Тверецкий. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2015. - 396 с.
2. Портнов, Э.Л. Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии связи [Текст] : учебное пособие / Э. Л. Портнов. - М. : Горячая линия-Телеком, 2009. - 544 с.
3. 6. Родина, О.В. Волоконно-оптические линии связи [Текст] : практическое руководство / О.В. Родина. – М.: Горячая линия– Телеком, 2009. – 400 с.
4. Убайдуллаев Р.Р. Протяжённые ВОЛС на основе EDFA.– Lightwave Russian edition.– №1–2013.–С. 22-28.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполнения лабораторных работ студент формирует следующие компетенции:

Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций		
		Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (хорошо)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5
ПК-2/ начальный, основной, завершающий.	ПК-2.1. Осуществляет сбор и анализ статистической информации по инфокоммуникационным системам ПС. ПК-2.2. Проводит исследования характеристик телекоммуникационного оборудования с оценкой качества предоставляемых услуг.	Знать: Основные методы выполнения экспериментальных исследований для решения научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и методов исследования. Уметь: Применять основные методы выполнения экспериментальных исследований	Знать: Применяемые методы выполнения экспериментальных исследований для решения научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и методов исследования. Уметь: Применять методы выполнения экспериментальных исследований для решения научно-	Знать: Современные эффективные методы выполнения экспериментальных исследований для решения научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и методов исследования. Уметь: Применять современные эффективные методы выполнения экспериментальных исследований для решения научно-

	<p>ПК-2.3. Проводит экспериментальные исследования, использующиеся для решения научно-исследовательских и производственных задач, с применением современной аппаратуры и методов исследования.</p>	<p>для решения научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и методов исследования. Владеть: Навыками применения основных методов выполнения экспериментальных исследований для решения научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и методов исследования.</p>	<p>исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и методов исследования. Владеть: Навыками применения методов выполнения экспериментальных исследований для решения научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и методов исследования.</p>	<p>исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и методов исследования. Владеть Навыками применения современных эффективных методов выполнения экспериментальных исследований для решения научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и методов исследования.</p>
<p>ПК-9/ основной, завершающий.</p>	<p>ПК-9.1. Применяет методы измерения показателей качества работы закрепленного оборудо-</p>	<p>Знать: Основные методы проектирования, монтажа и эксплуатации систем, сетей и устройств инфокомму-</p>	<p>Знать: Применяемые методы проектирования, монтажа и эксплуатации систем, сетей и устройств инфокоммуника-</p>	<p>Знать: Современные эффективные методы проектирования, монтажа и эксплуатации систем, сетей и устройств</p>

	<p>вания, с учетом конструктивных особенностей, принципиальных и функциональных схем.</p> <p>ПК-9.2. Решает задачи по организации и контролю проведения измерений и проверке качества работы оборудования, планово-профилактических и ремонтно-восстановительных работ.</p> <p>ПК-9.3. Контролирует выполняемые работы по синтезу радиоэлектронного средства, опираясь на научную методологию разра-</p>	<p>никаций, а также направляющих сред передачи информации.</p> <p>Уметь: Применять основные методы проектирования, монтажа и эксплуатации систем, сетей и устройств инфокоммуникаций, а также направляющих сред передачи информации.</p> <p>Владеть: Навыками применения основных методов проектирования, монтажа и эксплуатации систем, сетей и устройств инфокоммуникаций, а также направляющих сред передачи информации.</p>	<p>ций, а также направляющих сред передачи информации.</p> <p>Уметь: Применять методы проектирования, монтажа и эксплуатации систем, сетей и устройств инфокоммуникаций, а также направляющих сред передачи информации.</p> <p>Владеть: Навыками применения методов проектирования, монтажа и эксплуатации систем, сетей и устройств инфокоммуникаций, а также направляющих сред передачи информации.</p>	<p>инфокоммуникаций, а также направляющих сред передачи информации.</p> <p>Уметь: Применять современные эффективные методы проектирования, монтажа и эксплуатации систем, сетей и устройств инфокоммуникаций, а также направляющих сред передачи информации.</p> <p>Владеть: Навыками применения современных эффективных методов проектирования, монтажа и эксплуатации систем, сетей и устройств инфокоммуникаций, а также направляющих сред передачи информации.</p>
--	--	---	---	--

	ботки приемопе- редающих инфоком- муникаци- онных уст- ройств и каналов связи (на- правляю- щих средств пе- редачи).			
--	--	--	--	--

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Форма титульного листа отчета, обучающегося о выполненной лабораторной работе**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет»

Кафедра космического приборостроения и систем связи

ОТЧЕТо выполненной лабораторной работе
по дисциплине «Волоконная оптика в телекоммуникациях»
на тему «_____»

Выполнил

(подпись)

/Фамилия, инициалы/

Проверил

(подпись)

/Фамилия, инициалы/

Курск 20_____