

Приложение 1 к рабочей программе  
по дисциплине «Активные оптические компоненты»  
Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
(СибГУТИ)  
Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге  
(УрТИСИ СибГУТИ)



Утверждаю  
Директор УрТИСИ СибГУТИ  
Е.А. Минина  
2021 г.

## ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

по дисциплине «Активные оптические компоненты»  
для основной профессиональной образовательной программы по направлению  
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
направленность (профиль) – Технологии и системы оптической связи  
квалификация – бакалавр  
форма обучения – очная  
год начала подготовки (по учебному плану) – 2021

Екатеринбург 2021

**Приложение 1 к рабочей программе**  
**по дисциплине «Активные оптические компоненты»**  
Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
(СибГУТИ)  
Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге  
(УрТИСИ СибГУТИ)

Утверждаю  
Директор УрТИСИ СибГУТИ  
\_\_\_\_\_ Е.А. Минина  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

## **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

по дисциплине **«Активные оптические компоненты»**  
для основной профессиональной образовательной программы по направлению  
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
направленность (профиль) – Технологии и системы оптической связи  
квалификация – бакалавр  
форма обучения – очная  
год начала подготовки (по учебному плану) – 2021

Екатеринбург 2021

## 1. Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Этап	Предшествующие этапы (с указанием дисциплин)
ПК-1 Способен к эксплуатации и развитию сетевых платформ, систем и сетей передачи данных	<p><b>ПК-1.1 знает:</b>  общие технические требования к оптическим усилителям;  физические принципы усиления оптического сигнала;  принцип действия, основные параметры и характеристики различных оптических усилителей;  перспективные направления развития аппаратуры оптических усилителей.</p> <p><b>ПК-1.2 умеет:</b>  рассчитывать характеристики оптических усилителей;  производить измерения характеристик оптических усилителей при различных схемах их включения в линейный тракт;  работать с технической документацией;  рассчитывать диаграммы уровней длиннопролетных ВОЛС;</p> <p><b>ПК-1.3 владеет:</b>  навыками пользования измерительными приборами,  навыками проектирования протяженных волоконно-оптических систем передачи с периодическим усилением;  навыками построения диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетных ВОЛС;  навыками расчета диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетных ВОЛС.</p>	4	<p>Этап 1:  Основы теории цепей</p> <p>Этап 2:  Основы теории электромагнитных полей и волн,  Введение в операционную систему Unix, Пакеты прикладных программ, Языки программирования, Элементная база телекоммуникационных систем, Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей</p> <p>Этап 3  Теория связи, Физические основы квантовой оптики, Схемотехника телекоммуникационных устройств, Вычислительная техника и информационные технологии, Микропроцессорная техника в системах связи, Перспективные технологии в отрасли инфокоммуникаций, Сети связи и системы коммутации, Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства,</p>

Форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине: зачет.

## 2. Показатели, критерии и шкалы оценивания компетенций

2.1 Показателем оценивания компетенций на этапе их формирования при изучении дисциплины является уровень их освоения.

Шкала оценивания	Результаты обучения	Дескрипторы уровней освоения компетенций
ПК-1 Способен к эксплуатации и развитию сетевых платформ, систем и сетей передачи данных		
Низкий	<b>ПК-1.1 знает:</b>	<b>Слабо знает:</b>

<p>(пороговый) уровень</p>	<p>общие технические требования к оптическим усилителям; физические принципы усиления оптического сигнала; принцип действия, основные параметры и характеристики различных оптических усилителей; перспективные направления развития аппаратуры оптических усилителей. <b>ПК-1.2 умеет:</b> рассчитывать характеристики оптических усилителей; производить измерения характеристик оптических усилителей при различных схемах их включения в линейный тракт; работать с технической документацией; рассчитывать диаграммы уровней длиннопролетных ВОЛС; <b>ПК-1.3 владеет:</b> навыками пользования измерительными приборами, навыками проектирования протяженных волоконно-оптических систем передачи с периодическим усилением; навыками построения диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетных ВОЛС; навыками расчета диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетных ВОЛС.</p>	<p>общие технические требования к оптическим усилителям; физические принципы усиления оптического сигнала; принцип действия, основные параметры и характеристики различных оптических усилителей; перспективные направления развития аппаратуры оптических усилителей. <b>Слабо умеет:</b> рассчитывать характеристики оптических усилителей; производить измерения характеристик оптических усилителей при различных схемах их включения в линейный тракт; работать с технической документацией; рассчитывать диаграммы уровней длиннопролетных ВОЛС; <b>Слабо владеет:</b> навыками пользования измерительными приборами, навыками проектирования протяженных волоконно-оптических систем передачи с периодическим усилением; навыками построения диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетных ВОЛС; навыками расчета диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетных ВОЛС.</p>
<p>Средний уровень</p>	<p><b>ПК-1.1 знает:</b> общие технические требования к оптическим усилителям; физические принципы усиления оптического сигнала; принцип действия, основные параметры и характеристики различных оптических усилителей; перспективные направления развития аппаратуры оптических усилителей. <b>ПК-1.2 умеет:</b> рассчитывать характеристики оптических усилителей; производить измерения характеристик оптических усилителей при различных схемах их включения в линейный тракт; работать с технической документацией; рассчитывать диаграммы уровней длиннопролетных ВОЛС; <b>ПК-1.3 владеет:</b></p>	<p><b>Средне знает:</b> общие технические требования к оптическим усилителям; физические принципы усиления оптического сигнала; принцип действия, основные параметры и характеристики различных оптических усилителей; перспективные направления развития аппаратуры оптических усилителей. <b>Средне умеет:</b> рассчитывать характеристики оптических усилителей; производить измерения характеристик оптических усилителей при различных схемах их включения в линейный тракт; работать с технической документацией; рассчитывать диаграммы уровней длиннопролетных ВОЛС; <b>Средне владеет:</b></p>

	<p>навыками пользования измерительными приборами, навыками проектирования протяженных волоконно-оптических систем передачи с периодическим усилением;</p> <p>навыками построения диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетных ВОЛС;</p> <p>навыками расчета диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетных ВОЛС.</p>	<p>навыками пользования измерительными приборами, навыками проектирования протяженных волоконно-оптических систем передачи с периодическим усилением;</p> <p>навыками построения диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетных ВОЛС;</p> <p>навыками расчета диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетных ВОЛС.</p>
Высокий уровень	<p><b>ПК-1.1 знает:</b></p> <p>общие технические требования к оптическим усилителям;</p> <p>физические принципы усиления оптического сигнала;</p> <p>принцип действия, основные параметры и характеристики различных оптических усилителей;</p> <p>перспективные направления развития аппаратуры оптических усилителей.</p> <p><b>ПК-1.2 умеет:</b></p> <p>рассчитывать характеристики оптических усилителей;</p> <p>производить измерения характеристик оптических усилителей при различных схемах их включения в линейный тракт;</p> <p>работать с технической документацией;</p> <p>рассчитывать диаграммы уровней длиннопролетных ВОЛС;</p> <p><b>ПК-1.3 владеет:</b></p> <p>навыками пользования измерительными приборами, навыками проектирования протяженных волоконно-оптических систем передачи с периодическим усилением;</p> <p>навыками построения диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетных ВОЛС;</p> <p>навыками расчета диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетных ВОЛС.</p>	<p><b>Хорошо знает:</b></p> <p>общие технические требования к оптическим усилителям;</p> <p>физические принципы усиления оптического сигнала;</p> <p>принцип действия, основные параметры и характеристики различных оптических усилителей;</p> <p>перспективные направления развития аппаратуры оптических усилителей.</p> <p><b>Хорош умеет:</b></p> <p>рассчитывать характеристики оптических усилителей;</p> <p>производить измерения характеристик оптических усилителей при различных схемах их включения в линейный тракт;</p> <p>работать с технической документацией;</p> <p>рассчитывать диаграммы уровней длиннопролетных ВОЛС;</p> <p><b>Хорош владеет:</b></p> <p>навыками пользования измерительными приборами, навыками проектирования протяженных волоконно-оптических систем передачи с периодическим усилением;</p> <p>навыками построения диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетных ВОЛС;</p> <p>навыками расчета диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетных ВОЛС.</p>

2.2 Таблица соответствия результатов промежуточной аттестации по дисциплине уровню этапа формирования компетенций

Форма контроля	Шкала оценивания	Код индикатора достижения компетенций	Уровень освоения компетенции
Зачёт	Зачёт	ПК-1.1	высокий
		ПК-1.2	средний
		ПК-1.3	низкий

### 3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Процесс оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, представлен в таблицах по формам обучения:

Тип занятия	Тема (раздел)	Оценочные средства
<b>ПК-1.1 знает:</b> общие технические требования к оптическим усилителям; физические принципы усиления оптического сигнала; принцип действия, основные параметры и характеристики различных оптических усилителей; перспективные направления развития аппаратуры оптических усилителей.		
Лекция	Все разделы дисциплины	Дискуссия Зачет
Лабораторная работа	Исследование характеристик оптических усилителей EDFA Исследование EDFA усилителей в системах DWDM Исследование EDFA усилителей в длиннопролетных ВОЛС	Лабораторная работа Защита лабораторной работы
Практическое занятие	Расчет диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетной ВОЛС Расчет OSNR длиннопролетной ВОЛС Расчет параметров ROA	Практическая работа. Индивидуальное задание
Самостоятельная работа	Все разделы дисциплины	Отчеты по практическим и лабораторным работам. Подготовка к зачету
<b>ПК-1.2 умеет:</b> рассчитывать характеристики оптических усилителей; производить измерения характеристик оптических усилителей при различных схемах их включения в линейный тракт; работать с технической документацией; рассчитывать диаграммы уровней длиннопролетных ВОЛС		
Лекция	Все разделы дисциплины	Дискуссия Зачет
Лабораторная работа	Исследование характеристик оптических усилителей EDFA Исследование EDFA усилителей в системах DWDM Исследование EDFA усилителей в длиннопролетных ВОЛС	Лабораторная работа Защита лабораторной работы
Практическое занятие	Расчет диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетной ВОЛС Расчет OSNR длиннопролетной ВОЛС Расчет параметров ROA	Практическая работа. Индивидуальное задание
Самостоятельная работа	Все разделы дисциплины	Отчеты по практическим и лабораторным работам. Подготовка к зачету
<b>ПК-1.3 владеет:</b> навыками пользования измерительными приборами, навыками проектирования протяженных волоконно-оптических систем передачи с периодическим усилением; навыками построения диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетных ВОЛС; навыками расчета диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетных ВОЛС		

Лекция	Все разделы дисциплины	Дискуссия Зачет
Лабораторная работа	Исследование характеристик оптических усилителей EDFA Исследование EDFA усилителей в системах DWDM Исследование EDFA усилителей в длиннопролетных ВОЛС	Лабораторная работа Защита лабораторной работы
Практическое занятие	Расчет диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетной ВОЛС Расчет OSNR длиннопролетной ВОЛС Расчет параметров ROA	Практическая работа. Индивидуальное задание
Самостоятельная работа	Все разделы дисциплины	Отчеты по практическим и лабораторным работам. Подготовка к зачету

#### 4. Типовые контрольные задания

Представить один пример задания по каждому типу оценочных средств для каждой компетенции, формируемой данной дисциплиной.

### ПК-1 Способен к эксплуатации и развитию сетевых платформ, систем и сетей передачи данных

**ПК-1.1 знает:** общие технические требования к оптическим усилителям; физические принципы усиления оптического сигнала; принцип действия, основные параметры и характеристики различных оптических усилителей; перспективные направления развития аппаратуры оптических усилителей.

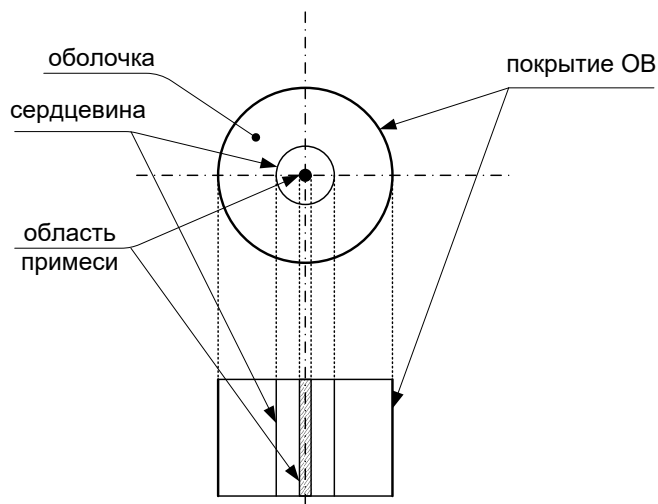
#### Конспект лекции на тему «EDFA усилитель»

Волоконно-оптические усилители (ВОУ) получили наибольшее распространение в волоконно-оптических системах передачи. Это связано с рядом их неоспоримых достоинств:

- простота конструкции;
- высокая надежность;
- большие коэффициенты усиления;
- малые шумы;
- широкая полоса усиления;
- нечувствительность к поляризации усиливаемого света.

В примесных ВОУ в качестве активного материала используются редкоземельные элементы (РЗЭ) (или лантаниды - элементы с 57 по 71 в Периодической таблице Д.И. Менделеева).

В процессе изготовления в сердечник ОВ добавляются примеси. Длина легированного таким образом ОВ заключается в пределах от одного до нескольких десятков метров. В практических схемах катушка ОВ подключается через специальные разъемы к другим элементам схемы оптического усилителя.



Ионы редкоземельных металлов создают активную среду для усиления в определенных полосах длин волн, соответствующим полосам поглощения легирующего материала. Примесные ионы могут быть легко возбуждены (переведены на более высокий энергетический уровень) излучением лазерной накачки соответствующих длин волн и далее относительно легко могут (под действием принятого информационного светового сигнала) сбросить возбужденные электроны на нижний уровень в процессе релаксации.

Этот процесс может не укладываться в двухуровневую модель взаимодействия, принятую ранее в качестве основной, так как он может проходить как без излучения, так и с излучением фотонов.

Выбор легирующего элемента определяется требуемым для усиления диапазоном длин волн:

- тулий (Tm) и иттербий (Yb) – для усиления в области 800 нм;
- неодим (Nd) и празеодим (Pr) - для усиления сигналов в окне 1300 нм;
- эрбий (Er) - для усиления сигналов в окне 1550 нм.

Наибольшее применение получили **эрбиевые ВОУ (EDFA - erbium-doped fiber amplifier)**. В данных усилителях применяется оптическая накачка. В качестве источника применяется ЛД с  $\lambda_{\text{н}}=980$  нм



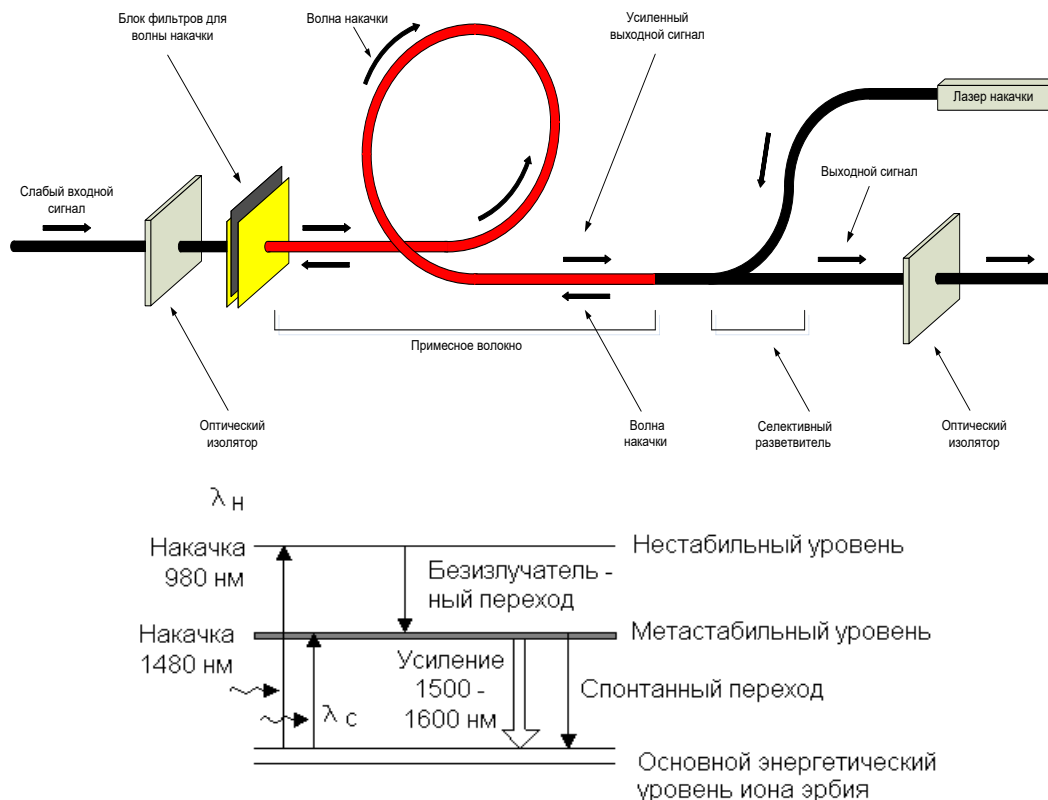
или  $\lambda = 1480$  нм.

При использовании  $\lambda_n = 980$  нм процессы в усилителе протекают по трехуровневой схеме, использование этой длины волны снижает воздействие собственных шумов усилителя.

Для  $\lambda_n = 1480$  нм процесс протекает по двухуровневой схеме и снижается точность настройки для длины волны из-за широкого диапазона поглощения энергии в этом диапазоне.

Накачка на  $\lambda_n = 980$  нм или 1480 нм вводится в определенный торец примесного волокна сонаправленно или противоположно относительно полезного сигнала. Для получения высокого коэффициента усиления может применяться двусторонняя накачка от различных лазеров накачки.

Слабый оптический сигнал на  $\lambda = 1550$  нм через оптический изолятор (ОИ) и блок фильтров для волны накачки (БФН) поступает в примесное оптическое волокно. Данное волокно подвергается непрерывной накачке, при этом создается инверсия нелинейностей между основным и метастабильным уровнем. Взаимодействие возбужденных атомов эрбия с фотонами входного сигнала приводит вынужденному излучению, в результате которого формируется когерентные волны, приводящие к увеличению мощности полезного сигнала. Спектрально селективный разветвитель выводит усиленный оптический сигнал через ОИ в выходное волокно.



Возбуждённые атомы, которые не взаимодействуют с входным сигналом, спонтанно переходят на основной уровень и становятся источником *оптического шума*. Этот шум так же усиливается и носит название *шума усиленного спонтанного излучения* (ASE – Amplified spontaneous emission).

Важной особенностью EDFA является то, что эффект усиления не зависит от скорости сигнала и его характеристик. EDFA имеют в области длины волны 1550 нм полосу усиления, равную 35 нм. Они обладают способностью одновременно усиливать множество WDM каналов в диапазоне 1530...1565 нм. Коэффициент усиления  $G = 10 \dots 40$  дБ.

Коэффициент усиления  $G$  - определяется из соотношения:

$$G = \frac{P_{ВЫХ}}{P_{ВХ}}$$

где  $P_{ВЫХ}$  и  $P_{ВЫХ}$  - мощности (полезных) сигналов на входе и выходе усилителя, а логарифмический эквивалент определяется по формуле:

$$g = 10 \lg G \text{ (дБ)}.$$

Коэффициент усиления сигнала зависит от его входной амплитуды и длины волны. При

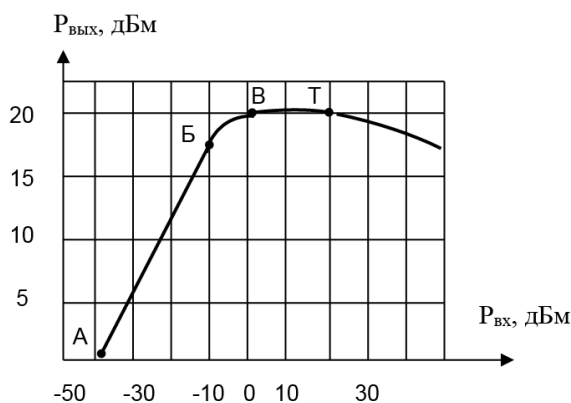
малых сигналах амплитуда выходного сигнала линейно растёт с ростом входного сигнала, коэффициент усиления достигает при этом своего максимального значения. При большом входном сигнале сигнал на выходе достигает своего насыщения, что приводит к падению коэффициента усиления. Объясняется это следующим образом.

В процессе усиления оптического сигнала происходит постепенное обеднение населённости инверсной (усиливающей) среды. Поскольку инверсная среда ВОУ распределена по всей длине активного волокна, степень обеднения по мере распространения усиливаемого сигнала возрастает и в квантово-энергетическом отношении среда стремится к насыщению, когда населённости *метастабильного* и *основного* уровней выравниваются.

Скорость и степень обеднения населённости зависит от средней мощности усиливаемого оптического сигнала, то есть от числа фотонов, переносимых сигнальным излучением. Если число фотонов во много раз меньше, чем число электронов на возбуждённом (неустойчивом) уровне, то это в малой степени сказывается на населённости, так как убывание электронов из-за воздействия сигнала успевает компенсироваться за счёт излучения накачки. При этом коэффициент усиления ВОУ максимален.

По мере возрастания числа сигнальных фотонов, компенсирование числа электронов на метастабильном уровне постепенно ослабевает и при некотором значении мощности входного оптического сигнала наступает насыщение.

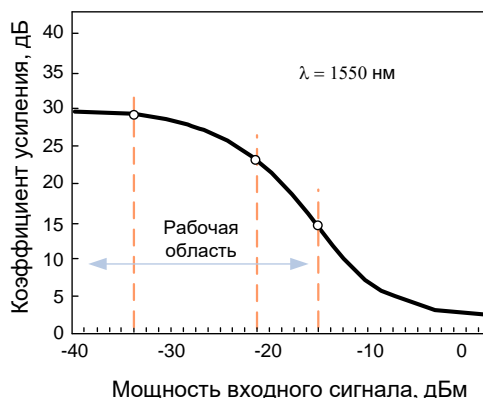
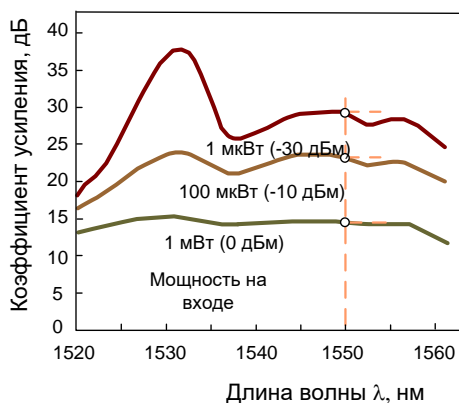
На рисунке представлена кривая зависимости выходной мощности EDFA от мощности входного сигнала.



Из этого графика видно, что выходная мощность возрастает линейно при увеличении уровня входного сигнала в пределах от  $-40$  до  $-10$  дБм (область А – Б), а при дальнейшем увеличении входной мощности начинается изгиб кривой и при уровне входного сигнала приблизительно 0 дБм наступает насыщение. Причём, выходная мощность насыщения ( $P_{нас}$ ) определяется значением выходной мощности, при которой усиление падает на 3 дБ. Когда уровень входной мощности становится такого же порядка, что и выходной, кривая идёт вниз и усиление уменьшается.

В современных ВОСП, в которых применяются EDFA, скорость передачи равна 155 Мбит/с ... 10 Гбит/с. При таких скоростях длительности оптических импульсов лежат в пределах от единиц наносекунд до десятков пикосекунд.

Такая длительность во много раз (от десятков до тысяч раз) меньше времени жизни населённостей возбуждённых уровней. Поэтому за время сигнальных импульсов существенного убывания населённостей не происходит и сигнал усиливается без искажения формы. По этой причине системы ВОСП с оптическими усилителями работают в области насыщения (В – Т на кривой).



Коэффициент шума (шум-фактор) определяется по формуле:

$$NF = 10 \lg \left[ \left( \frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{вх.ус} / \left( \frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{вых.ус} \right]$$

Для реальных усилителей  $NF > 3$  дБ и может достигать 6-8 дБ.

**ПК-1.2 умеет:** рассчитывать характеристики оптических усилителей; производить измерения характеристик оптических усилителей при различных схемах их включения в линейный тракт; работать с технической документацией; рассчитывать диаграммы уровней длиннопролетных ВОЛС

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

### Расчет параметров ROA

#### 1 Цель работы:

1.1 Освоение методики расчета параметров рамановского оптического усилителя.

#### 2 Подготовка к работе:

2.1 Подготовить бланк отчета, в отчете отразить цель работы, ответы на контрольные вопросы.

2.2 Проработать конспект лекций.

#### 3 Задание и методические указания:

3.1 По рисунку 1 и исходным табличным данным определить рамановский коэффициент усиления  $g_R$ .

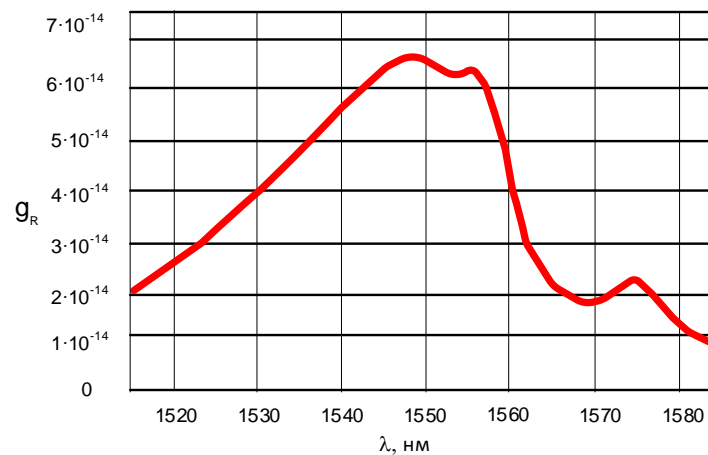


Рисунок 5.14 - Коэффициент рамановского усиления в стандартном оптическом волокне (накачка на длине волны 1445 нм)

Таблица 1 – Исходные данные

Вариант	$\lambda$ , нм	$A_{эфф}$ , мкм <sup>2</sup>	$K_{SRS}$	L, км
0	1520	50	2,0	50
1	1525	50	1,8	80
2	1530	55	1,7	65
3	1535	55	1,8	70
4	1540	55	2,0	45
5	1545	50	2,0	83
6	1550	52	1,9	49
7	1555	53	1,8	57
8	1560	54	1,7	68
9	1565	56	1,6	73
10	1550	60	2,0	55

11	1530	65	2,1	65
12	1528	62	2,2	75
13	1555	63	2,1	80
14	1540	67	2,0	72
15	1530	68	2,3	49
16	1520	70	2,4	59
17	1560	71	2,5	69
18	1565	72	2,6	73
19	1540	75	1,7	81
20	1525	59	1,5	960

**3.2** Рассчитать значение пороговой мощности проявления вынужденного комбинационного (рамановского) рассеяния ( $P_{ВКР}$ ) оптического сигнала на флуктуациях молекул кварца оптоволоконна.

Пороговая мощность  $P_{ВКР}$  рассчитывается по формуле (1):

$$P_{ВКР} \approx \frac{16}{g_R} \times \frac{A_{\text{эфф}} \times K_{SRS}}{L_{\text{эфф}}}, \quad (1)$$

где  $K_{SRS}$  – числовое значение, зависящее от поляризационного состояния волны;

$g_R$  – рамановский коэффициент усиления;

$A_{\text{эфф}}$  – эффективная площадь ядра оптоволоконна;

$L_{\text{эфф}}$  – эффективная длина ОВ, определяемая из выражения (2):

$$L_{\text{эфф}}[\text{км}] = \frac{4,343}{\alpha} \left[ 1 - \exp(-0,23 \alpha L[\text{км}]) \right], \quad (2)$$

где  $\alpha$  – километрическое затухание оптоволоконна на рабочей длине волны;

$L$  – физическая длина ВОЛП.

**3.3** Построить зависимость  $L_{\text{эфф.}}(L)$  и  $P_{ВКР}(L)$ .

*Примечание.* Шаг физической длины волны брать равной 50 км. Соотношение  $P_{ВКР}(L)$  построить в логарифмической зависимости, воспользовавшись выражением (3):

$$P_{SRS}[\text{dBm}] = 44 - 10 \lg L_{\text{эфф}} + 20 \lg \left( \frac{A_{\text{эфф}}}{9,2} \right). \quad (3)$$

**3.4** Рассчитать мощность накачки рамановского усилителя ( $P_n$ ). Величина  $P_n$  находится из выражения (4):

$$G_R = \exp \frac{g_R \cdot P_n \cdot L}{A_{\text{эфф}}}, \quad (4)$$

где  $g_R$  – рамановский коэффициент усиления;

$L$  – физическая длина ВОЛП.

$A_{\text{эфф}}$  – эффективная площадь ядра оптоволоконна.

**3.5** Построить график зависимости  $P_n(L)$ .

**3.6** Рассчитать коэффициент шума  $NF_R$  ВКР-усилителя, для этого следует воспользоваться выражением (5) определяется из выражения (5):

$$NF_R = \frac{2}{\ln G_R}, \quad (5)$$

где  $G_R$  – коэффициент усиления рамановского усилителя.

Примечание. Расчет произвести для длины ВОЛП. Величина  $L$  берется из варианта первого практического занятия.

3.7 Построить зависимость  $NF_R$  от длины ВОЛП.

3.8 Сделать выводы по работе. В выводе основной акцент обратить внимание на эффективную длину усиливаемого участка, то есть, какова максимальная длина усилительного участка, сколько нужно таких усилителей, и самое главное, длина регенерационного участка.

#### 4 Контрольные вопросы:

4.1 Пояснить механизм усиления оптического сигнала рамановским оптическим усилителем?

4.2 Изобразить структурную схему длиннопролетной ВОЛП на основе ROA усилителя?

4.3 Какие длины волн накачки применяются в ROA усилителях?

#### 5 Содержание отчета:

5.1 Цель работы.

5.2 Задание и исходные данные.

5.3 Расчеты параметров ROA усилителя. Диаграмма уровня оптического сигнала.

5.4 Выводы по работе.

5.5 Ответы на контрольные вопросы.

**ПК-1.3 владеет:** навыками пользования измерительными приборами, навыками проектирования протяженных волоконно-оптических систем передачи с периодическим усилением; навыками построения диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетных ВОЛС; навыками расчета диаграммы уровней оптического сигнала длиннопролетных ВОЛС

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### Исследование EDFA усилителей в системах DWDM

#### 1 Цель работы:

1.1 Исследование EDFA усилителей в системах DWDM.

#### 2 Подготовка к работе:

2.1 Подготовить бланк отчета, в отчете отразить цель работы, ответы на контрольные вопросы, шаблон таблицы 1.

2.2 Проработать конспект лекций по тематике лабораторной работы.

#### 3 Методические указания по выполнению работы:

3.1 Запустите программу *OptiPerformer*. На компьютере: «диск D:\Кафедра МЭС\ВПО\Активные оптические компоненты...», в открывшейся папке лабораторной работы №1, правой кнопкой мыши перетащите файл «LP2.osp» на рабочее поле программы *OptiPerformer*.

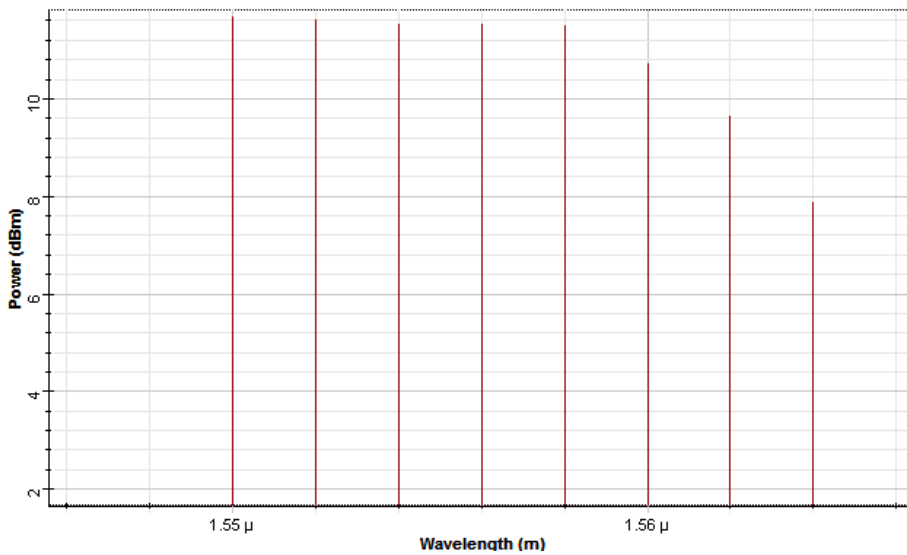
3.2 Перенести в отчет структурную схему макета лабораторной установки по исследованию характеристики EDFA усилителя.

*Примечание.* Схему представить схематически, в виде блоков с указанием названий этих блоков.

3.3 Задать значения **FiberLength (m)**, **ChannelPower (dBm)**, **PumpForwardPower (mW)**, **PumpBackwardPower (mW)**. Значения указаны в таблицей 1.

3.4 Отобразить в отчете спектр сигнала на выходе EDFA усилителя.

3.5 Рассчитать неравномерность амплитудно-волновой характеристики EDFA усилителя. Для этого, на спектрограмме следует увеличить область с усиленными оптическими каналами, как показано на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Пример увеличенной области спектрограммы полезного сигнала**

Затем, следует измерить уровни двух оптических каналов, с максимальным и минимальным уровнем, после этого произвести разницу между этими значениями. Полученное значение занести в таблицу 1

3.6 Повторить пункт 3.5 для других значений FiberLength (m), ChannelPower (dBm), PumpForwardPower (mW), PumpBackwardPower (mW) указанных в таблице 1.

**Таблица 1 – Результаты измерений**

FiberLength (m)	ChannelPower (dBm)	PumpForwardPower (mW)	PumpBackwardPower (mW)
10	-20	150	50
$\Delta\alpha_{ABX} = \text{дБ}$			
FiberLength (m)	ChannelPower (dBm)	PumpForwardPower (mW)	PumpBackwardPower (mW)
10	-20	50	150
$\Delta\alpha_{ABX} = \text{дБ}$			
FiberLength (m)	ChannelPower (dBm)	PumpForwardPower (mW)	PumpBackwardPower (mW)
5	-30	150	150
$\Delta\alpha_{ABX} = \text{дБ}$			
FiberLength (m)	ChannelPower (dBm)	PumpForwardPower (mW)	PumpBackwardPower (mW)
15	-30	50	50
$\Delta\alpha_{ABX} = \text{дБ}$			

3.7 Сделать выводы по работе.

#### 4 Контрольные вопросы:

- 4.1 Что такое амплитудно-волновая характеристика EDFA усилителя?
- 4.2 Каково значение неравномерности ABX у промышленного EDFA усилителя?
- 4.3 От каких параметров усилителя зависит величина  $\Delta\alpha_{ABX}$ ?
- 4.4 Привести пример идеальной ABX EDFA усилителя?

#### 5 Содержание отчета:

- 5.1 Цель работы.
- 5.2 Структурная схема макета лабораторной установки.
- 5.3 Таблица с результатами измерений и расчеты параметра  $\Delta\alpha_{ABX}$ .
- 5.4 Спектрограммы на выходе EDFA усилителя для четырех табличных значений.
- 5.5 Выводы по работе.
- 5.6 Ответы на контрольные вопросы.

## Типовые вопросы к Зачету

1. Оптический усилитель EDFA, структурная схема, принцип усиления.
2. Оптический ВКР-усилитель, структурная схема, принцип усиления.
3. Оптический ВРМБ-усилитель, структурная схема, принцип усиления.
4. Типы и виды оптических усилителей. Схема включения.
5. Характеристики оптических усилителей.
6. Оптический усилитель на легированном оптоволокне. Структурная схема. Окна усиления. Применяемые редкоземельные металлы.
7. Диаграмма уровней. В каких единицах измеряется уровень оптического сигнала и оптические потери в линии связи? Диаграмма уровней - это зависимость какого параметра от какого параметра ВОЛС? Что показывает диаграмма уровней оптического сигнала? Как на диаграмме уровней показываются оптические потери? Как на диаграмме уровней показывается затухание сигнала в оптоволокне?
8. Понятие OSNR. Единица измерения параметра OSNR и какие пределы данной величины? От каких параметров ВОЛС зависит OSNR? На какой параметр оптической системы связи влияет величина OSNR? Изобразить примерные графики зависимости BER(OSNR), OSNR(LВОЛС), OSNR(NOY).
9. Пояснить механизм усиления оптического сигнала рамановским оптическим усилителем? Изобразить структурную схему длиннопролетной ВОЛП на основе ROA усилителя? Какие длины волн накачки применяются в ROA усилителях?
10. ROPA усилители. Характеристики. Схема организации длиннопролетной ВОЛС.
11. Гибридные ОУ. Схема реализации.

## Типовые задачи к зачету

1. Дано: длина ВОЛС,  $P_{\text{чувст.ОУ}}$ , уровень сигнала на выходе ЛД, чувствительность фотодиода. По исходным данным, произвести расчет диаграммы уровней оптического сигнала.
2. Рассчитать коэффициент усиления усилителя если известен уровень сигнала на входе и выходе ОУ.
3. Рассчитать параметр OSNR длиннопролетной ВОЛС если известно: вводимая в волокно мощность оптического канала; коэффициент усиления; шум-фактор и количество оптических усилителей.

**5. Банк контрольных заданий и иных материалов, используемых в процессе процедур текущего контроля и промежуточной аттестации**  
Представлен в электронной информационно-образовательной среде по URI:  
<http://www.aup.uisi.ru>.

Оценочные средства рассмотрены и утверждены на заседании кафедры МЭС

31.05.2021

г

Протокол № 13

Заведующий кафедрой (разработчика)

  
подпись

Е.И. Гниломёдов  
инициалы, фамилия

31.05.2021

г.



Оценочные средства рассмотрены и утверждены на заседании кафедры [МЭС]

31.05.2021 г.      Протокол № 13

Заведующий кафедрой (разработчика)

\_\_\_\_\_

подпись

Е.И. Гниломёдов  
инициалы, фамилия

31.05.2021 г.