

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЧАСТКОВ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ ОПЕРАТОРОВ СВЯЗИ

Рекомендовано УМО по образованию
в области информатики и радиоэлектроники
в качестве учебно-методического пособия
для специальности 1-45 80-01 «Системы и сети инфокоммуникаций»

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2020

УДК 004.34:004.72(075)

ББК 32.971.35-02я73

О-753

Авторы:

О. М. Демиденко, д-р физ.-мат. наук, проф.,

А. А. Сорокин, канд. техн. наук, доц.,

А. В. Воруев, канд. техн. наук, доц.,

А. А. Олейников,

А. А. Горюнов,

В. Н. Кулинченко

Основы проектирования участков транспортной сети операторов связи : учебно-методическое пособие / О. М. Демиденко [и др.] ; М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2020. – 163 с.
ISBN 978-985-577-629-2

Текст первой части учебного пособия состоит из 5 глав. В первой, вводной, главе рассматриваются базовые принципы построения систем связи и основные элементы их составляющие. Во второй главе представлены расчеты участков транспортной сети, построенной на основе радиорелейных линий связи. Расчет волоконно-оптических линий связи показан в третьей главе. Четвертая глава посвящена обоснованию экономической эффективности проектов структурных элементов систем связи, ориентированных на корпоративное использование. Пятая глава раскрывает вопросы проведения комплексной оценки инфраструктурных проектов транспортных сетей операторов связи с использованием методов искусственного интеллекта.

Адресовано студентам специальности 1-45 80-01 «Системы и сети инфокоммуникаций».

УДК 004.34:004.72(075)

ББК 32.971.35-02я73

ISBN 978-985-577-629-2

© Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», 2020

© ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 СОСТАВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ	7
1.1 Обобщенное представление о телекоммуникационных системах.....	7
1.2 Перспективы развития систем пользовательской связи	10
2 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ НА БАЗЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ	13
2.1 Основы проектирования радиорелейных линий.....	13
2.1.1 Краткая справка о способах строительства радиорелейных линий.....	13
2.1.2 Краткие сведения об оборудовании для организации радиорелейных линий.....	15
2.1.3 Упрощенный расчет основных параметров радиорелейных линий.....	21
2.1.4 Пример расчета основных параметров радиорелейных линий.....	31
2.1.5 Список индивидуальных заданий для проектирования радиорелейных линий.....	39
Контрольные вопросы.....	42
3 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ НА БАЗЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ.....	43
3.1 Краткие сведения об общих принципах работы волоконно-оптических линий связи.....	43
3.2 Краткие сведения о кабелях используемых во время строительства волоконно-оптических линий связи.....	45
3.3 Краткие сведения о способах строительства волоконно-оптических линий связи.....	53
3.4 Методы прохождения препятствий в процессе строительства волоконно-оптических линий связи.....	61
3.5 Конструктивные особенности и крепление муфт для сращивания оптических кабелей.....	65
3.6 Основы измерения параметров и идентификации неисправностей волоконно-оптических линий связи...	70

3.7	Основные принципы соединения волокон в оптических кабелях.....	73
3.8	Краткие сведения об используемом мультиплексирующем оборудовании.....	77
3.9	Упрощенный расчет основных параметров волоконно-оптических линий связи.....	83
3.10	Пример упрощенного расчета волоконно-оптической линии связи.....	95
	Индивидуальные задания для проектирования волоконно-оптических линий связи.....	108
	Контрольные вопросы.....	110
4	ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТОВ УЧАСТКОВ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ.....	111
4.1	Краткая теоретическая справка по экономической оценке корпоративных проектов.....	111
4.2	Расчет экономической эффективности проекта участка транспортной сети на основе волоконно-оптической линии связи.....	124
5	ОПИСАНИЕ МЕТОДА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ПРОЕКТА РЕКОНСТРУКЦИИ УЧАСТКА ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ.....	137
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	156
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	157

*– Не грусти, – сказала Алиса.
– Рано или поздно все станет по-
нятно, все станет на свои места
и выстроится в единую красивую
схему, как кружева. Станет по-
нятно, зачем все было нужно,
потому что все будет правильно.*

*Л. Кэрролл (Ч. Л. Доджсон)
«Алиса в стране чудес», 1865 г.*

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение количества передаваемых данных в сети связано с развитием IoT-среды. В настоящее время каждое домашнее устройство, например, онлайн видеокамера, охранное устройство, имеет доступ к сети. Большая часть трафика приходится на развлекательный медиа-контент, а именно на видео. Помимо YouTube и других проектов видеохостинга, происходит добавление медиасодержимого в крупнейшие социальные сети, новостные каналы начинают транслировать передачи в режиме реального времени.

Резкое увеличение объема и структуры передаваемого трафика оказало давление на рынок, и требования емкости физических каналов связи пересматриваются ежегодно.

Потребителя интересуют комплексные мультивендорные решения, сочетающие в рамках структуры системы телекоммуникации унаследованные участки сети и созданные с учетом новейших стандартов, внедрение решений мобильной и беспроводной связи.

Задачи по организации сетевого трафика и балансировке нагрузки между участками сети сместились в область ответственности узлов сети (ретрансляционного оборудования) и их операционных систем. В процессе смены инфокоммуникационных систем изменилась технология подготовки квалификационных работ специалистов, выпускаемых на рынок труда. Поэтому неотъемлемой частью процесса подготовки специалиста в области инфокоммуникационных систем является получение навыков

работы с устройствами управления сетевым трафиком и средой передачи данных, с которыми они взаимодействуют.

В первой части пособия рассматриваются подходы к организации участков сети на основе волоконно-оптических и радиорелейных линий связи.

В целях более глубокого изучения вопросов, затрагиваемых в пособии, рекомендуется изучение специализированной литературы. Для поддержания актуальности получаемых знаний рекомендуется регулярное чтение периодических изданий о компьютерной и цифровой технике, а также специализированных сайтов в сети Интернет. В частности, если пособие используется как основа для формирования задания для курсового проекта или выпускной квалификационной работы, преподавателю необходимо дополнительно проконсультировать студентов о правовых основах использования радиочастотного ресурса в зависимости от региона, для которого будет проводиться расчет.

1 СОСТАВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

1.1 Обобщенное представление о телекоммуникационных системах

Модели описания сложных систем позволяют абстрагироваться от ряда вещей, которые оказывают незначительное влияние на результаты исследований. Как известно из работ [5, 12, 23], для описания систем передачи информации получили распространение семиуровневая модель взаимодействия открытых систем OSI7 (англ. Open System Interconnection) и модель стека протоколов TCP/IP (англ. Transport Control Protocol / Internet Protocol). Модель OSI7 ориентирована на описание работы практически всех современных систем связи, модель стека протоколов TCP/IP – на описание работы сетей, поддерживающих упомянутый стек протоколов, к которым можно отнести и сети семейства стандартов IEEE 802.11 и IEEE 802.16.

Ограничением описываемых видов моделей является то, что они не дают структурного представления о работе системы передачи и обработки информации. Для восполнения этого ограничения используются модели, которые описывают, из каких обобщенных структурных элементов должна состоять система связи. Наиболее универсальной является модель, построенная на основе обобщенной логической архитектуры территориальных сетей подвижной радиосвязи [12]. С учетом практического опыта она была усовершенствована и в окончательном виде рассматривается в настоящем пособии. Итак, структуру любой системы передачи информации можно разделить на следующие составные элементы: подсистема абонентского оборудования, подсистема доступа, подсистема транспортной сети, подсистема управления. Внешний вид модели, ориентированной на описание систем сотовой связи, приведен на рисунке 1.1.

В состав подсистемы абонентского оборудования входят мобильные телефоны, смартфоны, планшеты, "умные" часы, ноутбуки, компьютеры, а также различные датчики и бытовая техника, работающие по принципам "интернета вещей".

Общим признаком оборудования подсистемы доступа является прием и выдача информации конечному пользователю.

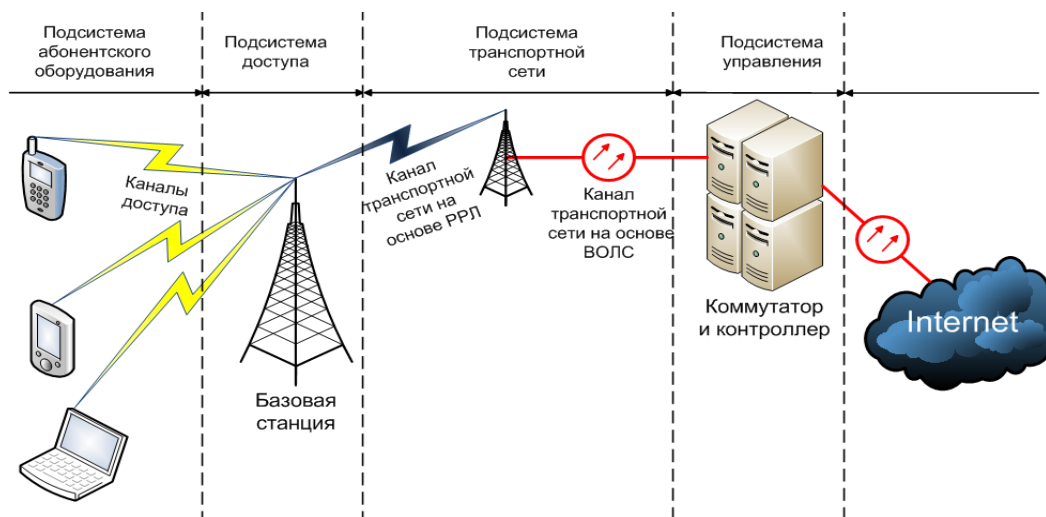


Рисунок 1.1 – Структурная модель инфокоммуникационной системы на примере сети сотовой связи

В роли конечного потребителя сетевого трафика может быть как человек, так и какая-либо автоматическая система, используемая, например, в управлении движением транспорта. Взаимодействие с сетью абонентское оборудование осуществляет при помощи канала доступа. Для организации канала доступа может использоваться какая-либо направляющая среда в виде:

- оптического кабеля, как это сделано в сетях PON (англ. Passive optical network), GPON (англ. Gigabit PON), FTTH (англ. Fiber to the Home) и др.;
- медного кабеля, как это реализовано в сетях Ethernet или xDSL (англ. Digital Subscriber Line); следует отметить, что на момент подготовки пособия технология xDSL признана устаревшей, но ее эксплуатация может продолжаться относительно длительный период времени;
- радиоканалов сетей сотовой связи 2–4-го (5-го) поколений, беспроводных сетей передачи информации семейства стандартов IEEE 802.11 (Wi-Fi) и IEEE 802.16 (Wi-MAX); следует также отметить, что на момент подготовки пособия технология Wi-MAX аналогично xDSL признана устаревшей (по мнению авторов, возможно и не совсем оправданно), но ее эксплуатация может продолжаться некоторый период времени;

- оптических каналов передачи данных, например, таких как технология Li-Fi или ее аналоги, подобные технологии на момент написания работы находятся в стадии разработки, тем не менее в ближайшие 5–10 лет они могут выйти на рынок бытовой электроники (кстати, уважаемый читатель, у тебя есть возможность проверить достоверность нашего прогноза, если на дворе 2022 год или более поздняя дата).

Согласно рисунку 1.1 в качестве взаимодействия абонентского оборудования и подсистемы доступа использованы радиоканалы.

В состав подсистемы доступа применительно к проводным сетям относятся коммутаторы доступа, а применительно к беспроводным системам связи – это, как упоминалось несколько выше, базовые станции систем мобильной связи и точки доступа беспроводных сетей передачи данных. Основная их задача – обеспечение доступа абонентских устройств к сервисам, которые предоставляет сеть. Что касается систем сотовой связи, то базовые станции располагаются на специальных мачтах, домах, других высотных сооружениях, реже они используются для обслуживания абонентов внутри зданий и на объектах транспорта. (Информация о методах организации систем сотовой связи общего и специализированного назначения будет изложена в соответствующем разделе учебно-методического пособия). Для предоставления услуг связи внутри помещений более широкое распространение получили беспроводные сети семейства стандартов IEEE 802.11 b/g/n/ac (Wi-Fi) и др., их основная задача – обеспечение доступа к услугам сети Internet. Для решения организации доступа к "классическим" услугам мобильных операторов в труднодоступных местах развиваются методы конвергенции сетей Wi-Fi с сетями сотовой связи.

Подсистема транспортной сети используется для передачи трафика с подсистем доступа к подсистеме управления оператора и для обеспечения взаимодействия сети заданного оператора с сетями других операторов и интернет-провайдеров.

Транспортная сеть – один из важнейших элементов структуры системы связи, на нее ложится задача объединения и передачи информационных потоков между базовыми станциями и другими сегментами сети, а также взаимодействие сети оператора с другими сетями. Реализация транспортных сетей преимущественно основана на использовании радиорелейных диапазонов 7–40 ГГц (РРЛ) и волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Другие ме-

тоды, основанные на воздушно-оптических линиях связи или радиолниях с использованием частот выше 60 ГГц, не получили широкого применения ввиду ограничения дальности распространения сигнала.

Несмотря на ряд ограничений, использование РРЛ для организации участка транспортной сети целесообразнее в случаях:

- если необходимо оперативное развертывание канала;
- когда на участке прокладки трассы имеются водные преграды, через которые нецелесообразно проложить кабель;
- если на участках трассы имеются горные преграды, сейсмическая активность или другие факторы, мешающие строительству и эксплуатации ВОЛС.

На момент подготовки пособия наибольшее распространение получили методы организации транспортной сети на основе:

- радиорелейных линий (РРЛ) прямой видимости, использующих частоты диапазонов от 7 до 40 ГГц;
- волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), использующих необходимое мультиплексирующее оборудование и оптический кабель.

Кроме РРЛ и ВОЛС, в отдельных случаях находят применение атмосферные оптические системы передачи информации, основанные на применении лазеров, и беспроводные мосты в диапазоне частот от 70 до 80 ГГц, в отдельных случаях используются мосты, основанные на стандарте беспроводной сети доступа IEEE 802.11a в диапазоне 5,2 ГГц.

1.2 Перспективы развития систем пользовательской связи

Основным аргументом привлечения инвестиций в развитие конкретного технического направления развития сетевых устройств является текущее или прогнозируемое увеличение численности потребителей данного оборудования. Такое увеличение может иметь как прямой характер, в нише продаж конечным пользователям устройств связи (рисунок 1.2) [68], так и выражаться во вторичных признаках, то есть в изменении потребности пользователей в объеме транслируемого трафика (рисунок 1.3) [18]. Безусловно, что такие признаки нередко объединяются и создают условия, когда различные вендоры

предлагают различные проприетарные решения, эффективность которых рынок оценивает по активности конечных потребителей.

С долей в 44 % смартфоны, мобильные телефоны и носимые устройства по-прежнему удерживают лидерство на рынке технологических товаров, общий объем которого достиг 1,2 триллиона долларов. Хотя глобальный спрос на смартфоны в 2018 г. снизился на три процента, объем продаж остается на высоком уровне, достигая 522 миллиарда долларов. Таковы данные, опубликованные GfK в феврале 2019 г. специально к началу Mobile World Congress в Барселоне.

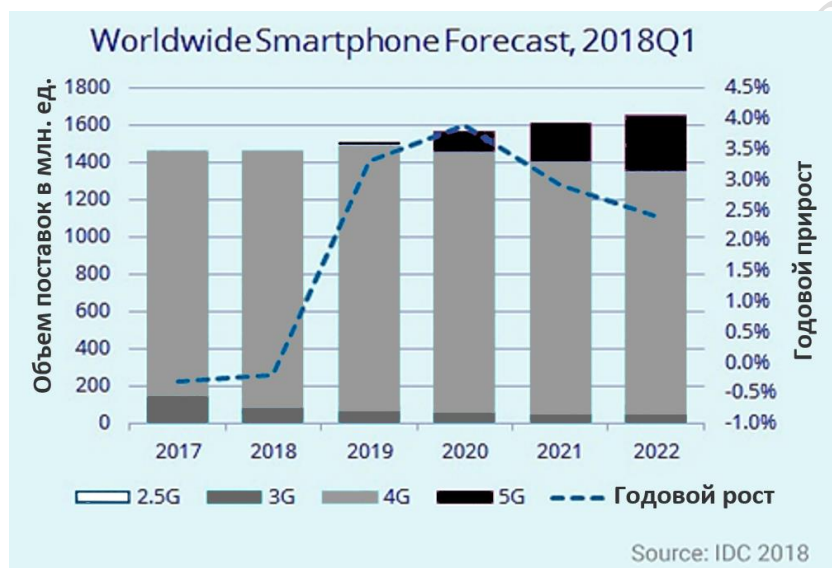


Рисунок 1.2 – Динамика рынка продаж смартфонов

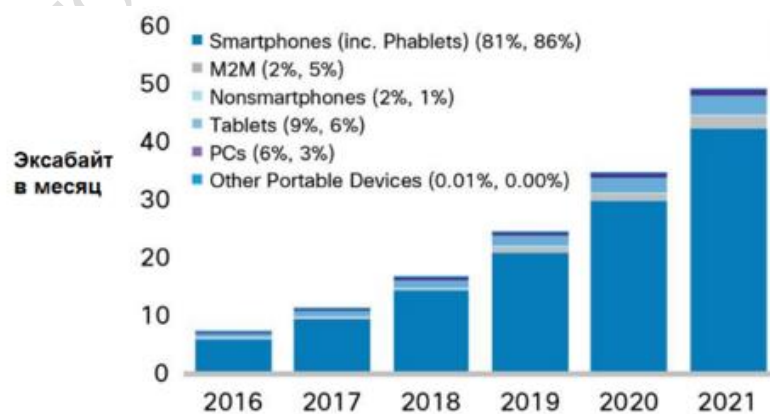


Рисунок 1.3 – Рост потребности в сетевом трафике с учетом типа устройств

К 2021 г. годовой объем мирового мобильного трафика достигнет 367 эксабайтов (в 2015 г. – 44 эксабайта). Это произойдет благодаря четырём основным стимулам – росту числа мобильных пользователей, росту числа мобильных соединений (M2M, которое превышает число мобильных пользователей) за счёт “интернета вещей”, росту средней скорости передачи данных, которая увеличится в 3 раза, и повышению объёмов передачи видео по мобильным сетям.

В следующей главе рассматриваются базовые принципы расчета РРЛ, которые необходимо включить в разделы выпускной квалификационной работы, более подробные методики расчета рассматриваются в специальной литературе, например работах [3].

2 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ НА БАЗЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

2.1 Основы проектирования радиорелейных линий

2.1.1 Краткая справка о способах строительства радиорелейных линий

Радиорелейная линия (РРЛ) состоит из последовательности станций, которые обеспечивают прием и передачу сигнала. При использовании РРЛ в системах мобильной связи антенны соседних станций находятся в пределах прямой видимости. РРЛ не прямой видимости преимущественно используются в системах связи специализированного назначения, примером являются тропосферные линии связи. Пример РРЛ прямой видимости показан на рисунке 2.1.

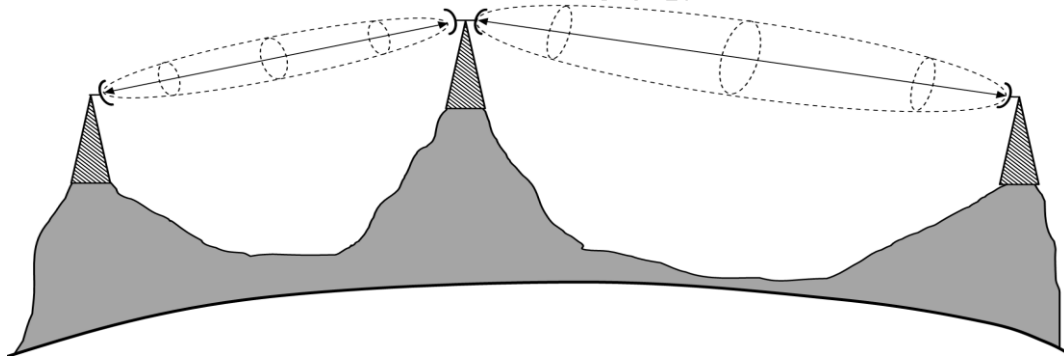


Рисунок 2.1 – Пример радиорелейной линии

Как видно из рисунка 2.1, РРЛ представляет собой цепочку приемо-передающего оборудования. Установка РРЛ-станций, как правило, производится недалеко от места крепления базовой станции. Диапазон используемых частот составляет от 6 до 52 ГГц, наиболее широкое распространение получили РРЛ диапазона от 7 до 30 ГГц. Структурно радиорелейные станции разделяют на оконечные радиорелейные станции (ОРС), промежуточные радиорелейные станции (ПРС) и узловые радиорелейные станции (УРС). ОРС используются для подключения к подсистеме доступа, например, базовой станции; ПРС – как промежуточные станции, которые принимают и передают информацию между соседними станциями; УРС – для объединения

и распределения потоков между несколькими станциями. Пример РРЛ-сети, состоящей из нескольких типов станций, показан на рисунке 2.2.

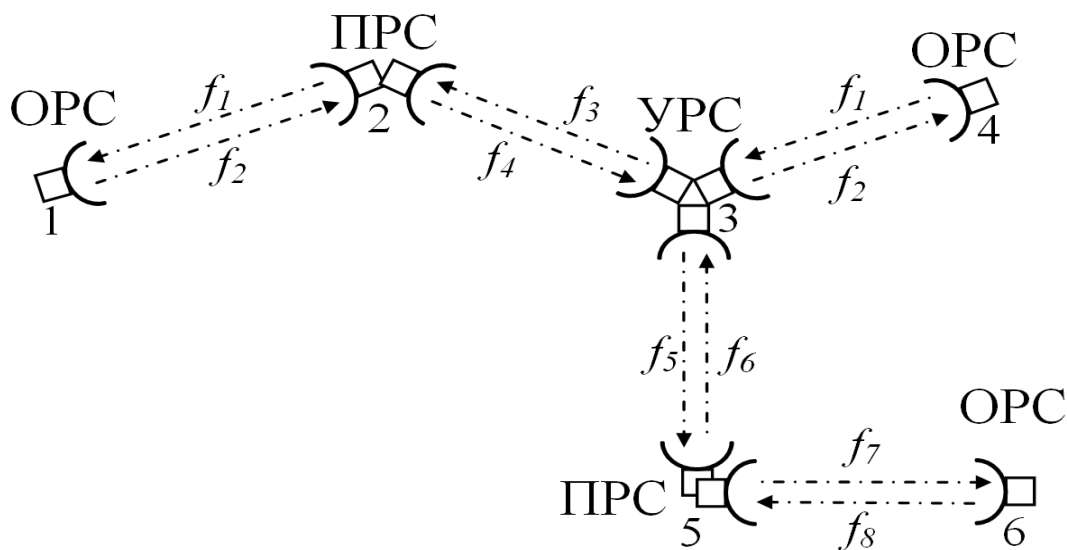


Рисунок 2.2 – Пример топологии сети с различными типами радиорелейных станций

Расстояние между радиорелейными станциями, как правило, составляет от 2 до 40 км, реже расстояния могут достигать 80 км. Участки между соседними станциями часто называют "интервалами", или "пролетами". Для того чтобы станции не мешали друг другу, их располагают не вдоль "по цепочке" друг за другом, а зигзагообразно, как это показано на рисунке 2.2. Кроме того, в соседних интервалах должны использоваться разные частоты, это необходимо для того, чтобы избежать интерференционных замираний. Так, на рисунке 2.2 видно, что между станциями используются различные пары частот, кроме пары 3–4, между которыми используются частоты, аналогичные тем, что использованы между парой 1–2.

В комплект поставки радиорелейного оборудования, как правило, входят "внутренний" блок, который устанавливается рядом с источником трафика, например, базовой станцией или мультиплексором, и внешний блок, который устанавливается на мачте вместе с антенной. Кроме того, встречаются решения в виде одного блока, устанавливаемого вместе с антенной на мачте, а подключение к источнику (получателю) сигнала производится при помощи медного или оптического кабеля.

В число основных этапов расчета радиорелейной линии входят:

- расчет требуемого коэффициента усиления антенны;
- определение запаса на замирание и построение графика потенциала линии связи;
- определение высоты подвеса антенны с учетом рельефа местности и размера первой зоны Френеля.

2.1.2 Краткие сведения об оборудовании для организации радиорелейных линий

В настоящее время используются технические решения от различных производителей, в рамках пособия рассматривается оборудование фирм Nec (*линейка Neo Pasolink*) и Микран (*линейка Y-Packet*).

Оборудование *Pasolink Neo* [36, 65] поддерживает диапазон частот 6, 7, 8, 11, 13, 15, 18, 23, 26, 28, 32, 38, 52 ГГц, имеет возможность подключения к сетям с плезеохронной – PDH, и синхронной – SDH, цифровой иерархии, а также к локальным LAN сетям, поддерживающим стандарт Ethernet. Оно позволяет передавать от 4 до 48 потоков E1, 1–2 потока E3, 1–2 потока STM-1, при передаче трафика локальной сети скорость может достигать 150 Мбит/с, выходной уровень мощности передатчика достигает 26 дБм. Конструктивно станция состоит из двух модулей: внешнего – ODU (англ. Outdoor unit, размещаемый вне здания), и внутреннего – IDU (анг. Indoor unit, размещаемый внутри здания). К наружному – ODU, подключается узконаправленная антенна; соединение внутреннего блока с наружным обеспечивается при помощи коаксиального кабеля. Диапазон температур, в которых может работать станция, составляет для внешнего блока от –40 до +50 °С при значении влажности до 100 %, для внутреннего блока от +5 до +50 °С при уровне допустимой влажности до 80 %. Вид соединения антенны и наружного модуля, закрепленного на кронштейне, показан на рисунке 2.3 [65]. Демонстрация соединения внешнего и внутреннего модулей с перечнем возможных для подключения интерфейсов показана на рисунке 2.4 [65].



Рисунок 2.3 – Вид соединения антенны и наружного модуля, закрепленного на кронштейне станции Pasolink Neo

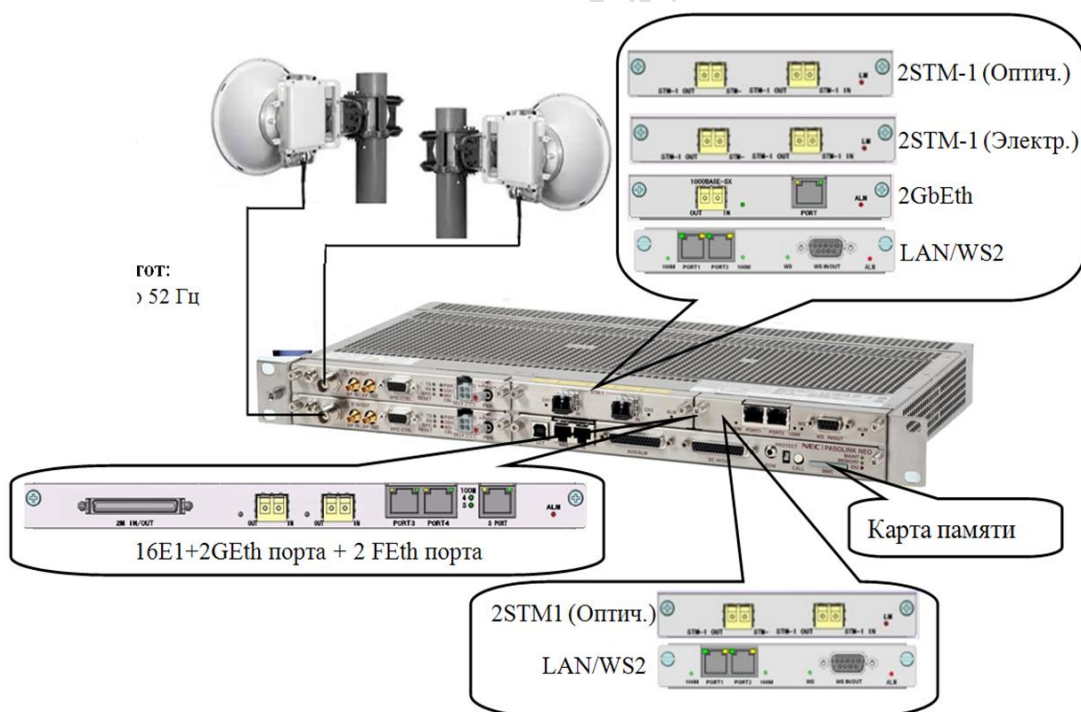


Рисунок 2.4 – Соединение внешнего и внутреннего модулей станции Pasolink Neo с перечнем возможных комплектов дополнительных модулей

Энергетические параметры оборудования, которые можно использовать в учебных расчетах, приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Усредненные энергетические параметры Pasolink Neo

Наименование параметра	Значение параметра
Мощность передатчика, дБм	26
Чувствительность приемника, дБм	-60 ÷ -85, рекомендуется использовать - 75
Коэффициент усиления антенны, дБ: – для диаметра 0,6 м, частоты 13 ГГц – для диаметра 0,8 м, частоты 13 ГГц – для диаметра 1,2 м, частоты 13 ГГц – для диаметра 1,8 м, частоты 13 ГГц	36,0 38,6 42,1 45,6
Потери на соединителе между ODU и антенной, дБ	0,5
<i>Примечание – При проведении точных расчетов необходимо воспользоваться специальными формулами для определения чувствительности приемника и коэффициента усиления антенн, которые учитывают частоту и другие параметры сигнала, но, как показывает опыт, в процессе выполнения прикладных расчетов значения приведенных параметров в целом достаточны.</i>	

В настоящее время получает все большее распространение оборудование линейки NEC Pasolink Neo iP, обеспечивающее передачу информации на скоростях до 1,6 Гбит/с. Стоимость комплектов оборудования для создания одного интервала, как правило, начинается от 200–250 тыс. руб., дополнительно нужно учитывать стоимость мачтового хозяйства.

Кроме использования теоретических соотношений, возможно использование каталогов производителей. Для радиорелейной станции Pasolink Neo на момент подготовки пособия каталог доступен по ссылке:

http://nec-pasolink.narod.ru/PASOLINK_Neo_RUS.pdf



Оборудование *Y-Packet* [47] ориентировано на работы в диапазоне 6, 7, 8, 10,5, 11, 13, 15, 18, 23 и 38 ГГц, обеспечивая скорость передачи до 416 Мбит/с (до 840 Мбит/с в режиме обеспечения двойной емкости). Внешний вид станции показан на рисунке 2.5 [47].



Рисунок 2.5 – Внешний вид радиорелейной станции Y-Packet

Как видно из рисунка 2.5, главным отличием рассматриваемой станции является то, что все коммутационное и радиопередающее оборудование реализовано во внешнем модуле, что упрощает задачу монтажа оборудования. Диапазон рабочих температур находится в пределах от -55 до $+55$ °С. Имеет оптические и электрические Ethernet интерфейсы. Характеристики, которые понадобятся при проведении упрощенного расчета параметров интервала, приведены в таблице 2.2. Результаты показаны при учете, что коэффициент использования антенны составил 0,6.

Таблица 2.2 – Энергетические параметры радиорелейной станции Y-Packet компании "Микран"

Наименование параметра	Значение параметра
Мощность передатчика, дБм	16 ÷ 26
Чувствительность приемника, дБм	-54 ÷ -85 , рекомендуется использовать -75
Коэффициент усиления антенны, дБ:	
– для диаметра 0,3 м, частоты 14 ГГц	30,7
– для диаметра 0,6 м, частоты 14 ГГц	36,7
– для диаметра 0,8 м, частоты 14 ГГц	39,2
– для диаметра 1,2 м, частоты 14 ГГц	42,7
– для диаметра 1,8 м, частоты 14 ГГц	46,3
Потери на соединителе между ODU и антенной, дБ	0,5

Примечание – При проведении точных расчетов необходимо воспользоваться специальными расчетными формулами для определения чувствительности приемника и коэффициента усиления антенн, которые учитывают частоту и другие параметры сигнала, но, как показывает опыт, в процессе выполнения прикидочных расчетов значения приведенных параметров в целом достаточны.

Кроме применения теоретических соотношений, возможно использование каталогов производителей. Для радиорелейной станции Y-Packet более подробная информация, на момент подготовки пособия, доступна в каталоге по ссылке:

<https://www.rus-telcom.ru/catalog/radiorele/ypacket.html#desc>



При проведении учебных расчетов стоимость данного оборудования Y-Packet следует принимать в пределах 350 ÷ 400 тыс. руб. за 1 комплект (пару радиорелейных станций с антеннами). Точную информацию по ценам можно найти при помощи запроса у производителя или дилеров.

Особенностью линейки оборудования *Siklu EtherHaul-1200* является использование частотных диапазонов 71–76 и 81–86 ГГц [32]. Оборудование поставляется с антеннами диаметров 0,3 и 0,6 м в виде единого модуля, предназначенного для наружной установки. Внешний вид оборудования показан на рисунке 2.6.



Рисунок 2.6 – Вид оборудования EtherHaul-1200

На использование подобного оборудования, по заявлениям поставщиков, не требуется получение разрешительной документации на основании решения Главного радиочастотного центра

(ГРЧЦ) №10-07-04-01 и №10-07-04-02 от 15 июля 2010 года. Более точную информацию можно почерпнуть в источниках ГРЧЦ или Роскомнадзора, что предлагается читателю сделать самостоятельно. Обобщенно характеристики оборудования Siklu Ether Haul различных конфигураций приведены в таблице 2.3.

Приведенная информация и виды по оборудованию не являются исчерпывающими, в процессе выполнения задания преподавателю рекомендуется производить поиск аналогичного оборудования самостоятельно в сети Интернет либо уточнять у сотрудников предприятий связи, например из числа стратегических партнеров выпускающей кафедры.

В п. 2.1.3 приводятся основные формулы для расчета участка транспортной сети, построенного при помощи радиорелейной линии.

Таблица 2.3 – Основные характеристики оборудования EtherHaul

Тип оборудования	EtherHaul-1200L (бюджетная версия)	EtherHaul-1200T (высокопроизводительная бюджетная версия)	EtherHaul-1200F (высокопроизводительная версия, полный дуплекс)
Диапазон частот	71–76 ГГц	71–76 ГГц	71–76/81–86 ГГц
Скорость передачи информации	До 700 Мбит/с (суммарно в две стороны: приём + передача)	До 1 Гбит/с (суммарно в две стороны: приём + передача)	До 1 Гбит/с (в каждую сторону, полный дуплекс)
Антенны (размер / коэффициент усиления), на частоте 75 ГГц	0,3 м – 45dBi. 0,6 м – 52dBi.		
Интерфейсы Ethernet	2×100/1000 Base –T (RJ-45) – кабель "витая пара" 2x1000Base-X (SFP) – оптические кабели		
Потребляемая мощность	25 Вт	25 Вт	30 Вт
Мощность передатчика	5 дБм		
	–63 ÷ –80 дБм (при расчетах в рамках заданий пособия рекомендуется использовать значение –75 дБм)		
Цена	250–350 тыс. руб., в зависимости от комплектности		

Более подробная информация об оборудовании EtherHaul-1200 доступна по ссылке:

[https://radio-2.ru/files/Siklu/Siklu_EtherHaul_\(radio-2.ru\).pdf](https://radio-2.ru/files/Siklu/Siklu_EtherHaul_(radio-2.ru).pdf)



2.1.3 Упрощенный расчет основных параметров радиорелейных линий

В рамках пособия предлагается упрощенный расчет участка транспортной сети на основе РРЛ, который состоит из двух этапов:

- 1) определение запаса на замирание;
- 2) определение рекомендуемой высоты подвеса антенн.

С методикой полного расчета читатель имеет возможность ознакомиться в ГОСТ Р 53363-2009 "Цифровые радиорелейные линии. Показатели качества. Методы расчета" [6], с которым можно ознакомиться, например, по ссылке:

Цифровые радиорелейные линии, показатели качества, методы расчета.

http://docs.nevacert.ru/files/gost/gost_r_53363-2009.pdf



Основные допущения: принимается, что канал признается годным, если запас на замирание превышает 25 дБ, а в первой зоне Френеля нет препятствий, связанных с рельефом местности, наличием зеленых насаждений и построек, т. е. интервал является полностью открытым. Подобное является довольно грубым допущением, однако позволяет оценить потенциальную работоспособность РРЛ, работающих в широком диапазоне частот. В рамках пособия предполагается, что диапазон работы проектируемой РРЛ находится в пределах от 7 до 35 ГГц.

Определение запаса на замирание

Расчет запаса на замирание предполагает выполнение этапов:

- 1) первоначальное определение коэффициента антенны, в зависимости от используемой частоты сигнала;
- 2) определение затухания сигнала в пространстве между антеннами приемной и передающей станций;
- 3) определение уровня мощности сигнала на входе в приемник с учетом мощности передатчика, коэффициентов усиления антенны, потерь на соединениях между антенной и передатчиком, а также антенной и приемником, затухания сигнала в пространстве;
- 4) определение запаса на замирание с учетом значения потенциала линии связи и чувствительности приемника;
- 5) построение графика потенциала линии связи с указанием запаса на замирание;
- 6) уточнение диаметра антенн с учетом того, что значение запаса на замирание должно находиться в диапазоне от 25 до 35 дБ для районов, в которых наблюдается небольшое количество осадков, и от 30 до 45 дБ в районах с интенсивными осадками (приведенные значения запаса на замирание получены эмпирическим путем).

Для определения коэффициента усиления антенны G используется соотношение вида

$$G_{\text{ант.}} = 10 \log \left(\frac{10 \cdot g \cdot D^2}{\lambda^2} \right), \text{ дБ} \quad (2.1)$$

где g – это коэффициент использования поверхности антенны, обычно его значение находится в пределах $0,55 \div 0,65$;

D – диаметр антенны в метрах;

λ – длина волны, в метрах. Значение λ определяется из соотношения вида

$$\lambda = c / f, \text{ м} \quad (2.2)$$

где c – скорость света в вакууме, и равна $3 \cdot 10^8$ м/с;

f – частота сигнала, в Гц (герцах).

Значение частоты указывается в техническом задании на подготовку проекта, так как на ее использование часто требуется получение разрешения в государственном контролирующем органе, который отвечает за регулирование области телекоммуникаций. Применительно к условиям Российской Федерации это Роскомнадзор, который на основании экспертизы Главного радиочастотного центра выдает разрешение на использование определенного частотного номинала. Использование другого (неразрешенного) номинала частот повлечет наложение штрафных санкций и запрет на эксплуатацию линии. В процессе подготовки дипломного проекта (выпускной квалификационной работы) подобную информацию можно получить на предприятии или у научного руководителя.

После определения коэффициента усиления производится определение затухания сигнала между приемо-передающими устройствами. Это производится при помощи модели свободного пространства:

$$L_{св. прост.} = 20 \lg \left(\frac{4\pi \cdot d}{\lambda} \right), \text{ дБ} \quad (2.3)$$

где d – расстояние между двумя станциями в метрах, между которыми организуется канал;

π – математическая постоянная, значение которой приближенно равно 3,14;

λ – длина волны в метрах, определяемая из соотношения (2.2).

Для определения уровня сигнала на входе приемника $P_{пр.}^{вход}$ используется соотношение

$$P_{пр.}^{вход} = P_{пер.} - L_{фид. пер.} + G_{ант. пер.} - L_{св. прост.} + G_{ант. пр.} - L_{фид. пр.}, \text{ дБ} \quad (2.4)$$

где $P_{пер.}$ – мощность передатчика, дБм, указывается в параметрах оборудования, в таблицах, аналогичных таблицам 2.1–2.3;

$L_{фид. пер.}$ ($L_{фид. пр.}$) – потери в соединении между выходом передатчика (входом приемника) и интерфейсом антенны, дБ

(как показал обзор оборудования в разделе 2.1, чаще всего встречаются современные радиорелейные станции двух видов – с внутренним и внешними модулями – аналоги PPC Nec Neo Pasolink и одномодульные – аналоги Y-Packet и Ether Haul; при этом у обоих видов выход передатчика и антенна соединены при помощи разъема, кабели не используются, потери, как правило, на подобных разъемах составляют $0,3 \div 0,5$ дБ);

$G_{\text{ант. пер.}} (G_{\text{ант. пр.}})$ – коэффициент усиления антенны передатчика (приемника), дБ, определяется при помощи соотношения (2.1);

$L_{\text{св. прост.}}$ – потери в пространстве, вычисляются при помощи соотношения (2.3).

После определения уровня мощности сигнала на входе в приемник $P_{\text{пр.}}^{\text{вход}}$ определяется запас на замирание:

$$P_{\text{запас.}} = P_{\text{пр.}}^{\text{вход}} - P_{\text{пр.}}^{\text{реальн.}}, \text{ дБ} \quad (2.5)$$

где $P_{\text{пр.}}^{\text{реальн.}}$ – расчетное или табличное значение чувствительности приемника, дБ, в рамках рассматриваемого пособия $P_{\text{пр.}}^{\text{реальн.}}$ берется из значений параметров радиорелейных станций, указываемых производителем, в таблицах, аналогичных таблицам 2.1–2.3.

Завершающим этапом расчета запаса на замирание служит построение диаграммы потенциала линии связи, которая, по сути, является графиком, отображающим поэтапное определение значения соотношений (2.4) и (2.5). Пример графика потенциала линии связи показан на рисунке 2.7.

Как правило, величина запаса на замирание должна находиться в пределах $20 \div 30$ дБ, если она будет ниже 20 дБ, то в канале связи будут происходить ухудшения во время выпадения осадков в виде снега или дождя. Если запас на замирание превысил 30 дБ, это говорит о чрезмерном запасе по мощности и неоправданном увеличении затрат на антенны или приемопередающее оборудование. Учитывая, что мощность передатчика и чувствительность приемника регулируется на радиорелейной станции и ее корректировка не вызывает больших трудностей, в процессе расчета целесообразно скорректировать коэффициент усиления антенны за счет выбора антенны с другим радиусом

(большим, если запас на замирание ниже допустимого, и меньшим, если запас на замирание слишком большой).



Рисунок 2.7 – Потенциал линии связи радиорелейной линии

Определение высоты подвеса антенны

Высота подвеса антенн – это очень важный параметр. Как показала практика учебных расчетов, существуют два подхода к определению этого параметра:

1) определение наиболее целесообразной высоты подвеса с учетом рельефа местности;

2) выяснение, отсутствуют ли препятствия в первой зоне Френеля при заданной высоте подвеса антенн.

Второй случай на практике встречается чаще, так как высота подвеса антенны часто указывается в разрешительной документации на строительство интервала. Промежуточные этапы проведения расчетов для первого и второго случаев одинаковы, отличия наблюдаются лишь в конечном.

Вначале определяется кривизна земли из соотношения

$$y = (R_0^2 / [2 \cdot R_3]) \cdot k_i (1 - k_i) \cdot 10^3, \text{ м} \quad (2.6)$$

где R_0 – расстояние между радиорелейными станциями, км;

$k_i = R_i / R_0$ – коэффициент, характеризующий отношение расстояния до заданной точки R_i к расстоянию R_0 ;

R_3 – радиус земли, 6 371 км.

Пример графика, получающегося в результате использования формулы (2.6) и при $R_0 = 10$ км, приведен на рисунке 2.8.

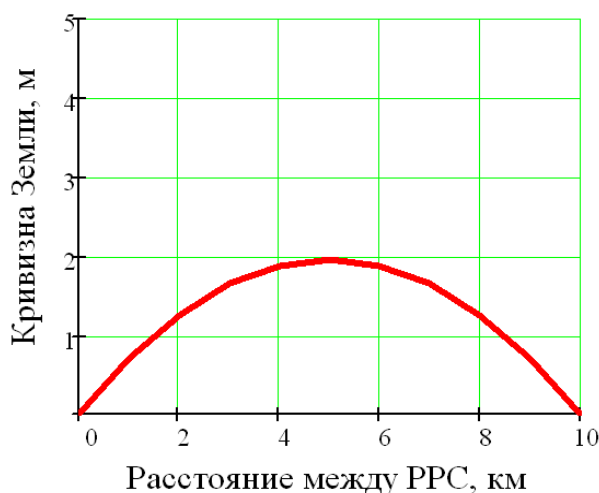


Рисунок 2.8 – Пример графика, показывающего кривизну Земли

После определения кривизны Земли определяется размер первой зоны Френеля. Первая зона Френеля – это область, в которой сконцентрирована основная часть энергии, излучаемой передатчиком радиорелейной станции. Для ее построения используется соотношение вида

$$H_i = \sqrt{[R_0 \cdot 10^3 \cdot \lambda \cdot k_i (1 - k_i)] / 3}, \text{ м} \quad (2.7)$$

где R_0 , аналогично (2.6), – расстояние между радиорелейными станциями, м;

λ , аналогично (2.3), – длина волны радиосигнала, м, определяется из соотношения (2.2) – $\lambda = c / f$;

k_i , аналогично (2.6) – коэффициент, характеризующий отношение расстояния до заданной точки R_i к расстоянию R_0 , определяется из соотношения $k_i = R_i / R_0$.

Пример графика, показывающего первую зону Френеля, из предположения, что $R_0 = 10$ км, а частота $f = 13 \cdot 10^9$ Гц = 13 ГГц, изображен на рисунке 2.9. Так как зона Френеля представляет собой эллипсоид вращения, то для получения более реалистичного графика предлагается построить график с двумя функциями – функцией, полученной из соотношения (2.7) и функцией, которая будет "зеркальной" соотношению (2.7). Пример графика первой зоны Френеля в виде эллипса показан на рисунке 2.10.

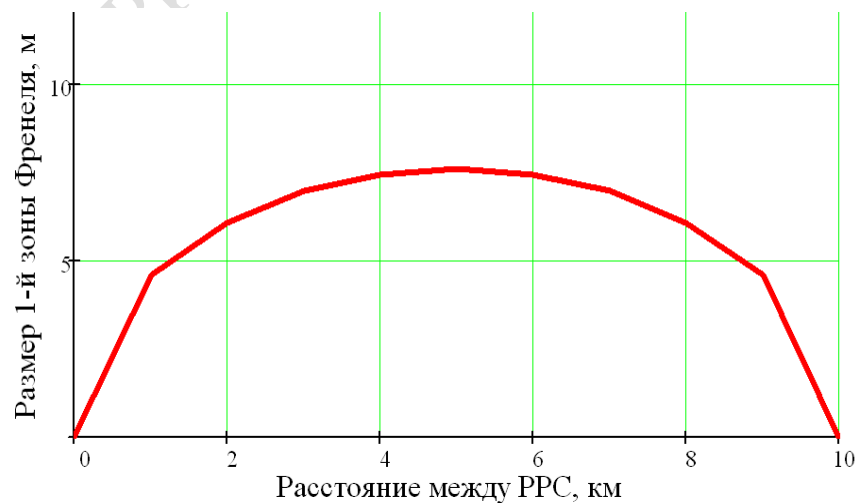


Рисунок 2.9 – Пример графика, показывающего первую зону Френеля, полученную из соотношения (2.8)

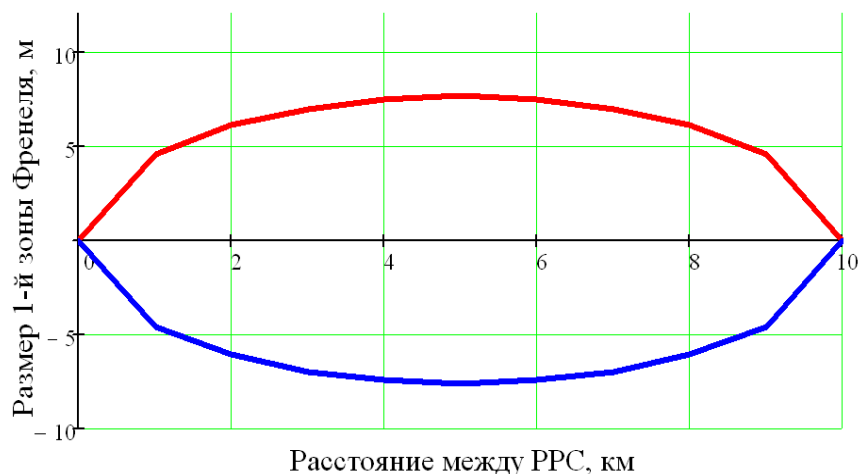


Рисунок 2.10 – Пример графика, показывающего первую зону Френеля

Завершающим этапом является построение профиля пролета радиолинии и размещение на заданной высоте антенн с указанием графиков первой зоны Френеля и области прямой видимости, как это показано на рисунке 2.11.

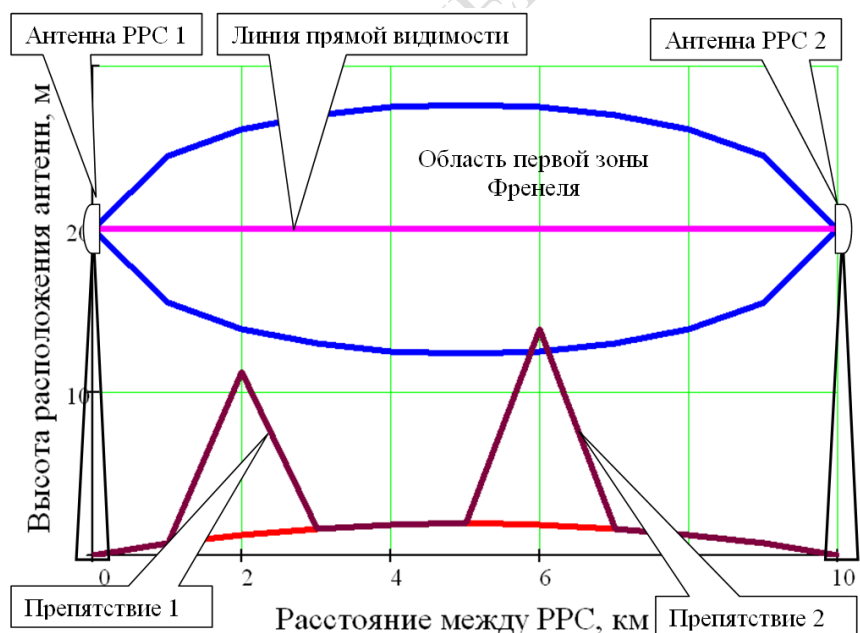


Рисунок 2.11 – Схематическое изображение профиля РРЛ с препятствиями

Относительно примера, показанного на рисунке 2.9, ситуация с каналом не очень хорошая, поскольку "Препятствие 2" попадает в первую зону Френеля, в результате чего будут возникать потери. Подобное не говорит о том, что канал окажется неработоспособным,

однако при плохих погодных условиях вероятность снижения качества передачи информации значительно возрастает. Подумайте, какие меры можно предпринять, чтобы исправить ситуацию, показанную на рисунке 2.11.

При определении высоты препятствия, в рамках расчетов, предлагаемых в пособии, предлагается исходить из соображений, приведенных в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Усредненная высота препятствий при расчете радиорелейных линий

Наименование типа препятствия	Значение параметра
Городское жилое здание этажностью от 5 до 25 этажей, постройки после 60-х гг. 20 века	2,75÷3 м на 1 этаж, 3÷3,5 м – технический этаж с постройками на крыше, 1÷1,5 м – подвал от уровня земли
Городское жилое здание этажностью от 2 до 9 этажей, постройки до 60-х гг. 20 века	3÷3,5 м на 1 этаж, 3,5÷4 м – технический этаж с постройками на крыше, 1÷1,5 м – подвал от уровня земли
Городское офисное здание этажностью от 5 до 25 этажей, постройки после 60-х гг. 20 века	3÷3,5 м на 1 этаж, 2÷3 м – технический этаж с постройками на крыше, 0÷2 м – подвал от уровня земли
Производственные помещения, цеха	15÷20 м – общая высота от уровня земли
Торгово-развлекательные центры от 1 до 5 этажей	4,5÷5,5 м на 1 этаж, 2÷3 м – технический этаж с постройками на крыше, 0÷1 м – подвал от уровня земли
Одноэтажные дома частного сектора	3÷5 м – общая высота от уровня земли
Высота лиственного дерева в европейской части	15 ÷ 20 м
Высота хвойного дерева в европейской части	20 ÷ 30 м
Высота мачты для крепления антенны на крыше здания	3 ÷ 5 м
Высота мачты для крепления антенны на открытой площадке	15 ÷ 70 м

Сведения, приведенные в таблице 2.4, не являются исчерпывающими и при проведении расчетов, ориентированных на определенную местность, информация о высотах сооружений и деревьев

подлежит уточнению. Для получения информации о высотности зданий в определенном городе можно воспользоваться специальными справочниками, имеющимися на предприятиях как местах прохождения практик или геоинформационной системой открытого доступа, например такой, как 2GIS. Геоинформационная система 2GIS доступна по ссылке <https://2gis.ru/>, а также на интернет-порталах для загрузки приложений для мобильных устройств, например GooglePlay.

Кроме деревьев и сооружений, необходимо учитывать особенности рельефа в виде холмов, впадин, а при проведении более точных расчетов – и водных преград, поскольку от них могут происходить отражения передаваемого сигнала, и негативно влиять на качество принимаемого сигнала. Информацию о рельефе местности можно получить из топографических карт или соответствующих геоинформационных систем. В настоящее время часть подобных геоинформационных систем находится в открытом доступе, перечень некоторых из них со ссылками для доступа приведен в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Ресурсы для получения информации о рельефе местности

Наименование ресурса	Web - ссылка	QR-код для считывания ссылки камерой мобильного устройства
Страница "Профиль радиолинии" сайта компании "Микран"	http://www.micran.ru/tools/profile/	
Страница ресурса "Linktest "	http://www.linktest.ru/	
Страница ресурса "Geocontext":	http://www.geocontext.org/publ/2010/04/profiler/ru/	

Опыт использования показал, что особенностью приведенных ресурсов является то, что они показывают рельеф местности без учета нахождения на нем зеленых насаждений или зданий. Поэтому для точного построения рекомендуется совместное использование ресурсов, приведенных в таблице 2.5 с 2GIS; кроме того, приблизительную информацию о зеленых насаждениях и сооружениях можно получать, используя ресурсы Яндекс.Карты (ссылка для доступа <https://yandex.ru/maps/>) и GoogleMaps (ссылка для доступа <https://www.google.ru/maps>). При определении высоты сооружений и зеленых насаждений можно воспользоваться информацией из таблицы 2.3 или других более достоверных источников.

2.1.4 Пример расчета основных параметров радиорелейных линий

Для более целостного восприятия материала приводится пример расчета гипотетического участка трассы радиорелейной линии в г. Астрахани. Исходные данные для расчета приведены в таблице 2.5. Исходными данными для формирования цы 2.6 служат геоинформационная система, доступная на сайте 2gis.ru, отображающая карту г. Астрахани, и сведения о характеристиках оборудования, приведенные в таблице 2.2.

Таблица 2.6 – Исходные данные для расчета

Наименование параметра	Значение параметра
Начальная точка	г. Астрахань, здание типографии "Волга"
Тип сооружения, на котором монтируется антенна	Административное здание
Высота сооружения	11 этажей
Высота мачты на сооружении	3 м
Конечная точка	село Ассадулаево
Тип сооружения, на котором монтируется антенна	Мачта оператора связи
Высота сооружения	25 м
Протяженность интервала	13,2 км
Частотный диапазон	13 ГГц
Тип станции	Микран Y-Packet
Мощность передатчика, дБм	20 дБм
Чувствительность приемника, дБм	- 75 дБм
Потери на соединениях между передатчиком и антенной	0,5 дБ

Внешний вид интервала показан на рисунке 2.12.



Рисунок 2.12 – Карта интервала участка транспортной сети, полученная при помощи сервиса 2ГИС

Публикация фрагмента карты произведена с соответствии п. 4.8 "Лицензионного соглашения на использование программных продуктов и/или онлайн-сервисов 2ГИС", доступного на сайте <http://law.2gis.ru/licensing-agreement>. При подготовке курсовых, расчетных и других видов работ, в случае использования геоинформационной системы 2ГИС, необходимо выполнять приведенный пункт. Использование других геоинформационных систем, их карт регулируется соответствующими соглашениями между правообладателями и пользователями данного ресурса.

Согласно соотношению (2.2), вычисляется величина λ – длина волны, м:

$$\lambda = c / f = (3 \cdot 10^8) / (13 \cdot 10^9) = 0,023, \text{ м}$$

и (2.2) определяются коэффициенты усиления антенн, используемых для организации интервала:

$$G_{\text{ант.}} = 10 \cdot \lg \left(\frac{10 \cdot g \cdot D^2}{\lambda^2} \right) = 10 \cdot \lg \left(\frac{10 \cdot 0,6 \cdot 0,6^2}{0,023^2} \right) = 38,6, \text{ дБ.}$$

Следует отметить, что, как показал опыт, у студентов часто возникает ошибка в вычислениях в связи с тем, что в расчетах не учитываются значения степеней или производится неправильный перевод единиц измерений. Поэтому для грубой оценки правильности результата вычислений следует принимать, что величина $G_{\text{ант.}}$, как правило, находится в диапазоне значений 30÷50 дБ.

Величина затухания, которую будет испытывать сигнал в процессе распространения в пространстве, с учетом (2.3), имеет значение:

$$L_{\text{св. простр.}} = 20 \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right) = 20 \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot 3,14 \cdot 13,21 \cdot 10^3}{0,023} \right) = 137,2, \text{ дБ.}$$

Для грубой оценки правильности результата вычислений следует учитывать, что величина $L_{\text{св. простр.}}$, как правило, находится в диапазоне значений 130÷150 дБ. Если значение выходит за эти пределы, нужно проверить правильность вычислений; возможно, допущена ошибка при пересчете от ГГц к герцам или от километров к метрам.

С учетом величины затухания в пространстве $L_{\text{св. простр.}}$, коэффициентов усиления антенн $G_{\text{ант.}}$, мощности передатчика $P_{\text{пер.}}$, потерь на соединениях между приемо-передающими устройствами и антенной $L_{\text{фид. пер.}}$ и $L_{\text{фид. пр.}}$, а также соотношения (2.4) и таблицы 2.5 определяется уровень мощности сигнала на входе в приемник $P_{\text{пр.}}^{\text{вход}}$:

$$\begin{aligned} P_{\text{пр.}}^{\text{вход}} &= P_{\text{пер.}} - L_{\text{фид. пер.}} + G_{\text{ант. пер.}} - L_{\text{св. простр.}} + G_{\text{ант. пр.}} - L_{\text{фид. пр.}} = \\ &= 20 - 0,5 + 38,6 - 137,2 + 38,6 - 0,5 = -41 \text{ дБ,} \end{aligned}$$

С учетом соотношения (2.5) и реальной чувствительности приемника $P_{\text{пр.}}^{\text{реальн.}}$, которая согласно таблице 2.5 равна 75 дБ, величина запаса на замирание составит:

$$P_{\text{запас.}} = P_{\text{пр.}}^{\text{вход}} - P_{\text{пр.}}^{\text{реальн.}} = -41 - (-75) = 34, \text{ дБ.}$$

Запас на замирание незначительно превысил значение 30 дБ, поэтому в рамках выполняемой работы данный этап можно считать практически законченным; остается построить график потенциала линии связи, аналогично тому, который показан на рисунке 2.7. График потенциала линии связи, построенный с учетом данных, приведенных в таблице 2.5, и результатов расчетов по соотношениям (2.1)–(2.5) показан на рисунке 2.13.

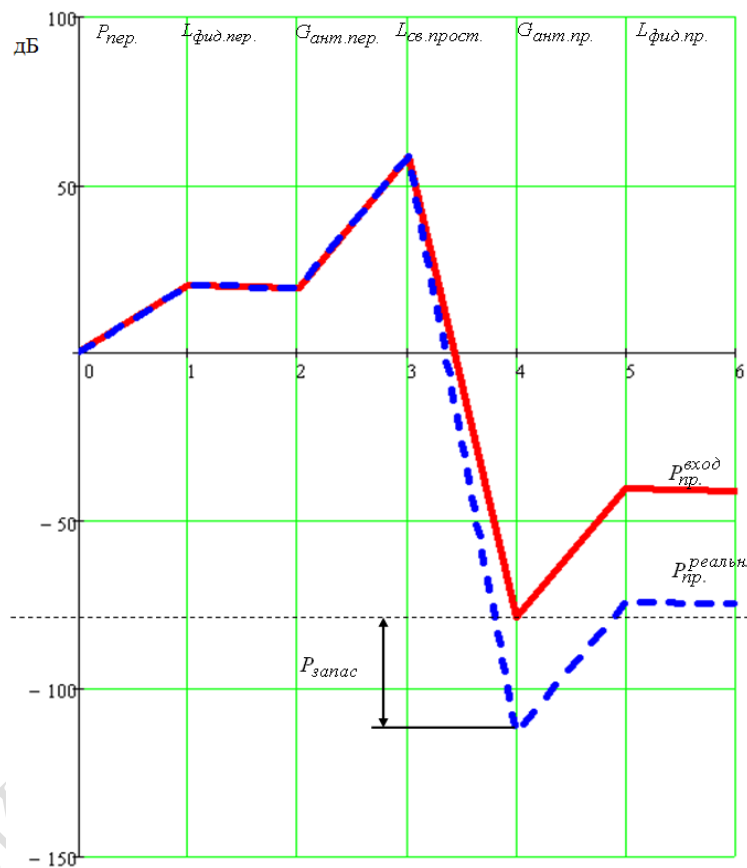


Рисунок 2.13 – График потенциала линии связи радиорелейной линии для рассматриваемого примера

Следующим этапом выполнения работы является проверка правильности выбора высот, на которых подвешиваются антенны. Напомним, что в г. Астрахани станция РРЛ расположена на крыше типографии газеты "Волга", а в селе Ассадулаево – на мачте высотой 25 м.

В соответствии с данными таблицы 2.4 определяется высота здания типографии газеты "Волга":

- высота за счет этажей: $11 \cdot 3,5 = 38,5$ м;
 - высота технического этажа с постройками на крыше равна 3 м;
 - высота подвала от земли – 2 м;
 - высота мачты на здании – 3 м;
- Итого: $38,5 + 3 + 2 + 3 = 46,5$ м.

С учетом соотношения (2.6) и данных таблицы 2.5 определяется кривизна земли, предварительно вычисляется значение переменной k_i . Для удобства расчетов интервал можно разделить на 10 равных частей ($i = 0..10$), при этом значения R_i представляются в виде ряда: $R_0 = 0 \cdot R_{\text{инт}}$, $R_1 = 0,1 \cdot R_{\text{инт}}$, $R_2 = 0,2 \cdot R_{\text{инт}}$, ..., $R_{10} = 1 \cdot R_{\text{инт}}$, а $k_i = R_i / R_{\text{инт}}$, где $R_{\text{инт}} = 13,21$ км. С использованием (2.6) определяется значение каждого y_i :

$$y = (R_{\text{инт}}^2 / [2 \cdot R_3]) \cdot k_i(1 - k_i) \cdot 10^3 = (13,21^2 / [2 \cdot 6371]) \cdot k_i(1 - k_i) \cdot 10^3.$$

Максимальное значение кривизны земли – 3,424 м. Обращаем внимание на то, что при определении затухания и расчете уровня сигнала на входе в приемник значение $R_{\text{инт}}$ берется в метрах (м), а при определении кривизны земли и размера первой зоны Френеля значение $R_{\text{инт}}$ берется в километрах (км). Неверно взятый порядок значения $R_{\text{инт}}$ в этих соотношениях является одной из распространенных ошибок при проведении подобных расчетов. График расчета кривизны Земли с учетом данных таблицы 2.5 приведен на рисунке 2.14. Кстати, подумайте, как можно упростить вычисления по соотношению (2.6).

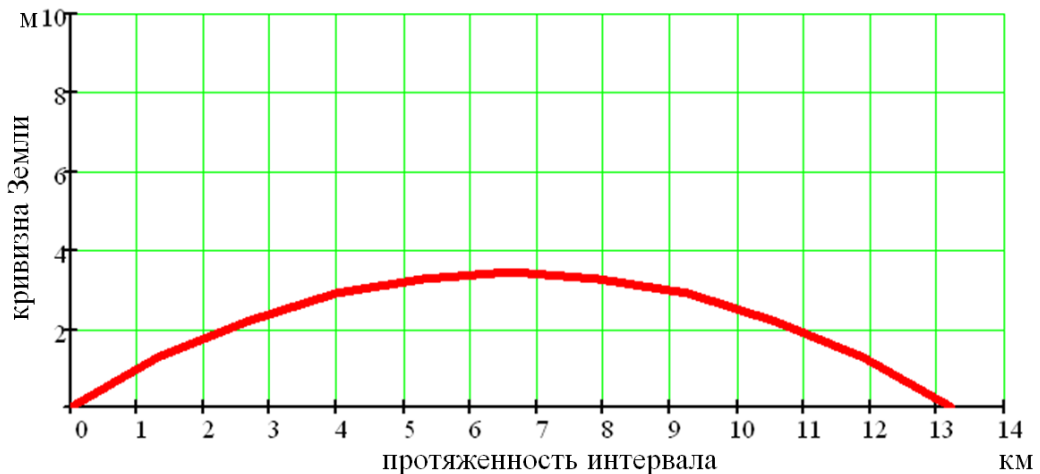


Рисунок 2.14 – График кривизны земли для рассматриваемого примера

После определения кривизны земли определяется размер первой зоны Френеля при помощи соотношения (2.7). Напоминаем, что длина волны с учетом исходных данных равна 0,023 м, значения $R_{инт.}$ и k_i берутся из предыдущих расчетов:

$$H_i = \sqrt{[R_{инт.} \cdot 10^3 \cdot \lambda \cdot k_i(1 - k_i)] / 3} = \sqrt{[13,21 \cdot 10^3 \cdot 0,023 \cdot k_i(1 - k_i)] / 3}.$$

Максимальное значение первой зоны Френеля – 8,73 м. Двухсторонний график расчета первой зоны Френеля в соответствии с данными таблицы 2.5 приведен на рисунке 2.15.

Следующим шагом при выполнении расчета является построение профиля пролета с учетом кривизны земли, рельефа местности и построек различного назначения. Кривизна земли показана на рисунке 2.14; рельеф местности можно построить с использованием ресурса <http://www.geocontext.org/publ/2010/04/profiler/ru/>, определяется профиль рельефа местности без учета зданий. Вид профиля, полученный при помощи ресурса <http://www.geocontext.org>, показан на рисунке 2.16.

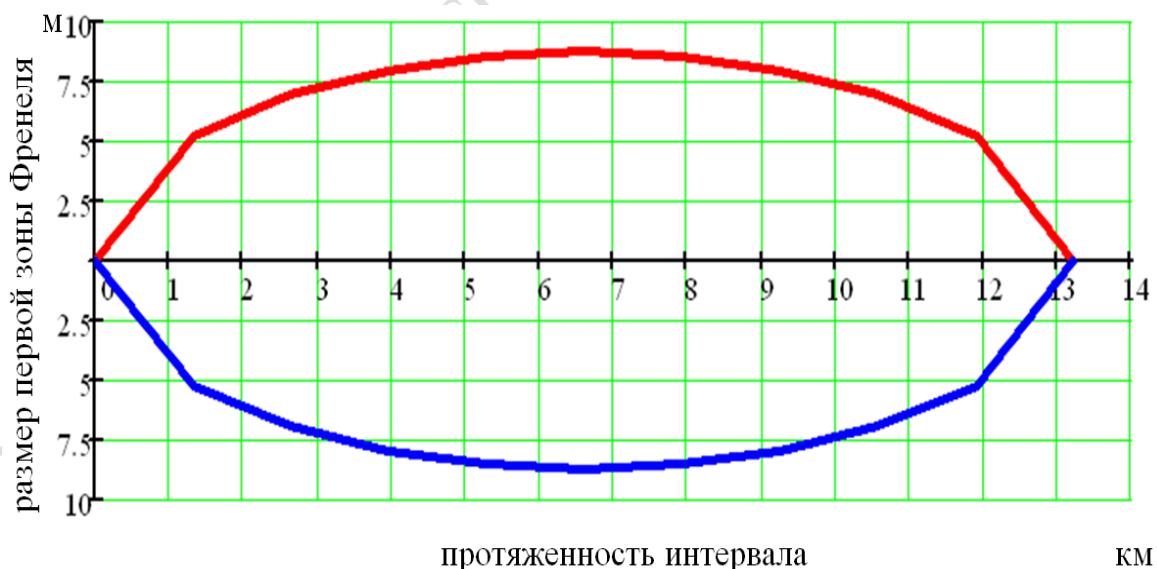


Рисунок 2.15 – График первой зоны Френеля для рассматриваемого примера

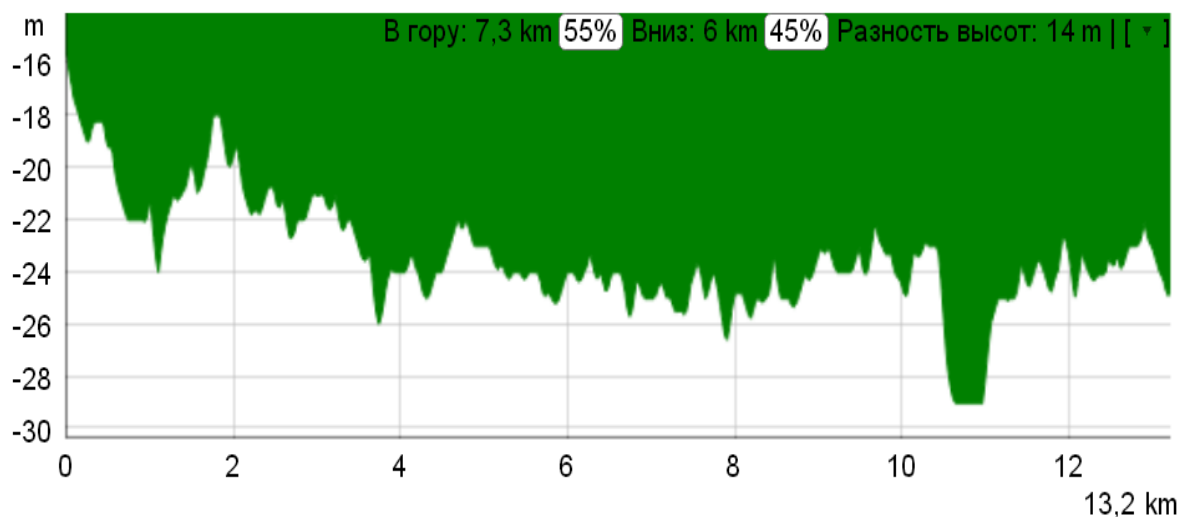


Рисунок 2.16 – Вид профиля интервала полученный при помощи ресурса <http://www.geocontext.org>

После небольшой обработки средствами сайта www.geocontext.org рисунок 2.16 приобретет вид, показанный на рисунке 2.17.

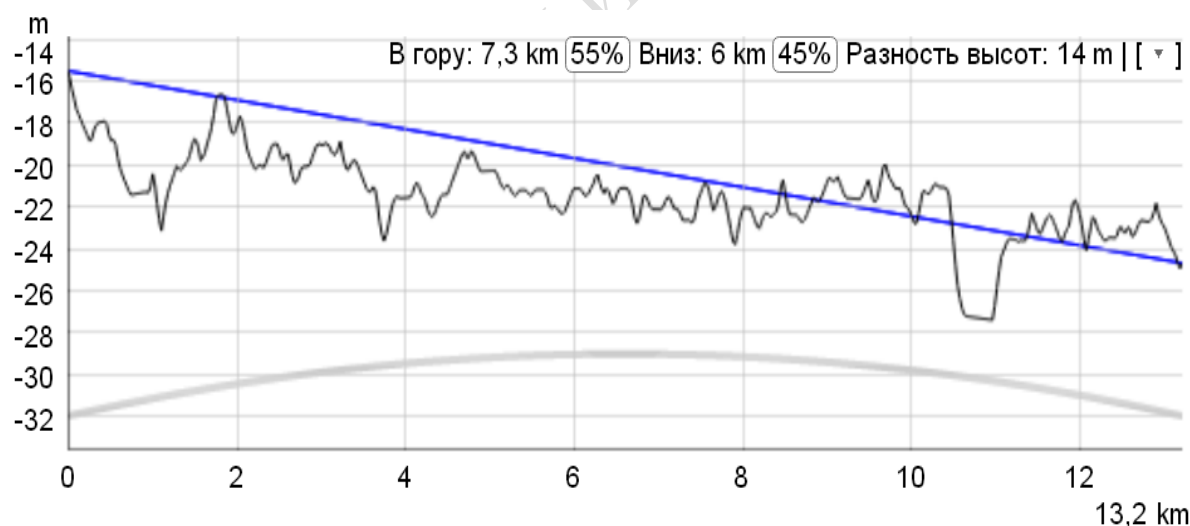


Рисунок 2.17 – Вид профиля интервала после обработки инструментами [geocontext.org](http://www.geocontext.org)

Инструменты сайта позволяют добавить на график величину кривизны земли и первую зону Френеля, как это показано на рисунке 2.18.

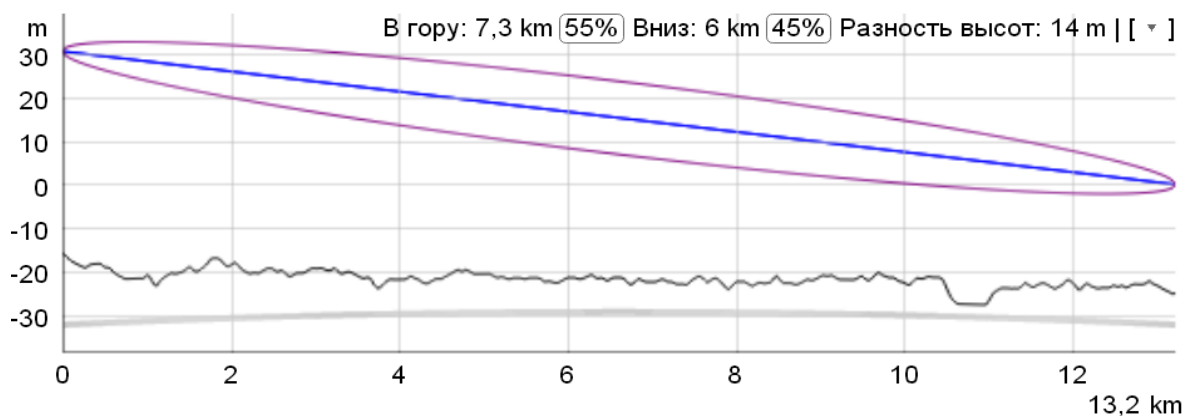


Рисунок 2.18 – Вид профиля интервала после обработки инструментами geoscontext.org

Следует отметить, что ресурс geoscontext.org не выдает информации о высоте сооружений, находящихся на заданном интервале. Для получения информации о высотности зданий можно воспользоваться ресурсом 2GIS. С учетом полученной информации и данных таблицы 2.4 построена таблица 2.7, показывающая высоты здания. Остальные постройки на рассматриваемом интервале – это одноэтажные частные дома.

Таблица 2.7 – Высоты зданий на рассматриваемом интервале РРЛ

Удаленность от т. 1 Типография "Волга"	Этажность здания	Тип здания	Расчетная высота здания
0,15	2	Административное здание	10,5
0,63	2	Административное здание	10,5
1,26	2	Жилой дом	10
1,31	3	Жилой дом	13
1,36	5	Жилой дом	19
1,43	5	Жилой дом	19
1,51	5	Жилой дом	19
1,564	5	Жилой дом	19
1,67	5	Жилой дом	19
1,849	3	Административное здание	14
2,049	2	Административное здание	10,5
2,333	5	Жилой дом	19
2,473	5	Жилой дом	19
2,54	5	Жилой дом	19

График интервала с учетом особенностей рельефа местности, высотности зданий и кривизны земли показан на рисунке 2.19.

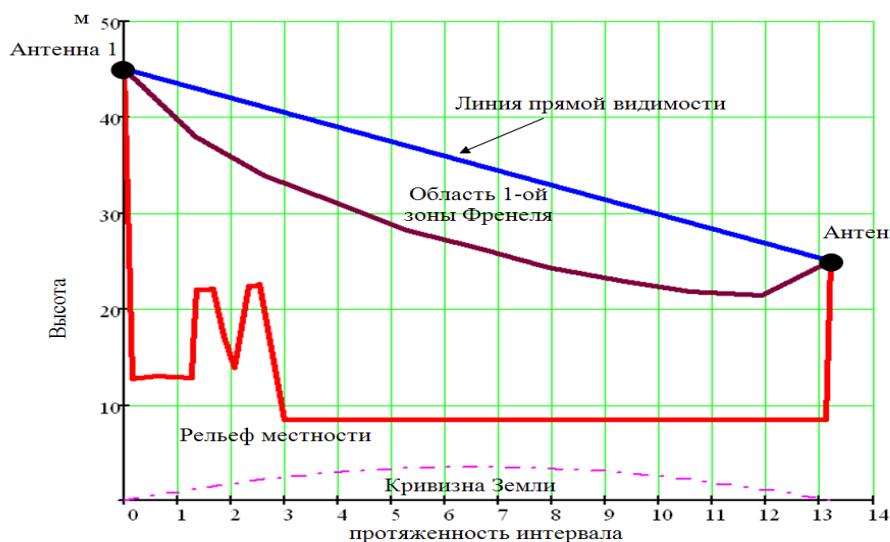


Рисунок 2.19 – Профиль интервала с учетом рельефа местности, кривизны земли и размера первой зоны Френеля

Для его построения использована информация об интервале РРЛ, приведенная в таблицах 2.4–2.7, и результаты расчетов, показанных на рисунках 2.14, 2.15. Кроме этого, использована информация с сайта проекта geosontext.org, которая приведена на рисунках 2.16–2.18. Как видно из рисунка 2.19, на интервале между антенной, расположенной на здании типографии газеты "Волга", и антенной, расположенной на 25-метровой мачте в пос. Ассадулаево, препятствия отсутствуют. Таким образом, с учетом результатов расчета запаса на замирание, показанных на рисунках 2.13 и 2.19, можно допустить, что рассчитанный канал будет работоспособным.

2.1.5 Список индивидуальных заданий для проектирования радиорелейных линий

Для закрепления компетенций, полученных в ходе изучения материала, рекомендуется выполнить индивидуальные задания. Для студентов, обучающихся или проживающих в г. Астрахани, задания приведены в таблице 2.8. На усмотрение преподавателя допускается замена марки оборудования, указанного в таблице 2.8. Если задание выдается студентам, которые

не находятся на территории г. Астрахани, то производится корректировка перечня рассчитываемых интервалов из предположения, что протяженность одного интервала должна находиться в пределах 10–25 км, при этом допускается расчет линии, состоящей из нескольких интервалов. Если в результате расчета выясняется, что предложенных высот мест расположения недостаточно для организации интервала, студенту предлагается самостоятельно сформулировать рекомендации по устранению выявленного ограничения. Информация об оборудовании NEC Pasolink Neo и Микран Y-Packet берется из таблиц 2.1 и 2.2 соответственно.

Таблица 2.8 – Исходные данные для самостоятельного расчета

Наименование параметра	Номер варианта			
	1	2	3	4
Название оборудования	NEC NEO Pasolink	Микран Y-Packet	Микран Y-Packet	NEC NEO Pasolink
Начальная точка	Здание тип. газеты "Волга"		Вышка телецентра	
Конечная точка	Мачта высотой 25 м в с. Раздор, Камызякский район	Мачта высотой 20 м в пос. Ильинка, Икрянинский район	Мачта высотой 20 м в с. Николаевка, Наримановский район	Мачта высотой 25 м в с. Растопуловка, Приволжский район
Частотный диапазон, ГГц	11	13	15	15
Наименование параметра	Номер варианта			
	5	6	7	8
Название оборудования	Микран Y-Packet	NEC NEO Pasolink	Микран Y-Packet	NEC NEO Pasolink
Начальная точка	Вышка телецентра		Здание тип. газеты "Волга"	
Конечная точка	Мачта высотой 20 м в с. Тузуклей, Камызякский район	Мачта высотой 25 м в с. Красный Яр, Красноярский район	Мачта высотой 20 м в с. Килинчи, Приволжский район	Мачта высотой 25 м в пос. Володарский Володарский район
Частотный диапазон, ГГц	11	8	10,5	13

Окончание таблицы 2.8

Наименование параметра	Номер варианта			
	9	10	11	12
Название оборудования	NEC NEO Pasolink	Микран Y-Packet	NEC NEO Pasolink	Микран Y-Packet
Начальная точка	Здание тип. газеты "Волга"		Вышка телецентра	
Конечная точка	Мачта высотой 25 м. в с. Семибугры, Камызякский район	Мачта высотой 20 м. в с. Чаган, Камызякский район	Мачта высотой 25 м. в пос. Волго-Каспийский, Камызякский район	Мачта высотой 20 м. в с. Тумак, Володарский район
Частотный диапазон, ГГц	11	13	15	7
Наименование параметра	Номер варианта			
	13	14	15	16
Название оборудования	Микран Y-Packet	NEC NEO Pasolink	Микран Y-Packet	NEC NEO Pasolink
Начальная точка	Вышка телецентра		Здание тип. газеты "Волга"	
Конечная точка	Мачта высотой 20 м в с. Бирюковка, Приволжский район	Мачта высотой 25 м в пос. Мирный, Наримановский район	Мачта высотой 20 м с. Новокучергановка Наримановский район	Мачта высотой 25 м с. Килинчи, Приволжский район
Частотный диапазон, ГГц	10,5	26	15	13
Наименование параметра	Номер варианта			
	17	18	19	20
Название оборудования	NEC NEO Pasolink	Микран Y-Packet	NEC NEO Pasolink	Микран Y-Packet
Начальная точка	Здание тип. газеты "Волга"		Вышка телецентра	
Конечная точка	Мачта высотой 25 м в с. Рассвет, Наримановский район	Мачта высотой 20 м в с. Евпраксино, Приволжский район	Мачта высотой 25 м в с. Верхний Бузан, Красноярский район	Мачта высотой 20 м в с. Яксатово, Камызякский район
Частотный диапазон, ГГц	11	10,5	13	23

Контрольные вопросы

1. Какие основные виды станций входят в состав структуры радиорелейной линии большой протяженности?
2. Перечислите причины возникновения потерь сигнала на интервале между двумя радиорелейными станциями?
3. Как вы считаете, за счет чего лучше повысить дальность распространения сигнала: за счет увеличения коэффициента усиления антенны или повышения мощности передатчика?
4. От каких параметров зависит высота подвеса антенны?
5. Для чего необходимо учитывать размер первой зоны Френеля?
6. Считаете ли вы, что если величина запаса на замирание составила 45 дБ, то расчет интервала РРЛ можно заканчивать, поясните ответ?
7. Что нужно учитывать при построении профиля интервала РРЛ?

3 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ НА БАЗЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

3.1 Краткие сведения об общих принципах работы волоконно-оптических линий связи

Транспортная сеть, основанная на использовании волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), обладает рядом преимуществ относительно использования РРЛ. Как описывается в работах [1, 8, 22, 57, 58, 59, 60], к числу подобных преимуществ относятся:

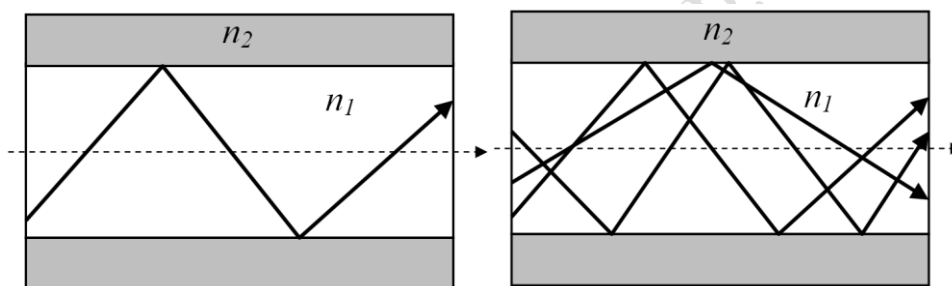
- высокая пропускная способность;
- высокая надежность;
- низкая подверженность влиянию климатических факторов;
- высокая защищенность информации от несанкционированного перехвата;
- простое оформление разрешительной документации на строительство линии.

Поэтому, как показал практический опыт, по мнению специалистов, использование оптического кабеля как средства организации транспортной сети оператора связи более целесообразно. Ограничение на строительство ВОЛС связано с особенностями рельефа и сейсмической обстановкой местности, а также с ограничениями на использование кабельной канализации, столбов или проведения земляных работ в местах планируемой прокладки (или монтажа) кабеля. При выполнении учебных расчетов, как правило, возникает необходимость описания методов строительства ВОЛС в зависимости от ее назначения и особенностей задания, выбора оборудования и типа используемого кабеля, определения протяженности регенерационного участка и параметров надежности проектируемой трассы. В результате выполнения приведенных расчетов проверяется возможность использования выбранного оборудования и определяется его количество.

Оптический кабель состоит из оптического волокна – среды, по которой происходит распространение световой волны,

и системы защиты волокна от внешних воздействий – совокупности различных оболочек и наполнителей. Распространение света вдоль оптического волокна основано на явлении полного внутреннего отражения при выполнении условия, что коэффициент преломления одной среды, по которой происходит распространение света (обозначается как n_1), превышает коэффициент преломления оболочки (обозначается как n_2). Само условие полного внутреннего отражения имеет вид: $n_1 > n_2$.

Оптические волокна могут передавать как одну волну – моду, так и несколько волн одновременно; волокно, по которому передается одна волна, называется одномодовым, по которому передается несколько волн – многомодовым. Примеры многомодовых и одномодовых волокон показаны на рисунках 3.1 а) и 3.1 б).



а) одномодовая ВОЛС; б) многомодовая ВОЛС

Рисунок 3.1 – Пример распространения оптического сигнала

Особенностью многомодовых волокон является наличие межмодовой дисперсии, которая приводит к дополнительным затуханиям. Однако многомодовые волокна более дешевы в изготовлении. Поэтому они получили большее распространение при изготовлении кабеля, используемого для передачи сигнала на небольшие расстояния (как правило, от 100 м до 3,5÷5 км). Для организации магистральных линий связи, протяженность которых составляет десятки или сотни километров, применяются кабели, в основе которых используются одномодовые волокна.

В качестве передатчиков оптического сигнала используются полупроводниковые лазеры или светодиоды: лазеры – для передачи одной волны, светодиоды работают в многомодовом режиме. Для приема сигнала используются светодиоды. Для переноса

информации наибольшее распространение получили сигналы красного – длина волны 850 нм, и инфракрасного диапазонов – длина волны 1440 нм; кроме того, в настоящее время все большее распространение получают системы, использующие оптическое мультиплексирование – DWDM (англ. Dense Wavelength Division Multiplexing) системы, которые обеспечивают передачу сигнала с использованием волн всего светового спектра [20]. Более подробно принципы работы ВОЛС рассмотрены в учебных пособиях и работах [8, 22, 50, 57, 58, 59, 60].

3.2 Краткие сведения о кабелях, используемых при строительстве волоконно-оптических линий связи

Основой любой волоконно-оптической линии связи является оптический кабель. Основой кабеля – оптическое волокно. Как показала практика, оптические волокна сильно подвержены различным внешним воздействиям – влажности, механическим и химическим воздействиям, которые могут возникать в процессе строительства и эксплуатации ВОЛС. Для защиты волокна разработаны различные виды покрытий и других дополнительных мер и устройств. Совокупность оптических волокон, защитных покрытий и дополнительных мер защиты образует кабель. Упрощенно оптические кабели, используемые для организации транспортной сети, можно разделить на три группы:

- кабели для укладки в грунт и прохождения водных преград;
- кабели для подвеса на столбах;
- кабели для укладки в кабельную канализацию.

В работе не рассматриваются кабели, используемые для прокладки внутри зданий, при создании сетей по принципу "волокно до квартиры", "волокно до рабочего места", а также различные специальные виды кабелей для создания трансокеанских линий связи. С описанием особенностей подобных кабелей можно ознакомиться в работах [59, 60].

В обобщенном виде конструкция кабеля для укладки в грунт и прохождения небольших водных преград показана на рисунке 3.2.

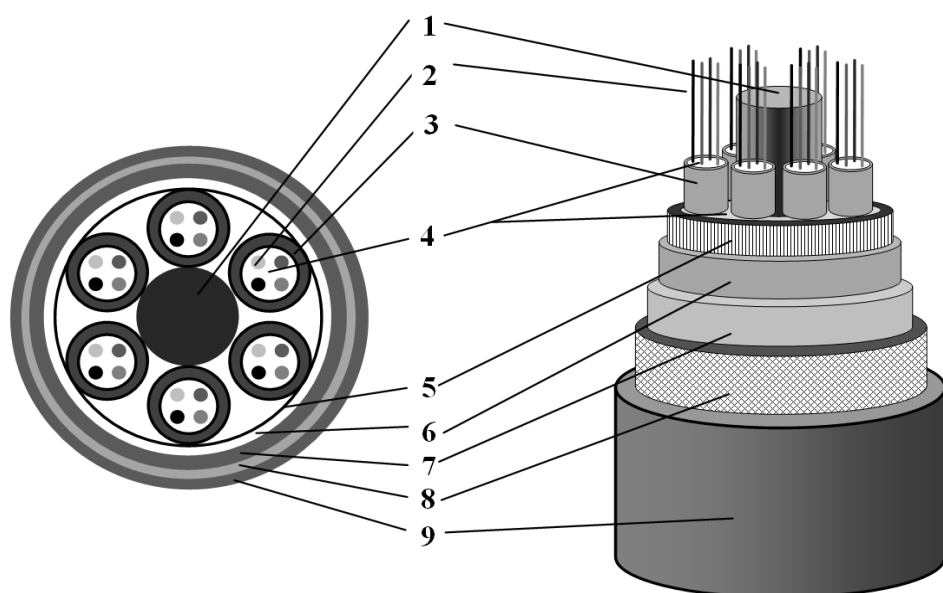


Рисунок 3.2 – Структура кабеля для прокладки в грунт или прохождения небольших водных преград

Перечень конструктивных элементов кабеля, показанного на рисунке 3.2, приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Перечень конструктивных элементов кабеля для прокладки в грунт или прохождения небольших водных преград

Номер позиции	Название позиции	Назначение	Исполнение
1	2	3	4
1	Центральный силовой элемент	Защита от растягивающих усилий	Металлический трос или стеклопластиковый пруток
2	Оптические волокна	Передача световых сигналов	Кварц или специальный пластик
3	Оболочка оптического модуля	Группировка волокон, незначительная защита от усилий, возникающих в процессе монтажа кабеля	Пластиковая трубка
4	Гидрофобный наполнитель	Защита от влаги	Гель
5	Силовые элементы	Защита от сдавливающих и растягивающих усилий	Металлические прутки, металлическая лента, арамидные нити
6	Водоотталкивающая лента	Защита от влаги	Пластик

Окончание таблицы 3.1

1	2	3	4
7	Внутренняя защитная оболочка кабеля	Защита от влаги, объединение всех конструктивных элементов кабеля	Пластик, резина
8	Бронепокров	Защита от механических воздействий, грызунов	Металлическая лента, металлическая проволока
9	Внешняя защитная оболочка кабеля	Защита от влаги, объединение всех конструктивных элементов кабеля	Пластик, резина

Отличительной особенностью кабеля, используемого для прокладки по столбам, является наличие несущего силового элемента, который может располагаться отдельно от модулей, в которых находятся оптические волокна. Внешний вид кабеля, применяемого для прокладки ВОЛС на столбах, показан на рисунке 3.3.

Перечень конструктивных элементов кабеля, показанного на рисунке 3.3, приведен в таблице 3.2.

Если кабель используется для прокладки в кабельной канализации или специальных трубах, кабель-каналах, то у него могут отсутствовать защитные покровы. Как правило, в подобных случаях применяется защита от влаги и механических нагрузок, возникающих во время прокладки кабеля.

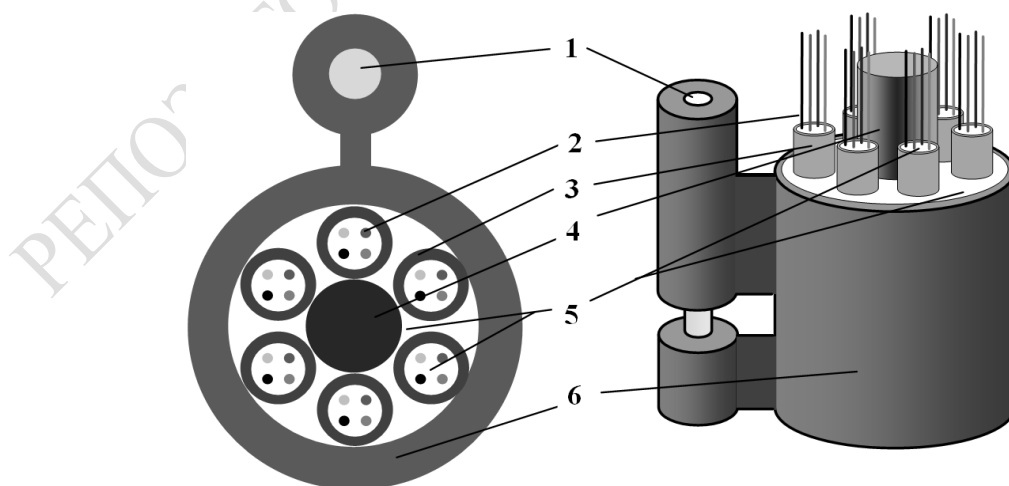


Рисунок 3.3 – Структура кабеля для прокладки ВОЛС на столбах

Таблица 3.2 – Перечень конструктивных элементов кабеля для прокладки ВОЛС на столбах

Номер позиции	Название позиции	Назначение	Исполнение
1	Несущий силовой элемент	Защита от провисания в процессе эксплуатации	Металлический трос
2	Оптические волокна	Передача световых сигналов	Кварц или специальный пластик
3	Оболочка оптического модуля	Группировка волокон, незначительная защита от усилий, возникающих в процессе монтажа кабеля	Пластиковая трубка
4	Центральный силовой элемент	Защита от растягивающих усилий	Металлический трос или стеклопластиковый пруток
5	Гидрофобный наполнитель	Защита от влаги	Гель
6	Внешняя защитная оболочка кабеля	Защита от влаги, объединение всех конструктивных элементов кабеля	Пластик, резина

Внешний вид кабеля, используемого для прокладки ВОЛС в кабельной канализации или специальных кабель-каналах, показан на рисунке 3.4.

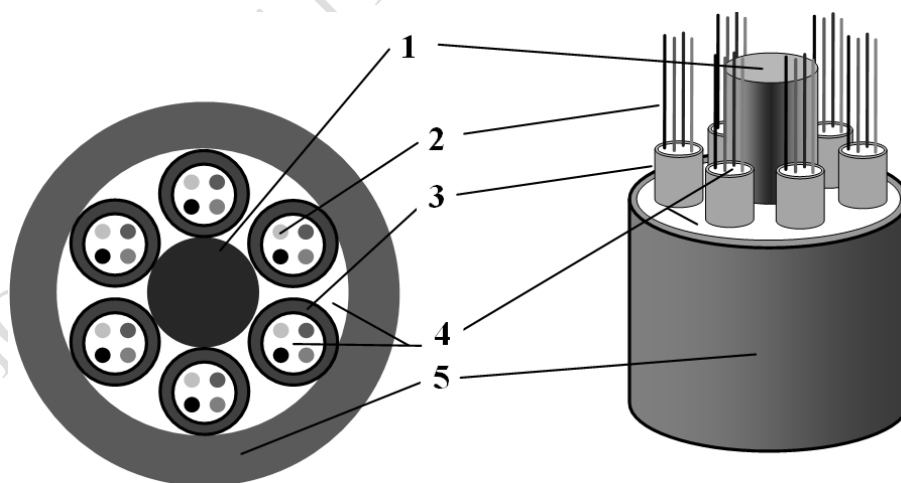


Рисунок 3.4 – Структура кабеля для прокладки ВОЛС в кабельной канализации или специальных кабель-каналах

Перечень конструктивных элементов кабеля, показанного на рисунке 3.4, приведен в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Перечень конструктивных элементов кабеля для прокладки ВОЛС в кабельной канализации или специальных кабель-каналах

Номер позиции	Название позиции	Назначение	Исполнение
1	Центральный силовой элемент	Защита от растягивающих усилий	Металлический трос или стеклопластиковый пруток
2	Оптические волокна	Передача световых сигналов	Кварц или специальный пластик
3	Оболочка оптического модуля	Группировка волокон, незначительная защита от усилий, возникающих в процессе монтажа кабеля	Пластиковая трубка
4	Гидрофобный наполнитель	Защита от влаги	Гель
5	Внешняя защитная оболочка кабеля	Защита от влаги, объединение всех конструктивных элементов кабеля	Пластик, резина

Более подробно о различных видах кабелей, используемых для создания волоконно-оптических линий связи, можно ознакомиться в работах [8, 59, 60] или на сайтах производителей данного вида продукции [28, 51]. Например, на момент подготовки пособия доступен ресурс по адресу: <http://socom.ru/catalog/>. Как правило, для выполнения расчетов в рамках подготовки выпускной квалификационной работы (ВКР) достаточно перечня характеристик, приведенных в таблице 3.4 [28, 37, 51].

Таблица 3.4 – Перечень основных характеристик кабеля, используемых в расчетах при выполнении ВКР

Наименование параметра	Значение параметра
1	2
Количество оптических волокон	2-288
Диаметр, мм	10,0-20,0
Масса, кг/км	70-300
*Коэффициент затухания, дБ/км	· не более 0,34 на длине волны 1,31 мкм, · не более 0,20 на длине волны 1,55 мкм

Окончание таблицы 3.4

1	2
*Коэффициент хроматической дисперсии, пс/(нм·км)	·не более 3,5 в интервале длин волн 1285–1330, ·не более 18 в интервале длин волн 1530–1565
Раздавливающее усилие, Н/см	200
Предельная прочность при растяжении, кН	1-3
Температура эксплуатации: – для прокладки под землей, – для прокладки на мостах, – для прокладки по столбам, – для прокладки внутри объектов	– 40 ÷ +50°С – 50 ÷ +50°С – 60 ÷ +50°С – 10 ÷ +50°С

Следует отметить, что бронированные кабели возможно использовать и для прокладки в кабельной канализации, это повышает надежность линии за счет того, что она становится недоступной для грызунов, меньше подвержена механическим воздействиям в процессе строительства и эксплуатации ВОЛС. Использование бронированного кабеля при прочих равных условиях приводит к более высоким затратам, связанным с его приобретением и монтажом, что, в принципе, в процессе эксплуатации может быть компенсировано сокращением затрат, связанных с устранением аварий и выплатой компенсаций клиентам за прерывание связи. Пример расшифровки названий кабелей «Самарской оптической кабельной компании» приведен на схеме, показанной на рисунке 3.5, в соответствии с работами [28, 54].

ОКЛСт	-Н	-01	-6	-8	-10/125	-0,36/0,22	-3,5/18	-1,0	- (д)	Доп. информация: (АлПЭ) - кабель с алюполиэтиленовой оболочкой; (усиленный) - модификация с повышенной стойкостью к раздавливающим нагрузкам; (облегченный) - модификация без внутренней ПЭ оболочки или с бронепроволоками меньшего диаметра; (зпт) - для защиты полиэтиленовых груб (д)- диэлектрический, например, модификация кабеля типа ОКЛп с броней из стеклопластиковых стержней и т.д. если надпись отсутствует - в кабеле без модификаций
										Допустимая растягивающая нагрузка, кН
										Значение хроматической дисперсии, пс/(нм x км): на длине волны 1,31 мкм./ на длине волны 1,55 мкм
										Значение максимального коэффициента затухания, ДБ/км: на длине волны 1,31 мкм/на длине волны 1,55 мкм;
										Тип оптического волокна: диаметр сердцевины ОВ, мкм./диаметр отражающей оболочки, мкм;
										Количество волокон в кабеле
										Количество элементов в повиве сердечника
										Центральный силовой элемент: 01 - немагнитический; 02 - стальной в пластмассовой оболочке
										Наружная оболочка: Н - с оболочкой, не распространяющей горение; Т - оболочка из трекнгстойкого полиэтилена; !!! отсутствие символа - светостабилизированный полиэтилен
										Тип кабеля: ОКЛ - для подземной прокладки, предназначены для прокладки в специальных трубах, коллекторах, тоннелях, кабельной канализации, на мостах и эстакадах, в местах, не зараженных грызунами, а также внутри зданий и сооружений, при повышенных требованиях пожарной безопасности. ОКЛЖ - для воздушной прокладки, предназначены для подвески по столбам; подвески по опорам контактной сети ж/д, прокладки по лоткам и эстакадам и т.д. ОКЛЖ-ВС(ВД)- подвесные кабели типа «8», предназначены для воздушной прокладки на опорах линий электропередачи до 35 кВ, между зданиями и т.д. ОКЛК - оптические бронированные для прокладки в грунт, в том числе в районах мерзлоты и на переходах через волновые преграды (реки, каналы). ОКЛм - для прокладки в специальных микротрубах (микрокабельные системы), предназначены для создания магистральных, зоновых, локальных и других волоконно-оптических линий связи, прокладываются непосредственно в грунте, вдоль дорог, в кабельной канализации в городе, в коттеджных поселках. ОКЛСт - оптические бронированные для прокладки в канализации, специальных трубах, коллекторах, тоннелях, на мостах и эстакадах, а так же в легких грунтах и в местах, зараженных грызунами.

Рисунок 3.5 – Пример расшифровки названий оптических кабелей

Кроме организации транспортной сети оптические кабели применяются при построении структурированных кабельных систем, используемых для создания сетей передачи данных в офисных и производственных помещениях во время построения сетей доступа, например, таких как GPON (англ. Gigabit Passive optical network) – гигабитная пассивная оптическая сеть, либо семейство технологий FTTx (англ. fiber to the x) – волокно до точки X, где наибольшее распространение получили: FTTH – волокно до дома (квартиры), FTTB – волокно до здания, FTTC – волокно до микрорайона [11]. Более подробно о технологиях построения сетей доступа планируется рассказать в следующем пособии.

Параметры различных видов кабелей, выпускаемых "Самарской оптической кабельной компанией", приведены в таблицах 3.5, 3.6, более подробную информацию о других видах кабелей можно получить на сайте по адресу: <http://soccom.ru>.

Таблица 3.5 – Перечень основных характеристик кабеля, используемого для прокладки в грунт и кабельную канализацию

Наименование параметра	ОКЛК-01-144-10/125-7,0	ОКЛК-01-96-10/125-20,0	ОКЛСт-Н-01-144-10/125-2,7	ОКЛСт-01-144-10/125-2,7
Тип укладки	в грунт		в кабельную канализацию	
Количество волокон	до 144	до 96	до 144	до 144
Диаметр, мм	16,4	14,5	13,9	13,9
Вес, кг/км	433	352	224	185
Растягивающее усилие, кН	7	20	2,7	2,7
Раздавливающее усилие, кН/см	0,5	0,7	0,4	0,4
Радиус изгиба, мм	328	290	278	278
монтаж экспл.	246	217	208	208
Затухание, дБ/км: – на длине волны 1310 нм, – на длине волны 1550 нм.	0,36 0,22			
Дисперсия, пс/(нм·км): – на длине волны 1310 нм, – на длине волны 1550 нм.	3,5 18			
Цена за км, т.р.	около 50	около 70	около 90	

Таблица 3.6 – Перечень основных характеристик кабеля, используемого для подвеса на опоры

Наименование параметра	Кабель ОКЛЖ-ВД-01-128	Кабель ОКЛЖ-ВС-01-96
Количество волокон	128	96
Допустимое растягивающее усилие, кН, не более	15,0	12,0
Диаметр по оболочке вынесенного силового элемента, мм	7,2	6,0
Максимальные габаритные размеры кабеля, мм	12,8 x 22,0	10,0 x 18,0
Расчетный вес кабеля, кг/км	248	176
Модуль упругости вынесенного силового элемента, кН/мм ²	200	200
Затухание, дБ/км:		
– на длине волны 1310 нм,		0,36
– на длине волны 1550 нм		0,22
Дисперсия, пс/(нм·км):		
– на длине волны 1310 нм,		3,5
– на длине волны 1550 нм		18
Цена за км, т.р.		около 50

Другим важным мероприятием в процессе организации ВОЛС является задача прокладки оптического кабеля в грунт, подвеса на столбы, прохождения водных преград, таких как реки или озера, укладка кабеля в кабельную канализацию. Более подробно о методах и средствах прокладки кабеля рассказывается в следующем разделе.

3.3 Краткие сведения о способах строительства волоконно-оптических линий связи

В рамках предлагаемого пособия рассматриваются следующие способы укладки кабеля в процессе построения ВОЛС:

- прокладка в кабельную канализацию, используется при строительстве городских сетей;
- прокладка кабеля в открытый грунт, как правило, используется при строительстве магистральных сетей;
- прокладка кабеля по воздуху (столбам), может использоваться при строительстве сетей как в городских, так и загородных условиях, обычно в случаях, если прокладка в грунт или кабель-

ную канализацию требует значительных инвестиций или представляет большие трудности технической реализации, например, в сейсмоопасных местах, или городских районах, где емкость кабельной канализации исчерпана;

- укладка кабеля в асфальтное покрытие является альтернативой укладки кабеля в грунт при создании междугородних сетей, упрощает задачи доступа к кабелю;

- прокладка кабеля при прохождении различных преград (водных, дорог, насыпей и т. д.) используется в совокупности с описанными выше способами в случае возникновения необходимости.

В настоящее время наиболее широкое распространение при создании городских транспортных сетей на основе ВОЛС получил способ прокладки кабеля в кабельную канализацию. Структура кабельной канализации с учетом [7, 53, 55, 66] показана на рисунке 3.6. Пояснения к рисунку 3.6 приведены в таблице 3.7.

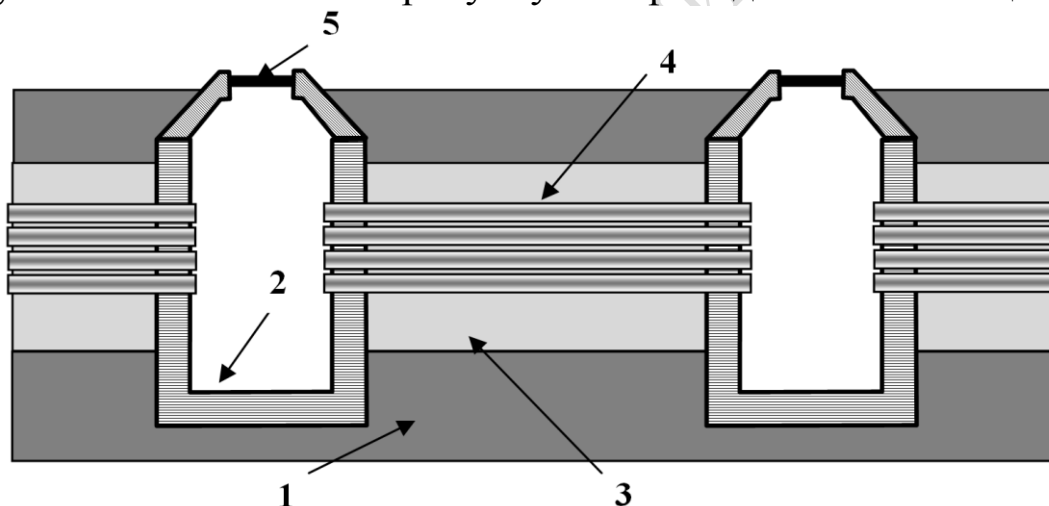


Рисунок 3.6 – Структура кабельной канализации для прокладки волоконно-оптических линий связи

Таблица 3.7 – Перечень основных элементов кабельной канализации

Номер элемента	Название элемента
1	Грунт
2	Кабельный колодец
3	Песчаная подушка
4	Каналы (трубы)
5	Крышка люка

Укладка кабеля при использовании кабельной канализации, как правило, производится в асбестоцементные или пластиковые трубы, так как данные материалы обладают высокой устойчивостью к коррозии, гниению, имеют относительно высокую механическую прочность и обеспечивают при правильной укладке герметичность, или, по крайней мере, затрудняют проникновение влаги в систему канализации. Размещение кабеля в трубе осуществляется либо при помощи протяжки тросом, либо при помощи вдувания сжатым воздухом.

Во время протягивания при помощи троса в трубу кабельной канализации заводится сначала трос, который проталкивается через весь участок, к концу троса прикрепляется кабель, после чего производится вытягивание свободного конца кабеля с другой стороны трубы. При использовании вдувания к концу кабеля прикрепляется небольшой парашют, который помещают в трубу, после в трубу подается сжатый воздух – парашют раскрывается и "тащит" за собой кабель. В обоих случаях необходимо следить за процессом размотки барабана и не допускать динамических рывков, так как это может привести к повреждению кабеля вплоть до его разрыва. Соединение кабеля при помощи специальных муфт производится в кабельных колодцах (на рисунке 3.6 они указаны под номером 2). Соединение волокна кабеля внутри муфт производится, как правило, либо при помощи специальных механических соединителей, либо сварки. После соединения волокон производится тестирование оптического тракта на соблюдение норм на передачу сигнала. Конструкции муфт, способы соединений оптических волокон, а также методы тестирования рассматриваются далее в настоящей главе пособия.

Существенными ограничениями использования кабельной канализации в загородных условиях являются ее высокая стоимость и трудоемкость изготовления относительно цены кабеля, содержащего элементы повышенной гидро- и механической защиты, а также защиты от грызунов. Поэтому для прокладки кабеля в загородных условиях широкое распространение получили методы, основанные на вскрытии грунта и укладке при помощи кабелеукладчика. Схема укладки ВОЛС при помощи кабелеукладчика показана (с учетом [7, 53, 55, 66]) на рисунке 3.7. Пояснения к рисунку 3.7 приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Перечень основных элементов, используемых при прокладке ВОЛС с помощью кабелеукладчика

Номер элемента	Название элемента
1	Трактор
2	Тросовая сцепка
3	Ножи для вскрытия грунта
4	Барабаны с кабелем
5	Оптический кабель
6	Кабелеукладчик

Сущность метода заключается в том, что кабелеукладчик 6 за счет тягового усилия, которое создается трактором 1, прорезает в земле щель при помощи ножей 3; в эту щель по направляющей с барабанов 4 производится укладка кабеля 5. После укладки кабеля щель засыпается. Для обеспечения предупреждения о наличии кабеля в щель может укладываться специальная пластиковая лента с надписью "Осторожно кабель". Задача ленты – предупредить лиц, которые будут заниматься вскрытием грунта в месте укладки кабеля в последующее время.

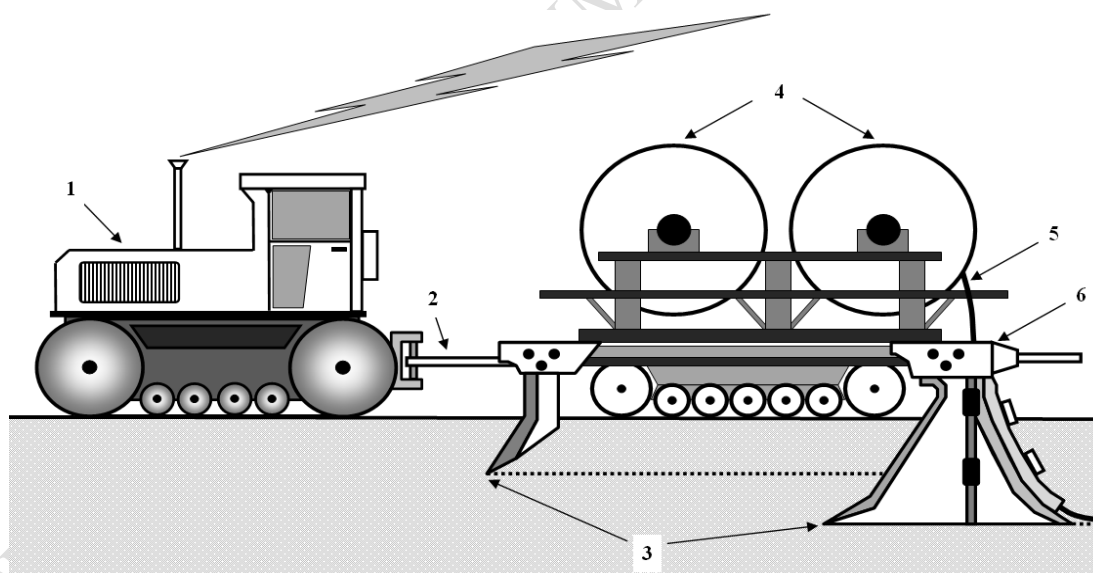


Рисунок 3.7 – Схема укладки волоконно-оптической линии в грунт при помощи кабелеукладчика

Для повышения тягового усилия и скорости вскрытия грунта кабелеукладчик могут тянуть несколько тракторов одновременно, также существуют конструкции кабелеукладчиков, которые полностью монтируются на тракторе или другом виде транспорта.

Если в процессе прокладки кабеля встречаются различные виды преград, то могут быть использованы методы прокладки кабеля по столбам, прохождение водных преград, направленное бурение и проколы, о которых будет рассказано несколько далее в настоящей главе.

Существенными ограничениями укладки кабеля в грунт являются сложности, связанные с доступом к кабелю в процессе его эксплуатации. Несмотря на то, что в рекомендациях указывается необходимость организации трасс кабеля вблизи автомобильных или железных дорог, на практике это не всегда выполняется. Кроме того, как будет показано далее, задача прохождения водных преград, насыпей железных и автомобильных дорог требуют дополнительных усилий и использования специальной техники, что в результате увеличивает бюджет проекта. Также в процессе укладки кабеля возникают трудности с выполнением монтажных работ на мостах и других сооружениях в связи с требованиями обеспечения безопасности. Поэтому одной из альтернатив методу укладки кабеля в грунт стали методы, основанные на укладке кабеля в асфальтовые дороги.

Схема укладки кабеля в автомобильную дорогу показана на рисунке 3.8, пояснения к рисунку 3.8 приведены в таблице 3.9.

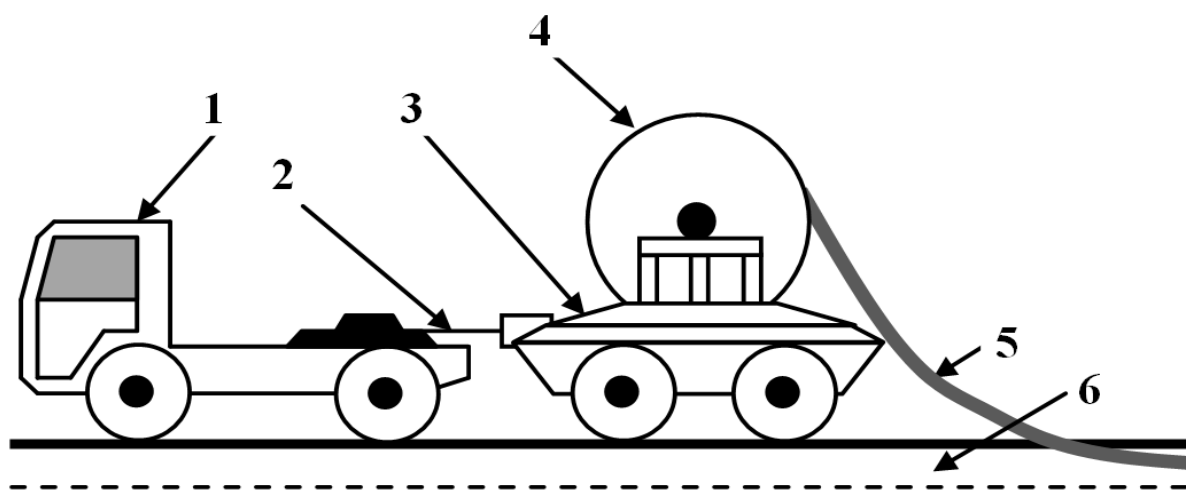


Рисунок 3.8 – Схема укладки волоконно-оптической линии в автомобильную дорогу

Таблица 3.9 – Перечень основных элементов, используемых при прокладке ВОЛС в автомобильную дорогу

Номер элемента	Название элемента
1	Тягач (или грузовой автомобиль)
2	Тросовая сцепка
3	Прицеп, на котором располагается барабан с кабелем
4	Барабан с кабелем
5	Оптический кабель
6	Паз (щель) в дороге для укладки кабеля

Сущность метода заключается в том, что кабель 5 с барабана 4, располагающегося на прицепе 3, укладывается в предварительно сделанный паз (щель) в автомобильной дороге. Тяговое усилие для размотки кабеля создается автомобильным тягачом или грузовым автомобилем 1, которое передается через сцепку 2. Паз в дороге прорезается специальной фрезой. После укладки кабель защищается слоем резины и заливается битумом. Схема, поясняющая защиту кабеля, уложенного в асфальт, в соответствии с [48] приведена на рисунке 3.9.

Как показал анализ исследований в области строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий связи, вскрытие дорожного полотна также сопряжено с рядом трудностей при оформлении разрешительной документации. Оно может привести к преждевременному разрушению асфальтового покрытия. Кроме этого, проведение работ в рамках подобных мероприятий негативно сказывается на пропускной способности дорог, что особенно критично на улицах городов, перегруженных автомобильным транспортом. Альтернативой укладке кабеля в грунт стали методы прокладки кабеля по воздуху. Сущность данных методов основана на креплении кабеля на некоторой высоте от поверхности земли. Местами крепления могут выступать стены зданий или специально установленные столбы. Крепление на опорах позволяет сократить вредные воздействия на кабель от влаги, блуждающих токов (если в кабеле используются металлические конструктивные элементы).

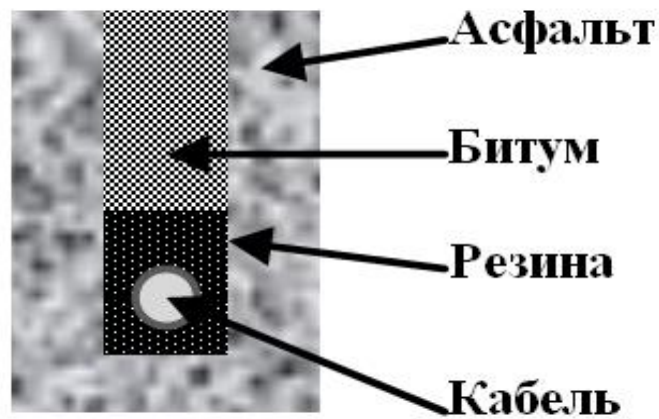


Рисунок 3.9 – Схема защиты кабеля, уложенного в асфальт

Однако на кабель начинают оказывать существенное влияние растягивающие нагрузки, возникающие по причине провиса кабеля вследствие действия его веса. Дополнительные нагрузки возникают по причине температурного расширения-сжатия, что приводит к удлинению и стягиванию кабеля в теплые и холодные времена года соответственно. Также на кабель оказывают влияние ветровые нагрузки и нагрузки, создаваемые птицами, садящимися на него. Схема крепления кабеля ВОЛС на столбах в упрощенном виде показана на рисунке 3.10. В таблице 3.10 приведены пояснения к рисунку 3.10.

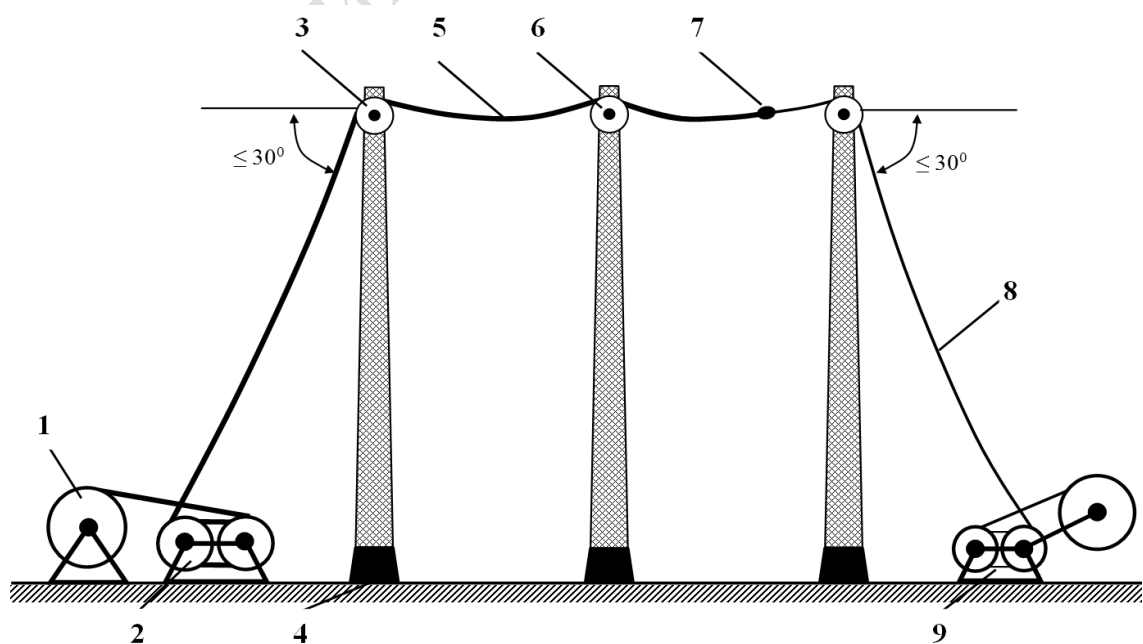


Рисунок 3.10 – Упрощенная схема крепления ВОЛС на столбах

Таблица 3.10 – Перечень основных элементов, используемых при креплении ВОЛС на столбах

Номер элемента	Название элемента
1	Барaban с оптическим кабелем
2	Тормозная машина
3	Концевой ролик
4	Столб
5	Оптический кабель
6	Промежуточный раскаточный ролик
7	Узел соединения троса с оптическим кабелем
8	Трос
9	Натяжная машина

Крепление кабеля к столбу осуществляется при помощи специальных зажимов, упрощенная схема крепления показана на рисунке 3.11. В таблице 3.11 приведены пояснения к рисунку 3.11.

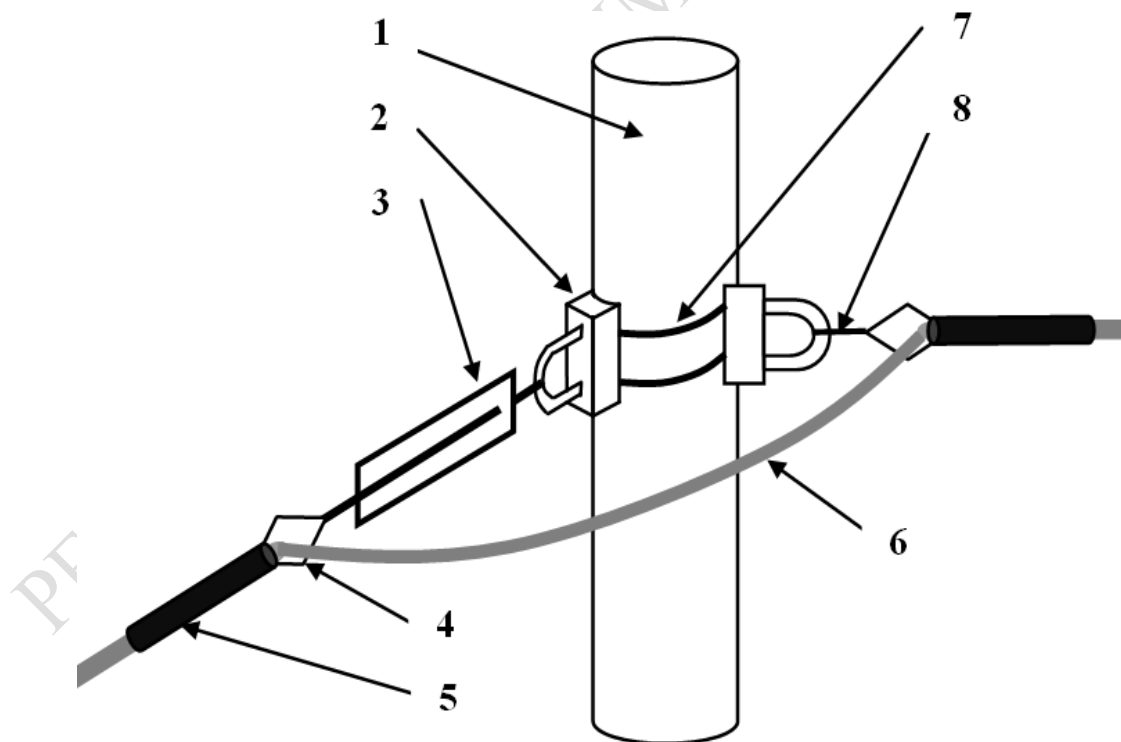


Рисунок 3.11 – Упрощенная схема крепления оптического кабеля к столбу

Таблица 3.11 – Перечень основных элементов, используемых при креплении оптического кабеля на столбах

Номер элемента	Название элемента
1	Опора (столб)
2	Узел крепления
3	Талреп
4	Проушина (коуш)
5	Затяжной зажим вокруг кабеля
6	Оптический кабель
7	Хомут для крепления к опоре (столбу)
8	Промзвено

Муфты, которые используются для соединения строительных участков кабеля и объединения / разъединения оптических линий, также располагаются на столбах. Схема крепления муфты на столбе будет рассмотрена далее в этом разделе.

3.4 Методы прохождения препятствий в процессе строительства волоконно-оптических линий связи

На пути прокладки кабеля могут встречаться водные преграды, овраги, дороги, насыпи и другие препятствия, обходить которые проблематично или нет возможности. Для прохождения водных преград существуют различные методы, которые выбираются в зависимости от вида водоема. В предлагаемом учебно-методическом пособии с учетом [7, 8, 29, 53, 55, 66] в качестве водоемов рассматриваются небольшие реки шириной до 300 м, глубиной до 6 м, скоростью течения до 1,5 м/с, имеющие песчаные или илистые грунты и плавный рельеф дна. Сущность метода прохождения водной преграды заключается в прокладке кабеля в траншею, которая вырывается в дне водоема, как это показано на рисунке 3.12. В таблице 3.12 приведены пояснения к рисунку 3.12.

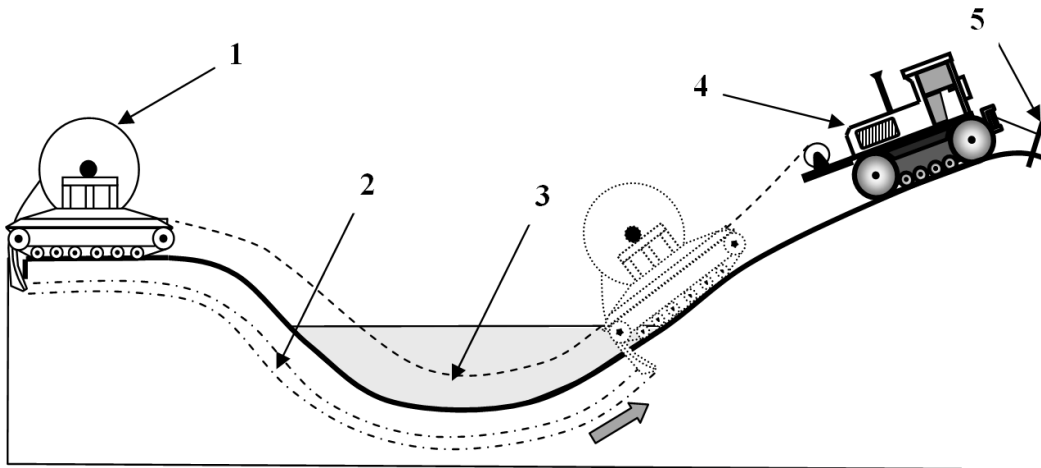


Рисунок 3.12 – Схема прокладки кабеля через небольшую реку

Таблица 3.12 – Перечень основных элементов, используемых при прохождении небольших водных преград

Номер элемента	Название элемента
1	Кабелеукладчик с барабаном
2	Место укладки кабеля
3	Трос
4	Трактор с лебедкой, которая тянет кабелеукладчик
5	Якорь для трактора

В целом рассматриваемый метод аналогичен прокладке кабеля в грунт, отличие заключается в том, что тяговое усилие создается лебедкой, установленной на трактор, а для фиксации трактора используется специальный якорь, забиваемый в землю.

При прохождении более протяженных водных преград используется зигзагообразная укладка кабеля на дно реки с последующей замывкой кабеля, для того чтобы не происходило его смещения по причине течения или перемещения льда. В данном случае укладка кабеля производится со специального судна-кабелеукладчика или понтона. При укладке кабеля на дно морей или океанов используются суда с кабелеукладчиками. С более подробным описанием методов укладки кабеля при прохождении крупных водных преград читатель может ознакомиться в работе [10].

Также для прохождения небольшой водной преграды можно воспользоваться горизонтально-направленным бурением, однако данный метод получил большее распространение при прохождении насыпей автомобильных и железных дорог. Схема реализации горизонтально-направленного бурения показана на рисунке 3.13. В таблице 3.13 приведены пояснения к рисунку 3.13.

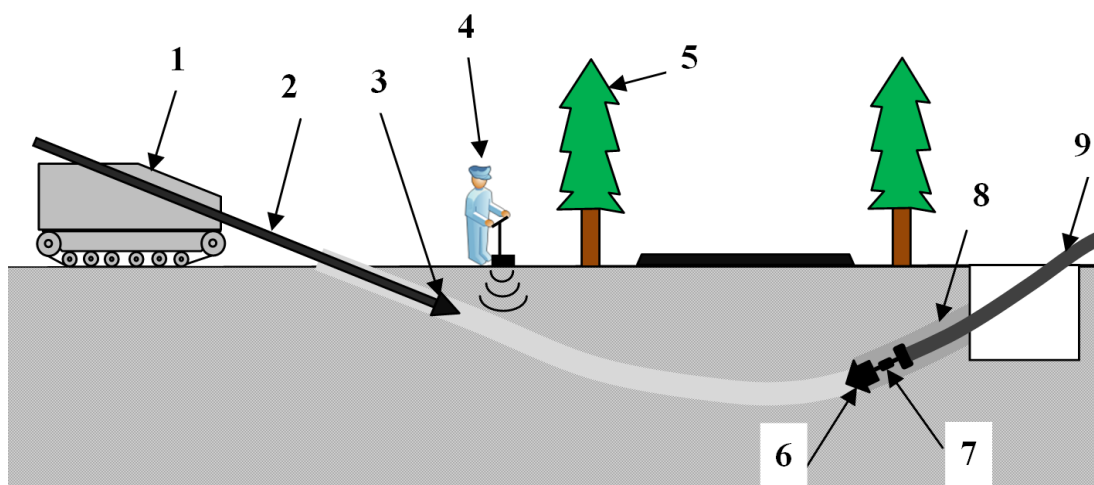


Рисунок 3.13 – Схема прокладки кабеля при помощи горизонтально-направленного бурения

Таблица 3.13 – Перечень основных элементов, используемых при прохождении небольших водных преград

Номер элемента	Название элемента
1	Буровая установка
2	Буровая штанга
3	Буровая головка
4	Радиолокация положения буровой головки
5	Дерево хвойной породы
6	Расширитель грунта
7	Вертлюг
8	Буровой канал
9	Затягиваемая труба

В процессе горизонтально-направленного бурения выполняются следующие виды операций:

1) производится бурение пилотной скважины, которое осуществляется буровой головкой, насаженной на гибкий вал; использование гибкого вала позволяет "огибать" или "обходить" препятствия; бурение пилотной скважины производится от буровой установки (в "прямом" направлении);

2) перед затягиванием трубы производится расширение скважины при помощи риммера (расширителя) в обратном направлении за счет "протаскивания" расширителя с противоположной стороны от буровой установки по созданному ранее туннелю;

3) затягивание трубы с той же стороны, с которой производилось расширение; часто к переднему концу трубы через вертлюг закрепляется расширитель;

4) ввод кабеля в трубу может осуществляться как посредством протаскивания, так и вдувания сжатым воздухом.

Максимальная длина бурения, в зависимости от типа установки, может достигать 700 м.

Если протяженность преграды в пределах 20–30 м и грунт достаточно мягкий, возможно прохождение препятствия при помощи прокола. Прокол выполняется при помощи специальных гидравлических домкратных установок. Схема проведения прокола показана на рисунке 3.14. В таблице 3.14 приведены пояснения к рисунку 3.14.

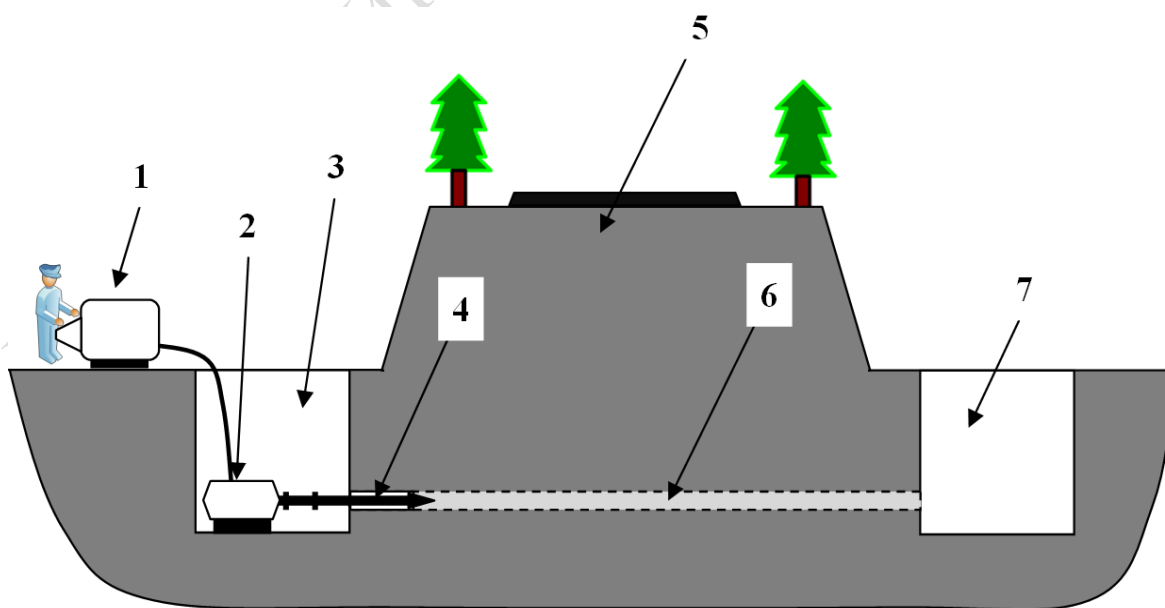


Рисунок 3.14 – Схема проведения прокола при помощи гидравлического домкрата

Таблица 3.14 – Перечень основных элементов, используемых при прохождении небольших водных преград

Номер элемента	Название элемента
1	Нагнетательный насос
2	Гидравлический домкрат
3	Котлованы для проведения технологических операций
4	Пробойник со штоком
5	Насыпь (преграда)
6	Направление прокола

Ход домкрата для проведения прокола составляет около 1,5 м. Насосом 1 производится нагнетание жидкости в гидравлический домкрат 2. За счет нагнетания жидкости домкрат создает усилие, которое через шток 4 передается на пробойник. При возникновении усилия происходит уплотнение грунта в преграде 5. Домкрат может совершать возвратно-поступательные движения, что позволяет наращивать длину штока за счет добавления патрубков. После прокола в получившийся канал размещаются трубы, в которые протаскивается или вдувается кабель.

3.5 Конструктивные особенности и крепление муфт для сращивания оптических кабелей

Для соединения строительных участков кабеля между собой, а также для объединения / разъединения оптических линий используются специальные муфты, которые могут зарываться в землю или размещаться в колодцах.

Муфты предназначены для соединения различных типов оптических кабелей во время прокладки в каналах, грунте, кабельной канализации, опорах воздушных линий связи и т. д. Муфта обеспечивает механическую защиту и защиту от влаги мест соединения волокон за счет использования специального кожуха, вводов кабеля и уплотнителей. Структура муфты на примере муфты МОГ-У-34 (муфта оптическая городская универсальная) в соответствии [46] показана на рисунке 3.15. В таблице 3.15 приведены пояснения к рисунку 3.15.

Герметизация муфты может производиться холодным или горячим способами. При холодном способе герметизация обеспечивается за счет сдавливания уплотнителей при помощи болтов, хомутов или специальных защелок. Горячий способ герметизации заключается в использовании эффекта термоусадки трубок, манжет, различных лент по причине их нагревания с последующим охлаждением.

Таблица 3.15 – Перечень основных элементов муфты для оптического кабеля

Номер элемента	Название элемента
1	Оголовник на ввод трех ОК
2	Крепление центрального силового элемента
3	Лоток
4	Кассета К24-4525
5	Защита сварных соединений
6	Крепление модулей на кассете
7	Крепление центрального силового элемента
8	Оголовник на ввод четырех ОК
9	Схема расположения патрубков на оголовнике
10	Крепление модулей на кассете
11	Оптические волокна, выложенные «восьмеркой»
12	Петли крепления кассет
13	Схема расположения патрубков на оголовнике

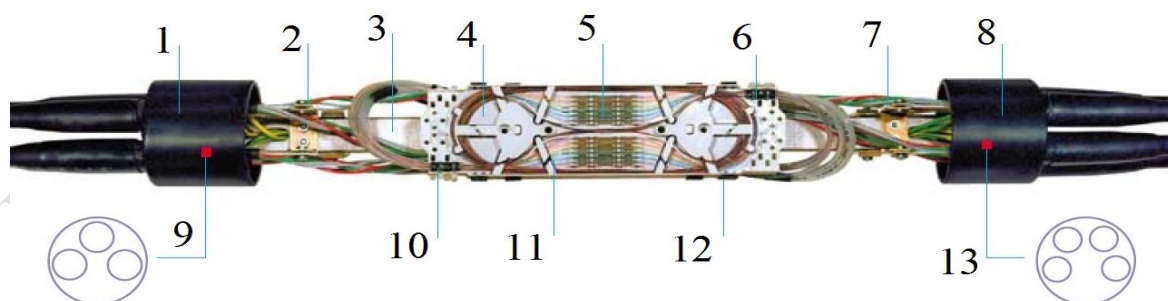


Рисунок 3.15 – Структура оптической муфты на примере муфты МОГ-У-34

Встречаются конструкции муфт, которые совместно используют холодный и горячий способы герметизации. В процессе

выбора муфты особое внимание следует уделять следующим характеристикам:

- конструктивным особенностям муфты;
- виду материала, из которого изготовлена муфта;
- соответствию муфты типу соединения;
- специфике условия эксплуатации муфты (укладка в грунт, под воду, в кабельную канализацию или в помещении и т. д.);
- значению напряжения пробоя изоляции;
- размеру и форме муфты;
- максимальному количеству волокон оптического кабеля, на которое рассчитана муфта.

Наиболее часто муфты изготавливаются из пластмассы для специальных целей, например, для укладки под воду могут использоваться муфты из чугуна или свинца. Также чугунные муфты могут укладываться в открытый грунт. Для дополнительной гидрозащиты внутренний объем муфты может заполняться специальным гелем. По способу ввода кабеля муфты классифицируются на два вида:

- проходные – кабель входит с двух сторон;
- тупиковые – кабель входит с одной стороны.

Чаще всего муфты располагаются в колодцах кабельной канализации, в грунте и на столбах. Пример расположения муфты в колодце кабельной канализации приводится на рисунке 3.15. В таблице 3.16 даны пояснения к рисунку 3.16.

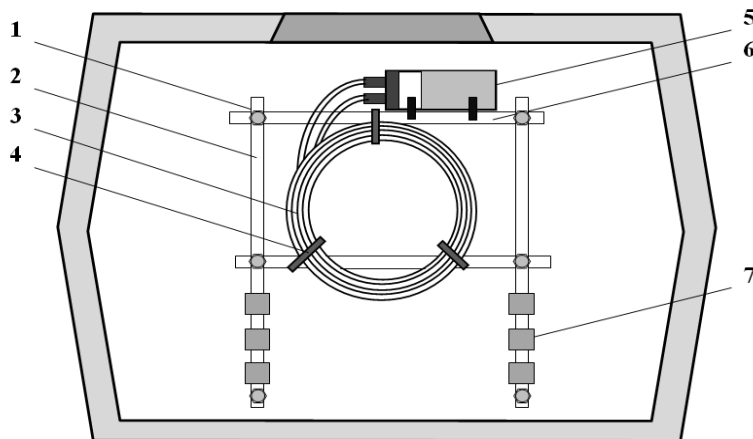


Рисунок 3.16 – Пример расположения муфты и соединения кабеля в колодце кабельной канализации

Таблица 3.16 – Перечень основных элементов при расположении муфты для соединения оптического кабеля в колодце кабельной канализации

Номер элемента	Название элемента
1	Консольный болт
2	Кронштейн из оснащения колодца
3	Технологический запас сращиваемых кабелей, смотанный в виде бухты
4	Крепление кабеля к консолям
5	Муфта оптическая тупиковая (МТОК)
6	Кронштейн для установки тупиковых оптических муфт в колодцах
7	Крепление к колодцу

Схема расположения муфты в грунте показана на рисунке 3.17. В таблице 3.17 приведены пояснения к рисунку 3.17.

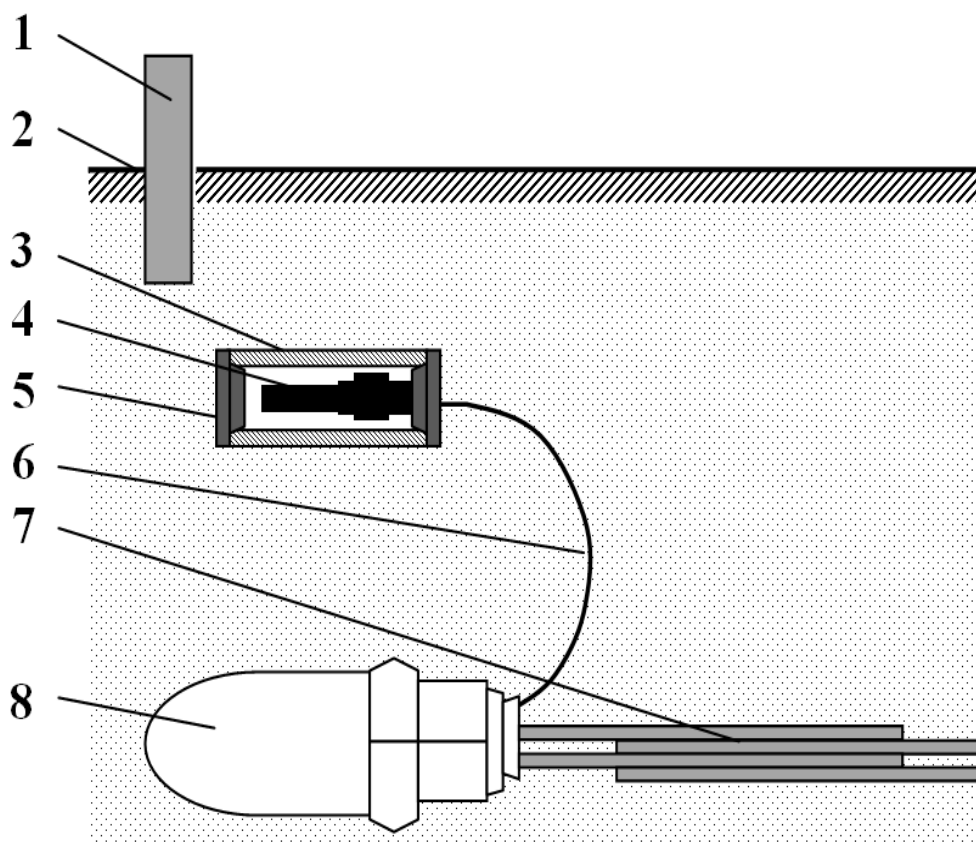


Рисунок 3.17 – Пример расположения муфты и соединения кабеля в грунте

Таблица 3.17 – Перечень основных элементов при расположении муфты для соединения оптического кабеля в грунте

Номер элемента	Название элемента
1	Замерный столбик
2	Поверхность грунта
3	Отрезок асбестоцементной трубы диаметром 100 мм
4	Подземный контейнер проводов заземления (КПЗ)
5	Пробки полиэтиленовые
6	Провода заземления (КИП), выходящие из муфты
7	Запас ОК, смотанный в бухты
8	Оптическая муфта типа МТОК в муфте чугунной защитной (МЧЗ)

Схема расположения муфты на столбе приведена на рисунке 3.18. В таблице 3.18 даны пояснения к рисунку 3.18.

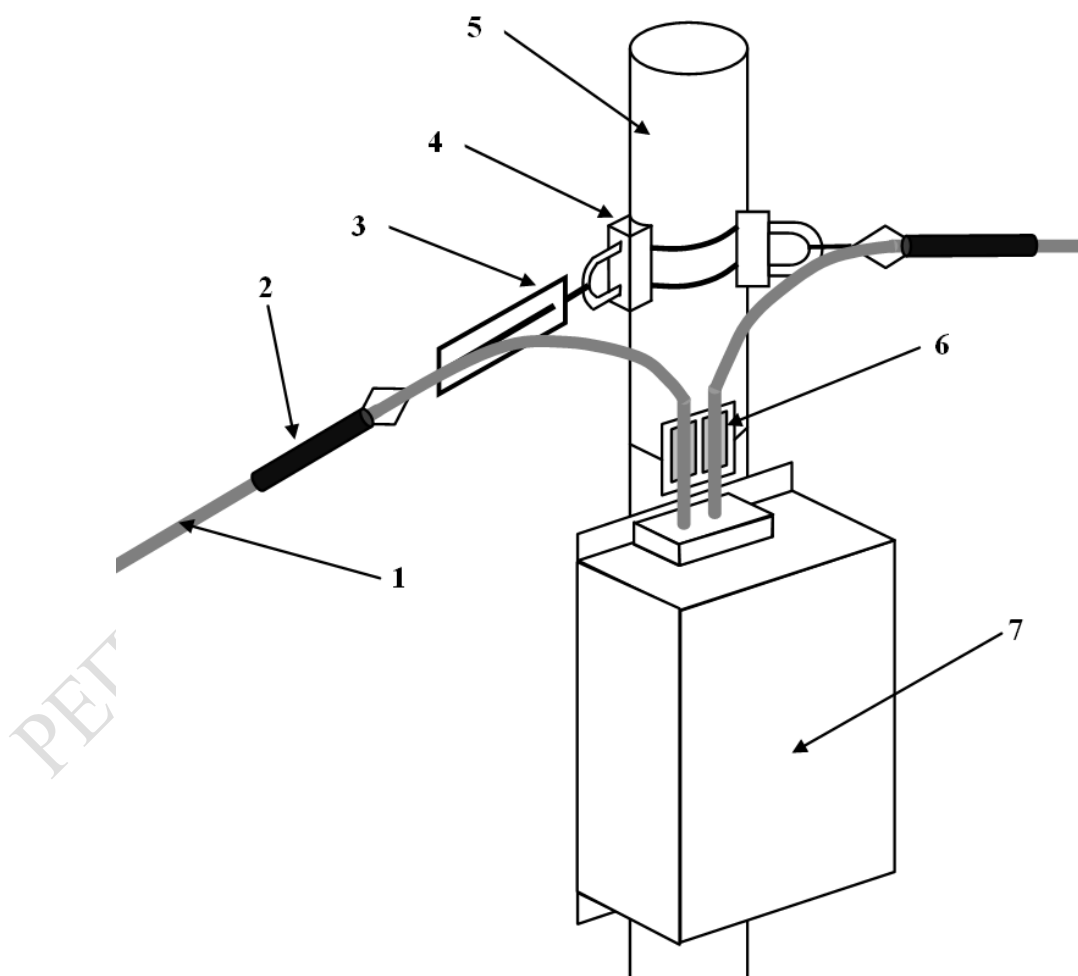


Рисунок 3.18 – Пример расположения муфты и соединения кабеля в грунте

Таблица 3.18 – Перечень основных элементов при расположении муфты для соединения оптического кабеля в грунте

Номер элемента	Название элемента
1	Кабель
2	Подвес
3	Талреп
4	Узел крепления
5	Опора
6	Зажим шлейфовый с ленточным хомутом
7	Шкаф для размещения муфты и запаса кабеля

Крепление шкафа к опоре осуществляется либо при помощи специальных зажимов, либо при помощи хомутов (на рисунке 3.18 они не показаны). Аналогичным образом муфты могут быть закреплены на зданиях или других сооружениях. Нормы на запас кабеля во время стыковки в муфтах приводятся далее во время описания основных теоретических соотношений, используемых в процессе проектирования волоконно-оптических линий связи.

3.6 Основы измерения параметров и идентификации неисправностей волоконно-оптических линий связи

Контроль качества и измерения характеристик ВОЛС осуществляется при помощи рефлектометра. Принцип действия рефлектометра основывается на проведении анализа отраженного сигнала, который прибор излучает в оптический кабель. Введение импульса в волокна кабеля производится при помощи ответвителя. В ходе распространения сигнал испытывает потери, причинами которых являются:

- затухание сигнала, возникающее по причине физических свойств волокна, характеризующееся коэффициентом затухания (единица измерения дБ/км);
- наличие сварных или механических стыков, величина потерь находится в пределах $0,1 \div 0,5$ дБ, а величина потерь на механическое соединение составляет $0,5 \div 1,5$ дБ на один стык соответственно;

- наличие различных неоднородностей, возникших по причине дефектов или повреждений кабеля, которые могут либо поглощать, либо отражать сигнал.

После получения отраженного сигнала рефлектометр преобразует его в графическую зависимость – рефлектограмму. Внешний вид рефлектограммы с указанием различных причин, вызывающих потери мощности сигнала в оптическом кабеле, с учетом [34, 35, 45] приведен на рисунке 3.19.

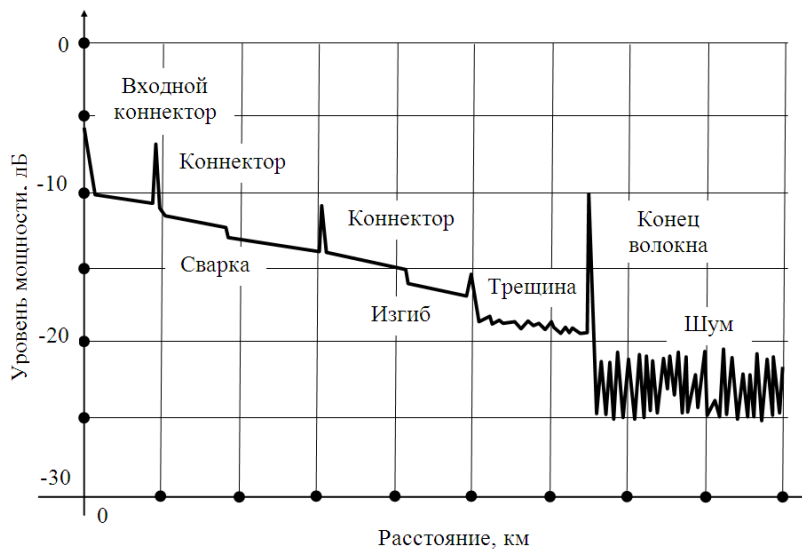


Рисунок 3.19 – Пример рефлектограммы различных повреждений оптического волокна

Рефлектометры обеспечивают выполнение таких функций, как:

- тестирование оптического кабеля в автоматическом режиме, когда прибор определяет необходимые параметры проведения замеров, обрабатывает полученную информацию и идентифицирует ее в виде диаграммы, аналогичной показанной на рисунке 3.19, и обобщающей таблицы;
- расчет протяженности оптической линии и расстояния до мест повреждений, соединений и неоднородностей в оптическом волокне;
- определение затухания в кабеле, а также величины мощности отражённых сигналов при протяженности линии до 300 км;
- проведение сравнения полученной рефлектограммы с рефлектограммами, полученными ранее, что позволяет выявлять изменение параметров оптической линии.

При этом следует обратить внимание, что измерение погонного затухания в волокне иногда нужно производить при помощи непосредственного подключения источника и получателя светового сигнала. В отдельных случаях для повышения точности рекомендуется использование двух рефлектометров, которые подключаются к разным концам одного волокна.

К ограничениям рефлектометров следует отнести высокую стоимость самого прибора и его обслуживания, наличие «мертвых» зон, в которых невозможно проведение измерений, относительно высокие требования к специалистам, производящим анализ рефлектограммы.

Рефлектометры можно классифицировать следующим образом:

- оптические локаторы (или локаторы неисправностей, оптические измерители) – компактные приборы, которые часто показывают расстояние до неисправности (повреждения) кабеля, прибор обладает компактными размерами, возможностью автономной работы, ограничение – выдача информации в виде численных значений без возможности анализа графика, пример устройства показан на рисунке 3.20 а) [24] (ценовой диапазон данного класса измерительных приборов находится в пределах 15 – 25 тыс. руб. в ценах 2019 г.);

- оптические локаторы с функционалом рефлектометра, позволяют кроме численного сигнала строить рефлектограмму результатов измерения, обладают компактными размерами, возможностью автономной работы, пример подобного оптического локатора показан на рисунке 3.20 б) [25] (ценовой диапазон данного класса измерительных приборов находится в пределах 35 – 75 тыс. руб. в ценах 2019 г.);

- модульные рефлектометры позволяют проводить более точные измерения, предусматривают возможность подключения персонального компьютера с целью передачи информации для последующей ее обработки, дополнительных периферийных устройств в виде клавиатуры, мыши, модемов, сменных носителей информации и т. д.; часто предусматривается наличие дополнительных сменных модулей, позволяющих расширять функционал прибора; пример подобного оптического прибора показан на рисунке 3.20 в) [35] (ценовой диапазон данного класса измерительных приборов находится в пределах 100–160 тыс. руб.);

- рефлектометры используются для контрольных измерений во время калибровки приборов, в научных исследованиях, обладают повышенной точностью и функционалом (ценовой диапазон данного класса измерительных приборов часто превосходит 200 тыс. руб. в ценах 2019 г.).

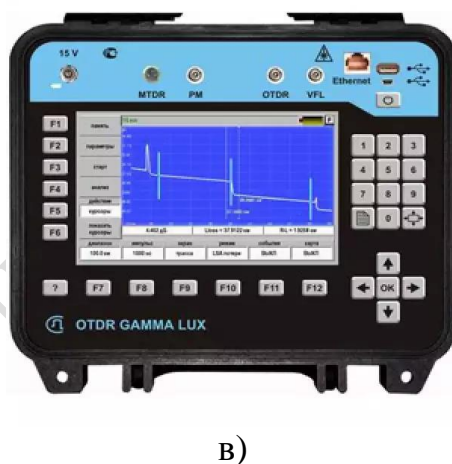


Рисунок 3.20 – Внешний вид рефлектометра Гамма Люкс М0

Следующим этапом является рассмотрение принципов соединения оптических волокон.

3.7 Основные принципы соединения волокон в оптических кабелях

Как было описано несколько ранее, соединение волокон в процессе стыковки кабеля реализуется либо механическим (при

помощи специальных соединителей) либо термическим (при помощи сварки) методами. Механические соединения уступают по качеству сварным, однако более просты в реализации. Поэтому механические соединения, как правило, используются во время стыковки в труднодоступных местах или когда требуется высокая скорость монтажа. Срок службы соединения заметно меньше, чем во время сварки. (Оно боится влаги.) Технически соединение производится за счет введения волокон в специальный бокс, который заполняется гелем для обеспечения некоторого уровня гидрозащиты, пример механического соединения показан на рисунке 3.21 [27, 30, 49]. В таблице 3.19 приведены пояснения к рисунку 3.21.

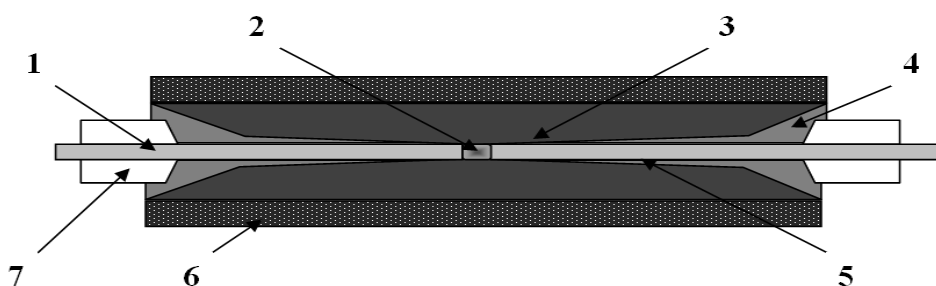


Рисунок 3.21 – Схема механического соединения оптического волокна

Таблица 3.19 – Перечень основных элементов при механическом соединении оптических волокон

Номер элемента	Название элемента
1	2
1	Оптическое волокно
2	Иммерсионный гель
3	Деформируемая пластиковая вставка для удерживания волокна
4	Сужаемый вход
5	Волокно, выравниваемое V-образным желобом
6	Поверхность соединителя
7	Защитный покров

Использование сварных соединений требует более дорогого оборудования и более высокой квалификации монтажников, однако обеспечивает большую долговечность соединения и меньшие потери на стыках. Как правило, сварные соединения используются в процессе строительства междугородних линий

связи или линий, к которым предъявляются повышенные требования к надежности и скорости передачи информации.

Принцип сварки оптических волокон основан на оплавлении их концов в результате воздействия электрической дуги или лазера, с последующим соединением. Общий принцип сварки волокон продемонстрирован на рисунке 3.22. В таблице 3.20 приведены пояснения к рисунку 3.22.

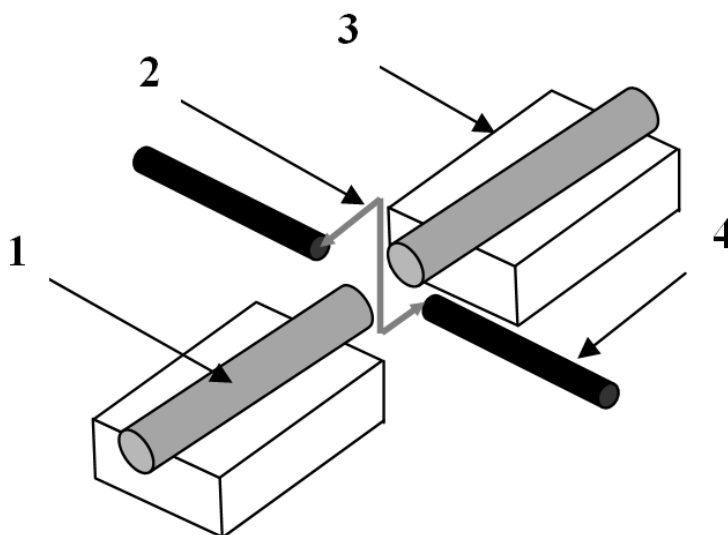


Рисунок 3.22 – Принцип сваривания оптических волокон

Таблица 3.20 – Перечень основных элементов при сварке оптических волокон

Номер элемента	Название элемента
1	2
1	Оптическое волокно
2	Электрическая дуга
3	Площадка с V-образной канавкой для размещения волокна
4	Электроды

Перед выполнением сварки концы волокна скалываются и обезжириваются специальными жидкостями. Одним из условий успешного соединения волокон является их точная юстировка в двух плоскостях и обеспечение высокого качества сплавления. Если не выполняются требования по обеспечению качества соединения, оно вырезается и сварка проводится заново.

Для выполнения сварки волокон используются сварочные аппараты. На ранних версиях сварочных аппаратов юстировка и сведение волокон, подача дуги осуществлялись вручную. Качество выполнения сварных работ контролировалось визуально при помощи микроскопа, а качество соединения при помощи рефлектометра. Скалывание и обезжиривание волокон также проводилось вручную. В настоящее время многие сварочные аппараты позволяют полностью автоматизировать процесс сваривания волокна, начиная с операций скалывания и обезжиривания до операций контроля и выполнения повторной сварки, в случае если соединение не удовлетворяет качественным нормам. Пример современного аппарата для сваривания волокон показан на фотографии, приведенной на рисунке 3.23 в соответствии с источником [33].



Рисунок 3.23 – Аппарат для сварки оптических волокон
IL SINTECH K11

При выполнении работ по скалыванию и обезжириванию оптических волокон вручную необходимо особенно ответственно подходить к выполнению правил техники безопасности. Учитывая, что волокно имеет диаметр несколько мкм, его сколы могут проникнуть через кожный покров внутрь организма и после перемещения по сосудам могут стать причиной остановки сердца. Поэтому, если скалывание оптических волокон осуществляют

вручную, работа производится на специальной ленте. Остатки волокон собирают в специальный бокс, а потом сжигают.

3.8 Краткие сведения об используемом мультиплексирующем оборудовании

Мультиплексор представляет собой сетевое устройство, задачей которого является объединение нескольких информационных потоков. Сущность мультиплексирования с учетом [13, 15, 39] продемонстрирована на рисунке 3.24. Известны методы частотного FDMA (Frequency Division Multiple Access), временного TDMA (Time Division Multiple Access), кодового CDMA (Code Division Multiple Access) и пространственного SDMA (Space-division multiple access) мультиплексирования. При создании ВОЛС все большее распространение получают методы, основанные на спектральном уплотнении каналов – WDM (Wavelength Division Multiplexing). Одним из наиболее ярких примеров спектрального уплотнения каналов стала технология DWDM (Dense Wavelength-division multiplexing) – плотное мультиплексирование с разделением по длине волны, подробнее с описанием принципов различного вида методов мультиплексирования можно ознакомиться в работах [39, 50].

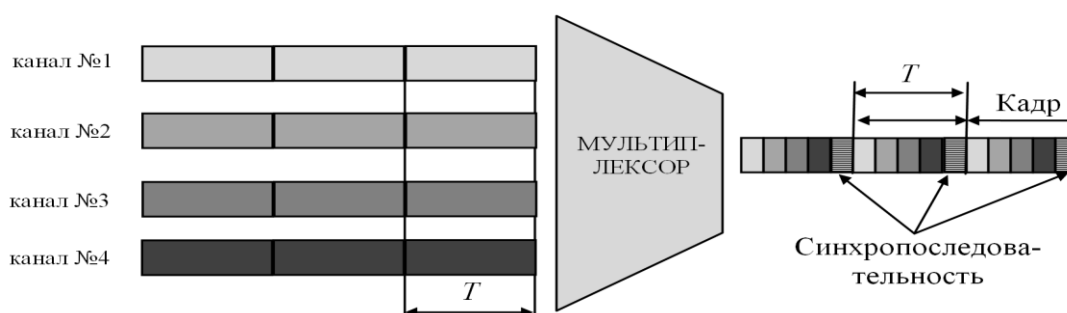


Рисунок 3.24 – Пример мультиплексирования нескольких информационных потоков

DWDM мультиплексирование основывается на одновременном применении нескольких оптических сигналов, что позволило реализовать возможность передачи примерно 160 каналов по одному волокну. Скорость передачи при этом может достигать 100 Гбит/с (с перспективой до 1 Тбит/с). Подробнее описание технологии DWDM приведено на ресурсе:

NAG.ru, материал доступен по ссылке:
http://shop.nag.ru/catalog/article/id/19/catalog_id/71;
также для доступа к странице можно считать
QR-код камерой мобильного устройства



В целом мультиплексоры можно классифицировать на терминальные, которые располагаются на концах линии связи, и ввода / вывода – применяются выделения множества необходимых каналов из общего потока данных, передаваемых в линии. Пропускная способность современных мультиплексоров может достигать 100 Гбит/с и более, отдельные их виды позволяют объединять сети, использующие медный и оптический кабель. Примерами современных мультиплексоров является решение от компании Alcatel – мультиплексор Alcatel-Lucent 1655 AMU [26], и решение отечественного производителя – мультиплексор ГМ-1Gx от компании Zelax [31].

Внешний вид мультиплексора Alcatel-Lucent 1655 AMU приведен на рисунке 3.25 [26]. Основная область использования – подключение сетей средних и крупных предприятий к транспортным сетям провайдеров. Также может применяться для организации участков транспортной сети, например для обслуживания базовых станций систем сотовой связи. Перечень основных технических характеристик, которые можно использовать в процессе подготовки выпускной квалификационной работы, приведен в таблице 3.21 [26].



Рисунок 3.25 – Изображение мультиплексора Alcatel-Lucent 1655 AMU

Таблица 3.21 – Основные параметры Alcatel-Lucent 1655 AMU

Наименование параметра	Значение параметра
1	2
Кол-во слотов в зависимости от модификации	2 для плат управления и 4 для интерфейсных плат (вариант 2/4)
	1 для платы управления и 1 для интерфейсной платы (вариант 1/1)
Интерфейсы	2 × STM-1/4 (переменная скорость)
	2 × STM-1 (фиксированная скорость)
	E1 до 63 потоков
	10/100 BaseT 10/100/1000 BaseT 1000 BaseX
Габаритные размеры (Ш × В × Г, мм)	224 × 300 × 270 (для варианта 2/4)
	88 × 300 × 270 (для варианта 1/1)
Питание	От -40,5 до -72 В
Мощность	100 Вт

Примером решения от российского производителя является мультиплексор ГМ-1Gx компании Zelax, внешний вид которого продемонстрирован на рисунке 3.26 [31]. Основная задача мультиплексора – одновременная передача трафика в виде 2 Gigabit Ethernet и до 88 потоков G.703/E1 по волоконно-оптической линии связи. Перечень основных технических характеристик мультиплексора ГМ-1Gx приведен в таблице 3.22.



Рисунок 3.26 – Изображение мультиплексора ГМ-1Gx

Таблица 3.22 – Основные параметры ГМ-1Gx

Наименование параметра	Значение параметра
1	2
Оптические линейные порты	2 независимых оптических порта на сменных SFP-модулях (скорость работы: 1250 Мбит/с)
Порты Gigabit Ethernet	2 независимых комбо-порта: электрический и оптический SFP интерфейс: 100Base-TX/1000Base-T
Порты G.703/E1	количество портов: до 88 (в зависимости от модификации), интерфейс: G.703 2048 кбит/с; кодирование: AMI/HDB3; чувствительность приёмника: -12 дБ

Окончание таблицы 3.22

1	2
Порты Ethernet	количество портов: 2 (встроенный коммутатор), интерфейс: 10Base-T/100Base-TX, порты используются для управления мультиплексором и передачи данных
Схемы работы	«точка–точка», «цепочка», «кольцо»

Кроме мультиплексоров для ввода и вывода информационных потоков в оптические кабели могут использоваться коммутаторы, маршрутизаторы и медиаконвертеры (транспондеры) Ethernet-сетей передачи данных, которые имеют оптические интерфейсы. Чаще всего на подобных устройствах используются модули с SFP и SFP+ интерфейсами, обеспечивающие скорость передачи до 1 и до 10 Гбит/с, соответственно. Примерами подобного оборудования являются решения компании D-Link, Cisco, Huawei, SNR. Характеристики некоторых SFP и SFP+ модулей приведены в таблице 3.23, информация получена с использованием ресурсов [40, 41, 42, 43, 44, 56].

Таблица 3.23 – Основные параметры SFP и SFP+ модулей

Наименование параметра	SFP 1000BaseLX (16dBm)	SFP 1000BaseLX (24 dBm)	SFP 1000BaseLX (28 dBm)	SFP+ WDM (16dB)	SFP+ 10GBASE-ZR(23dB)	SFP+ 10GBASE-ZR,(26dB)
1	2	3	4	5	6	7
Стандарт сети	1G Ethernet			10G Ethernet		
Дальность действия, заявленная производителем, км	до 40	до 80	до 100	до 40	до 80	до 100
Выходная мощность, dBm	min -5 max 0	min 0 max 5	min 0 max 5	min 1 max 5	min 0 max 5	min 1,5 max 5
Чувствительность приемника, dBm	-21	-24	-28	-15	-23	-24.5
Скорость передачи, Гбит/с	до 1			до 10		
Тип интерфейса	LC		LC simplex		LC	
Длина волны, нм	1550		1270	1550	1550	

Окончание таблицы 3.23

1	2	3	4	5	6	7
Тип излучателя	DFB-лазер			EML-лазер		
Ширина полосы оптического излучения, нм	> 1 (в пределах 0,12÷0,45)			0,02÷0,08		
Совместимость с Ethernet оборудованием производителей, кроме SNR	Cisco, Extreme, Juniper, HP, Dell, Force10, Huawei, Dlink					
Цена, тыс. руб.	4,5	4,5	8,8	8,6	35,3	78,3

Внешний вид SFP и SFP+ модулей показан на рисунках 3.27 а) [40] и 3.27 б) [41] соответственно.



Рисунок 3.27 – Внешний вид SFP (а) и SFP+ (б) модулей

Медиаконвертеры (транспондеры) используются для преобразования одного типа оптического сигнала в другой, кроме этого, медиаконвертер может быть использован для решения задач ретрансляции сигнала. Примерами являются устройства:

- медиаконвертер (транспондер) T501.053.001 8-канальный 3R SFP+ 10GE 1U [41], поддерживающий работу SFP и SFP+ модулей на скоростях до 10 Гбит/с; стоимость устройства составляет около 100 тыс. руб.; в стандартной комплектации используются только SFP модули со скоростью передачи до 1 Гбит/с;
- медиаконвертер SNR-CVT-SFP+ 10GE [42] с двумя портами SFP+, поддерживающий скорость передачи до 10 Гбит/с, в стандартной комплектации имеет 2 SFP+ порта и один Ethernet порт; стоимость составляет около 56 тыс. руб.

Стоимость обоих устройств приведена из предположения, что дальность передачи оптического сигнала находится в пределах 10–20 км. При необходимости увеличения дальности требуется установка других SFP или SFP+ модулей, например указанных в таблице 3.23, соответственно окончательная стоимость устройств возрастет. Более точную информацию о стоимости оборудования можно получить по запросу у менеджеров компании-поставщика.

Внешний вид медиаконвертеров T501.053.001 и SNR-CVT-SFP+ соответственно приведен на рисунках 3.28 а) [41] и 3.28 б) [42].



Рисунок 3.28 – Внешний вид медиаконвертеров T501.053.001 (а) и SNR-CVT-SFP+ (б)

У многих промышленных коммутаторов и маршрутизаторов различных компаний SFP модули установлены в стандартной комплектации. Руководства по настройке подобных устройств достаточно подробно представлены на сайтах производителей. В случае необходимости на них также можно проводить замену предустановленных SFP модулей или согласовывать установку необходимых модулей в процессе оформления договора поставки.

Для определения количества оборудования и проверки его соответствия заявленным характеристикам и условиям работы в рамках разрабатываемого проекта необходимо выполнение расчетов, связанных с определением потерь сигнала и характеристик надежности волоконно-оптической линии связи.

3.9 Упрощенный расчет основных параметров волоконно-оптических линий связи

В процессе подготовки выпускной квалификационной или курсовой работы для расчета волоконно-оптической линии требуется выполнение следующих основных операций:

- определение общей потребности в оптическом кабеле и муфтах с учетом протяженности регенерационного участка, особенностей трассы, количества населенных пунктов, где производится установка коммутационного и регенерационного оборудования;
- расчет характеристик надежности оптического тракта.

С более полным расчетом волоконно-оптического тракта читатель имеет возможность ознакомиться в РД 45. 047-99 "Руководящий документ. Отрасли линии передачи волоконно-оптические на магистральной и внутрizonовых первичных сетях ВСС России. Техническая эксплуатация". Доступен по ссылке http://nag.ru/goodies/docs/rd_45_047_99_volp.doc.

Рассмотрим подробнее выполнение перечисленных операций.

Определение потребности в оптическом кабеле и муфтах

Потребность в кабеле определяется на основании исходной информации о протяженности участка прокладки волоконно-оптической линии и нормативов на запас кабеля. Перед определением общей длины кабеля необходимо определить протяженность регенерационного участка, так как от его величины зависит количество ретрансляторов, установка которых может потребовать дополнительную кроссировку линии в узлах связи, размещенных в промежуточных населенных пунктах. Населенные пункты могут находиться на некотором отдалении, обычно в пределах 1÷5 км от рекомендованной трассы прокладки, например, вдоль автострады.

Протяженность регенерационного участка оптической линии l_{PY} (км) – это максимально допустимое расстояние, на котором необходимо установить ретранслирующий или принимающий узел. Величина l_{PY} определяется исходя из расчета $l_{PY}^{затух.}$ – протяженности регенерационного участка «по затуханию», [км];

и $l_{PY}^{disc.}$ – протяженности регенерационного участка «по дисперсии», [км]. Окончательно l_{PY} определяется из соотношения:

$$l_{PY} = \min(l_{PY}^{затух.}, l_{PY}^{disc.}). \quad (3.1)$$

Величина $l_{PY}^{затух.}$ рассчитывается исходя из энергетического потенциала системы $\mathcal{E}_{n.ВОЛС}$ [дБм], значения потерь, которые испытывает сигнал в процессе распространения по линии $\alpha_{общ.}$ [дБ] и коэффициента затухания сигнала в оптическом волокне $\alpha_{волок.}^{\Sigma}$ [дБ/км], определяется с учетом вида используемого кабеля. Формально зависимость максимальной протяженности регенерационного участка от энергетических характеристик оптического канала можно определить соотношением:

$$l_{PY}^{затух.} = \frac{\mathcal{E}_{n.ВОЛС} - \alpha_{общ.}}{\alpha_{волок.}^{\Sigma}}, \text{ км.} \quad (3.2)$$

Энергетический потенциал системы $\mathcal{E}_{n.ВОЛС}$ определяется исходя из величины излучаемой мощности оптического передатчика $P_{Опт.Пер}$ [дБм] и чувствительности приемника $P_{Опт.Пр.}$ [дБм] из соотношения:

$$\mathcal{E}_{n.ВОЛС} = P_{Опт.Пер} - P_{Опт.Пр.}, \text{ дБм.} \quad (3.3)$$

Значения величин $P_{Опт.Пер}$ и $P_{Опт.Пр.}$ определяются из паспортных характеристик оптических модулей, входящих в состав мультиплексоров, транспондеров, коммутаторов или других сетевых устройств. В рамках пособия величины $P_{Опт.Пер}$ и $P_{Опт.Пр.}$ определяются из таблиц 3.22, 3.23. Величина $\alpha_{волок.}^{\Sigma}$ рассчитывается с учетом паспортных данных по затуханию волокна $\alpha_{волок.}$ и коэффициента старения $k_{стар.}$. Прирост затухания за счет старения можно получить из формулы:

$$\Delta\alpha_{волок.} = \alpha_{волок.} \cdot k_{стар.} \quad (3.4)$$

Величина $\alpha_{волок.}^{\Sigma}$ с учетом (3.4) определяется из соотношения:

$$\alpha_{волок.}^{\Sigma} = \alpha_{волок.} + \Delta\alpha_{волок.} = \alpha_{волок.} + \alpha_{волок.} \cdot k_{стар.} \quad (3.5)$$

В соответствии с (3.5) выражение (3.2) целесообразно преобразовать к виду:

$$l_{PY}^{затух.} = \frac{\mathcal{E}_{н.ВОЛС} - \alpha_{общ.}}{\alpha_{волок.} + \Delta\alpha_{волок.}} = \frac{\mathcal{E}_{н.ВОЛС} - \alpha_{общ.}}{\alpha_{волок.} + \alpha_{волок.} \cdot k_{стар.}}, \text{ км} \quad (3.6)$$

где $k_{стар.}$ – определяется эмпирическим путем и, как правило, находится в пределах $0,2 \div 0,5$ [38, 45];

$\alpha_{общ.}$ – учитывает потери сигнала, происходящие в волокне, кроме затухания.

Величина затухания в оптическом волокне учитывается в соотношении (3.7) непосредственно при определении максимальной длины регенерационного участка. Значение $\alpha_{общ.}$ определяется соотношением вида:

$$\alpha_{общ.} = n_{p.соед.} \cdot \alpha_{p.соед.} + n_{н.соед.} \cdot \alpha_{н.соед.} + \alpha_t + \alpha_g, \text{ дБ} \quad (3.7)$$

где $n_{p.соед.}$ – количество разъемных соединителей, шт. (определяется согласно заданию проекта);

$\alpha_{p.соед.}$ – потери в разъемных соединениях, [дБ] соединителей (определяется с учетом вида соединения);

$n_{н.соед.}$ – количество неразъемных соединений, [шт.] (определяется согласно заданию проекта);

$\alpha_{н.соед.}$ – потери в неразъемных соединениях, [дБ] (определяется с учетом вида соединения);

α_t – допуск на температурные изменения затухания в оптическом волокне, принимается, что $\alpha_t = 1$, [дБ];

α_g – допуск на изменение характеристик компонентов регенерационного участка в течение эксплуатации, принимается, что $\alpha_g = 3 \div 5$, [дБ].

Для удобства записи можно записать:

$$\alpha_{доп.} = \alpha_t + \alpha_g. \quad (3.8)$$

Таким образом, с учетом (3.8) выражение (3.7) принимает вид

$$\alpha_{общ.} = n_{p.соед.} \cdot \alpha_{p.соед.} + n_{н.соед.} \cdot \alpha_{н.соед.} + \alpha_{доп.}, \text{ дБ}$$

Особенностью соотношения, является то, что для его использования необходимо знать протяженность участка, которую нужно определить заранее из соотношения (3.5). Разрешение подобного парадокса осуществляется следующим образом: известно, что число неразъемных соединений зависит от протяженности участка, в частности $l_{PY}^{затух.}$ [км] и строительной длины кабеля, намотанной на барабан – $l_{стр.длин}$ [км].

Как показал опыт, часто при проектировании ВОЛС обучающиеся исходят из того, что на линию приходится два разъемных соединения и несколько неразъемных, определяемых по соотношению вида:

$$n_{н.соед.i}^{l_{PY}} = n_{стр.длин.i}^{l_{PY}} - 1. \quad (3.9)$$

На практике подобное оказывается неверным. Дело в том, что согласно работе [60] коммутационное оборудование к линии связи подключается через кросс или патч-панель, которые установлены в помещении или на стойке, где размещено оборудование. От патч-панели отходит участок кабеля, который подключается к подсистеме внешних магистралей за пределами здания при помощи сварки. Поэтому при расчете линии целесообразно учитывать, что количество разъемных соединений на участке составит

$$n_{р.соед.i}^{l_{PY}} = 4, \quad (3.10)$$

а количество неразъемных соединений

$$n_{н.соед.i}^{l_{PY}} = n_{стр.длин.i} + 1, \quad (3.11)$$

где $n_{стр.длин.i}$ – количество строительных длин кабеля, затрачиваемых на прокладку линии вдоль заданного участка.

Величина $n_{стр.длин.i}^{l_{PY}}$ определяется из соотношения

$$n_{стр.длин.i}^{l_{PY}} = l_{PY}^{затух.} / l_{стр.длин}. \quad (3.12)$$

В рамках пособия принимается допущение $l_{стр.длин} = const.$

Таким образом, обобщая соотношения (3.5) – (3.12), можно составить уравнение вида

$$l_{PY}^{затух.} = \frac{\mathcal{E}_{п.ВОЛС} - \left(n_{р.соед.} \cdot \alpha_{р.соед.} + \left(\frac{l_{PY}^{затух.}}{l_{стр.длин}} + 1 \right) \cdot \alpha_{н.соед.} + \alpha_{доп.} \right)}{\alpha_{волок.}^{\Sigma}}. \quad (3.13)$$

После преобразований соотношения (3.13), которые читателю предлагается сделать самостоятельно, соотношение для определения $l_{PY}^{затух.}$ принимает вид

$$l_{PY}^{затух.} = \frac{\mathcal{E}_{п.ВОЛС} - n_{р.соед.} \cdot \alpha_{р.соед.} - \alpha_{доп.}}{\frac{\alpha_{н.соед.}}{l_{стр.длин}} + \alpha_{волок.}^{\Sigma}}. \quad (3.14)$$

Кроме затухания на протяженность регенерационного участка влияет величина дисперсии, которая обусловлена свойствами оптического волокна. Протяженность участка регенерации с учетом дисперсии определяется соотношением [РД 45. 047-99]

$$l_{PY}^{дисп.} = \frac{4,4 \cdot 10^5}{\tau_{волок.} \cdot \Delta\lambda \cdot B}, \text{ км} \quad (3.15)$$

где B – ширина полосы сигнала, МГц;

$\tau_{волок.}$ – значение хроматической дисперсии оптического волокна, пс/(нм·км);

$\Delta\lambda_{лазер}$ – ширина полосы оптического излучения источника света, нм.

Значения величин $\alpha_{волок.}$ и $\tau_{волок.}$ определяются из каталогов на кабельную продукцию, поставляемых производителями, а в рамках учебных расчетов можно воспользоваться таблицами 3.5 и 3.6 настоящего пособия. Величину $\Delta\lambda_{лазер}$ находят в каталогах на источники излучения (например SFP модули, поставляемые производителями), а в рамках учебных расчетов можно воспользоваться таблицей 3.23 настоящего пособия. Величина B может быть получена с учетом скорости передачи информации и эффективности кода, т. е. из того, сколько бит

приходится на 1 Гц спектра сигнала. В рамках пособия принимается использование кода NRZ, эффективность которого составляет 2 бита на 1 Гц. Таким образом, при использовании NRZ кода соотношение (3.15) можно преобразовать к виду:

$$l_{PY.NRZ}^{disc.} = \frac{4,4 \cdot 10^5}{\tau_{\text{волок.}} \cdot \Delta\lambda \cdot \frac{v_{\text{пер.}}}{2}} = \frac{8,8 \cdot 10^5}{\tau_{\text{волок.}} \cdot \Delta\lambda \cdot v_{\text{пер.}}}, \text{ км} \quad (3.16)$$

где $v_{\text{пер.}}$ – требуемая скорость передачи информации, Мбит/с.

В завершение производится выполнение операции, описываемое соотношением (3.1):

$$l_{PY} = \min(l_{PY}^{затух.}, l_{PY}^{disc.}).$$

Затем выбираются места установки ретрансляторов и определяется протяженность участков между населенными пунктами. Учитывая, что на соединение и кроссировку требуется определенный запас кабеля, который тоже входит в l_{PY} , расстояние между местами расположения регенераторов, с учетом всех изгибов трассы прокладки кабеля, целесообразно определить из соотношения:

$$l_{\text{уч.}_i} = 0,85 \div 0,9 \cdot l_{PY}, \quad (3.17)$$

где i – номер участка ВОЛС.

В конце расчетов регенерационного участка целесообразно составить таблицу с указанием реальных расстояний между населенными пунктами, в которых планируется расположение регенераторов. Пример приведен в таблице 3.24.

Таблица 3.24 – Пример перечня населенных пунктов для установки ретрансляторов и транспондеров

Наименование населенного пункта установки ретранслятора	Наименование участка ВОЛС	Протяженность участка, км
г. А	г. А – пос. Б1	$l_{\text{уч.}_1}^{ВОЛС}$
пос. Б1	пос. Б1 – пос. Б2	$l_{\text{уч.}_2}^{ВОЛС}$
пос. Б2	пос. Б2 – г. В	$l_{\text{уч.}_3}^{ВОЛС}$
г. В	–	–

В завершении расчета регенерационного участка целесообразно привести диаграмму изменения уровня сигнала в зависимости от расстояния и наличия соединений для каждого из участков прокладываемой оптической линии. Для построения диаграммы изменения уровня сигнала в зависимости от расстояния и наличия соединений можно воспользоваться соотношением

$$L_{затух}(l, n_{p.соед.}, n_{н.соед.}, n_{стр.длин.}) = \mathcal{E}_{п.ВОЛСi} - (n_{p.соед.} \cdot \alpha_{p.соед.} + n_{н.соед.} \cdot \alpha_{н.соед.} + \alpha_t + \alpha_v + n_{стр.длин.} \cdot l_{стр.длин.} \cdot \alpha_{каб.}) - P_{зан.}, \quad (3.18)$$

Значение величины $L_{затух}$ определяется в каждой точке неоднородности, учитываемой в рамках расчетов. К числу неоднородностей относятся места разъемных и неразъемных соединений, места окончания строительных участков кабеля. Неоднородности, которые могут возникать в волокне по причине различных дефектов и неисправностей, в проводимых расчетах не учитываются. В результате будет получена зависимость величины потерь в идеальных условиях.

После нахождения мест расположения ретрансляторов проводится определение общей потребности в кабеле. Протяженность участков прокладки ВОЛС определяется из технического задания на подготовку проекта с учетом топографических данных местности. При выполнении учебного расчета протяженность можно узнать исходя из названий начального, конечного и промежуточных населенных пунктов, где располагаются ретрансляторы. Для определения подобных расстояний можно использовать информацию о протяженности автомобильных или железных дорог между ними. Это связано с тем, что трассу прокладывания кабеля целесообразно выбирать как раз вдоль железной или автомобильной дорог, что упростит задачу доставки людей и техники в процессе строительства и эксплуатации линии. При этом предпочтение следует отдавать автомобильным дорогам, так как до них проще добраться и металлические части кабелей будут меньше подвержены влиянию блуждающих токов, которые возникают в процессе эксплуатации железнодорожного электротранспорта. Сведения о протяженности дороги можно получить из геоинформационных систем или карт. В рамках учебных расчетов можно воспользоваться такими ресурсами, как:

- Яндекс карты, режим доступа по ссылке: <https://yandex.ru/maps;>

- Google карты, режим доступа по ссылке: <https://www.google.ru/maps.>

Либо можно обратиться к аналогичным проектам, доступным в сети Интернет.

В рамках выполнения заданий в пособии характеристики, связанные с запасом кабеля с учетом типа рельефа местности и наличия соединений (муфт), приведены в таблице 3.25. При проведении реальных расчетов запас согласовывается с заказчиком с учетом нормативной документации.

Таблица 3.25 – Нормы запаса оптического кабеля

Параметр	Обозначение	Значение
1	2	3
Укладка кабеля в грунт или асфальт	$k_{\text{грунт}}$	1,02
Укладка кабеля в канализацию	$k_{\text{каб.канал.}}$	1,057
Прокладка кабеля по столбам	$k_{\text{опора}}$	1,04
Прокладка кабеля через препятствия	$k_{\text{преп.}}$	$1,05 \div 1,3^1$
Расход кабеля на муфту, м	$L_{\text{муфт}}$	30
Строительная длина кабеля, км Определяется исходя из параметров кабеля, как правило, это длина кабеля, намотанного на барабан	$L_{\text{стр.длин.}}$	1÷6

Количество участков строительной длины оптического кабеля определяется из соотношения, аналогичного (3.12):

$$n_{\text{стр.длин}} = l_{\text{уч.}_i} / l_{\text{стр.длин}} \quad (3.19)$$

При выполнении ограничения (3.17) $l_{\text{уч.}_i} = 0,85 \div 0,9 \cdot l_{\text{пу}}$.

Количество соединений на прокладываемой трассе определяется по соотношению (3.11):

$$n_{\text{н.соед.}_i}^{l_{\text{пу}}} = n_{\text{стр.длин}_i} + 1,$$

¹ Согласовывается с преподавателем в зависимости от вида препятствия.

при условии, что коммутационное оборудование подключается через патч-панель и число разъемных соединений равно четырем. Если оборудование подключается непосредственно к трассе (что крайне нежелательно), то используется соотношение (3.9):

$$n_{н.соед.i}^{l_{py}} = n_{стр.длины} - 1.$$

Тогда общая потребность в оптическом кабеле для каждого участка i составит:

$$l_{уч._i}^{каб.} = l_{грунт_i} \cdot k_{грунт} + l_{каб.канал_i} \cdot k_{каб.канал.} + L_{опора_i} \cdot k_{опора} + L_{преп._i} \cdot k_{преп.} + n_{соед._i} \cdot L_{муфт}, \quad (3.20)$$

где $l_{грунт}$ – совокупная протяженность участков, на котором планируется укладка кабеля в грунт;

$l_{каб.канал.}$ – совокупная протяженность участков, на которых планируется укладка кабеля в кабельную канализацию;

$l_{опора}$ – совокупная протяженность участков, на которых планируется подвес кабеля на столбы;

$l_{преп.}$ – совокупная протяженность участков, на которых планируется прохождение препятствий (в рамках работы предполагается, что определяется суммарная протяженность всех препятствий, которые нужно пройти горизонтально-направленным бурением, проколом или уложить в дно реки); следует иметь ввиду, что если в рамках проекта не планируется прокладка кабеля одним из перечисленных способов, то значение $l_{преп.}$ равно нулю.

Общая потребность в барабанах кабеля для участка с учетом (3.20) определяется из выражения

$$N_{бараб.i} = l_{уч._i}^{каб.} / n_{стр.длины}. \quad (3.21)$$

При этом принимается допущение, что длина кабелей, намотанных на барабан, которые используются в проекте, одинакова и не зависит от их типа. В противном случае, требуется проведение уточняющих расчетов с определением общей потребности в каждом из типов кабелей. Результат вычисления по соотношению (3.21) необходимо округлить в сторону ближайшего целого

большого числа. Общая потребность в барабанах с кабелем определяется как сумма барабанов для каждого из участков:

$$N_{\text{бараб.}}^{ВОЛС} = \sum_{i=1}^{\eta} N_{\text{бараб.}i}, \quad (3.22)$$

где η – количество участков прокладываемой волоконно-оптической линии.

Потребность в муфтах, в общем случае, равна количеству стыков оптического кабеля и определяется по соотношениям, аналогичным (3.11) или (3.12), в зависимости от принятых допущений в рамках расчетов. Для случая без использования патч-панелей:

$$n_{\text{муфт}i} = n_{\text{стр.длин}i} - 1, \quad (3.23)$$

для случая, когда патч-панели используются:

$$n_{\text{муфт}i} = n_{\text{стр.длин}i} + 1, \quad (3.24)$$

где $n_{\text{стр.длин.}}$ – количество строительных длин кабеля, затрачиваемых на прокладку линии вдоль заданного участка i .

Расчет характеристик надежности волоконно-оптического тракта

В пособии рассматриваются следующие виды характеристик надежности оптического тракта передачи информации:

- вероятность ошибки, которая может возникнуть на протяжении участка регенерации – $P_{\text{ош.}}^{\text{уч.}}$;
- вероятность безотказной работы – $P_{\text{без.отказ.}}^{\text{ВОЛС}}$;
- коэффициент готовности системы – $K_{\text{ГОТ}}^{\text{ВОЛС}}$.

Вероятность ошибки, которая может возникнуть на протяжении участка регенерации, определяется при помощи соотношения:

$$P_{\text{ош}} = P_{\text{норм.}} \cdot l_{\text{PY}}, \quad (3.25)$$

где $P_{\text{норм.}}$ – вероятность возникновения ошибки на 1 км оптической линии.

В зависимости от типа линии $P_{\text{норм.}}$ имеет различные значения:

- для магистральных (межрегиональных) сетей $P_{\text{норм.}}^{\text{маг.}} = 10^{-11}$;
- для зонавых (региональных) сетей $P_{\text{норм.}}^{\text{зон.}} = 1,67 \cdot 10^{-10}$;
- для местных (внутри населенного пункта) $P_{\text{норм.}}^{\text{местн.}} = 10^{-9}$.

Вероятность безотказной работы оптического тракта зависит от интенсивности отказов каждого из элементов, входящих в систему передачи, и определяется выражением вида:

$$P_{\text{ВОЛС}} = e^{-\Lambda_{\text{ВОЛС}} \cdot t}, \quad (3.26)$$

где t – время работы оптического тракта, час;

$\Lambda_{\text{ВОЛС}}$ – интенсивность отказов системы в целом, час⁻¹.

Величина $\Lambda_{\text{ВОЛС}}$ может быть найдена из соотношения вида:

$$\Lambda_{\text{ВОЛС}} = \sum_{i=1}^n \lambda_i^{\text{ВОЛС}}, \quad (3.27)$$

где $\lambda_i^{\text{ВОЛС}}$ – интенсивность отказа некоторого i -го элемента, входящего в состав системы, [час⁻¹], определяется исходя из паспортных данных определенного элемента либо при помощи обработки статистической информации, накопленной в процессе эксплуатации большого количества аналогичных элементов.

Упрощенно величину интенсивности отказов участка оптической линии можно определить как сумму интенсивностей отказов обслуживаемых (ОРП), необслуживаемых пунктов (НРП) и непосредственно кабеля из соотношения:

$$\Lambda_{\text{ВОЛС}} = \lambda_{\text{НРП}} \cdot n_{\text{НРП}} + \lambda_{\text{ОРП}} \cdot n_{\text{ОРП}} + \lambda_{\text{каб.}} \cdot L_{\text{каб.}}, \quad (3.28)$$

где $\lambda_{\text{НРП}}$ и $\lambda_{\text{ОРП}}$ – интенсивности отказов обслуживаемых и необслуживаемых регенерационных пунктов, час⁻¹;

$n_{\text{НРП}}$ и $n_{\text{ОРП}}$ – количество обслуживаемых и необслуживаемых регенерационных пунктов, шт.;

$\lambda_{\text{каб.}}$ – интенсивность отказов километра кабеля, час⁻¹;

$L_{\text{каб.}}$ – общая протяженность в тракте.

В рамках пособия принимается, что средняя интенсивность отказов 1 км оптического кабеля равна $\lambda_{\text{каб.}} = 3,88 \cdot 10^{-7}$ [час⁻¹], при наработке на отказ оборудования ВОЛС за 10 лет (87 600 часов). Интенсивность отказов необслуживаемых и обслуживаемых пунктов регенерации сигнала в рамках учебных расчетов считается одинаковой и равной: $\lambda_{\text{НРП}} = \lambda_{\text{ОРП}} = 3,33 \cdot 10^{-6}$ [час⁻¹]. Величина $3,33 \cdot 10^{-6}$ [час⁻¹] получена из предположения, что время наработки на отказ магистрального каналобразующего оборудования, используемого для реализации оптического тракта, составляет 300 000 часов. Значение 300 000 часов – это время наработки на отказ (MTBF, англ. Mean time between failures) коммутаторов уровня 2 и уровня 3, в состав которых включены SFP интерфейсы. Целесообразно в расчетах надежности использовать параметр MTBF из характеристик выбранного оборудования.

Кроме вероятности безотказной работы, интенсивность отказов может быть использована для определения времени безотказной работы, [час]:

$$t_{\text{сред.}}^{\text{ВОЛС}} = 1 / \Lambda_{\text{ВОЛС}}. \quad (3.29)$$

Время безотказной работы в свою очередь может быть использовано для нахождения коэффициента готовности линии $K_{\text{гот.}}^{\text{ВОЛС}}$. Коэффициент готовности линии показывает вероятность того, что тракт будет работоспособен в любой момент времени:

$$K_{\text{гот.}}^{\text{ВОЛС}} = \frac{t_{\text{сред.}}^{\text{ВОЛС}}}{t_{\text{сред.}}^{\text{ВОЛС}} + t_{\text{вост.}}^{\text{ВОЛС}}}, \quad (3.30)$$

где $t_{\text{вост.}}^{\text{ВОЛС}}$ – среднее время восстановления элементов волоконно-оптической линии, [час]. Значение $t_{\text{вост.}}^{\text{ВОЛС}}$ определяется нормативными документами, установленными на предприятии с учетом соглашений о качестве обслуживания, или иных нормативных документов. Среднее время восстановления $t_{\text{вост.}}^{\text{ВОЛС}}$ линии связи определяется при помощи соотношения

$$t_{\text{вост.}}^{\text{ВОЛС}} = (\lambda_{\text{НРП}} \cdot n_{\text{НРП}} \cdot t_{\text{вост.}}^{\text{НРП}} + \lambda_{\text{ОРП}} \cdot n_{\text{ОРП}} \cdot t_{\text{вост.}}^{\text{ОРП}} + \lambda_{\text{каб.}} \cdot L_{\text{каб.}} \cdot t_{\text{вост.}}^{\text{каб.}}) \div \Lambda_{\text{ВОЛС}}, \quad (3.31)$$

где $t_{восст.}^{НПП}$, $t_{восст.}^{ОРП}$, $t_{восст.}^{каб.}$ – время восстановления соответственно обслуживаемых и необслуживаемых регенерационных пунктов и кабеля. Величины данных параметров определяются нормативными документами, установленными на предприятии с учетом соглашений о качестве обслуживания или иных нормативных документов.

В соответствии с РД 45. 047-99 для проведения учебных расчетов предлагается исходить из значений времени восстановления, приведенного в таблице 3.26.

Таблица 3.26 – Среднее время восстановления различных элементов оптического тракта

Параметр	Обозначение	Значение
Время восстановления необслуживаемого регенерационного пункта, час.	$t_{восст.}^{НПП}$	2,5
Время восстановления обслуживаемого регенерационного пункта, час.	$t_{восст.}^{ОРП}$	0,5
Время восстановления кабеля, час.	$t_{восст.}^{каб.}$	10

Далее приводится пример расчета оптического тракта на участке от г. Харабали до г. Ахтубинск Астраханской области.

3.10 Пример упрощенного расчета волоконно-оптической линии связи

В качестве примера рассматривается расчет оптической линии на участке г. Харабали – г. Ахтубинск, Астраханской области. Карта прокладки кабеля, полученная с использованием ресурса <https://yandex.ru/maps>, приведена на рисунке 3.29.

Общая скорость передачи на момент запуска должна составить 40 Гбит/с. При определении потребности в оптическом кабеле должен учитываться запас на особенности рельефа местности при прокладке кабеля в грунт и кабельную канализацию, расход кабеля на соединения в муфтах и при прохождении препятствий. Нормы расхода оптического кабеля берутся из таблицы 3.25. Учитывая, что он будет проходить как через городские участки, так и через загородную зону, принимается допущение, что в населенных пунктах кабель укладывается в кабельную канализацию, а за городом закапывается в грунт. В реальных усло-

виях способы прокладки кабеля определяются с учетом конкретных условий места прокладки. Параметры используемых марок кабеля приведены в таблице 3.26, параметры приемопередающих SFP модулей – в таблице 3.28.

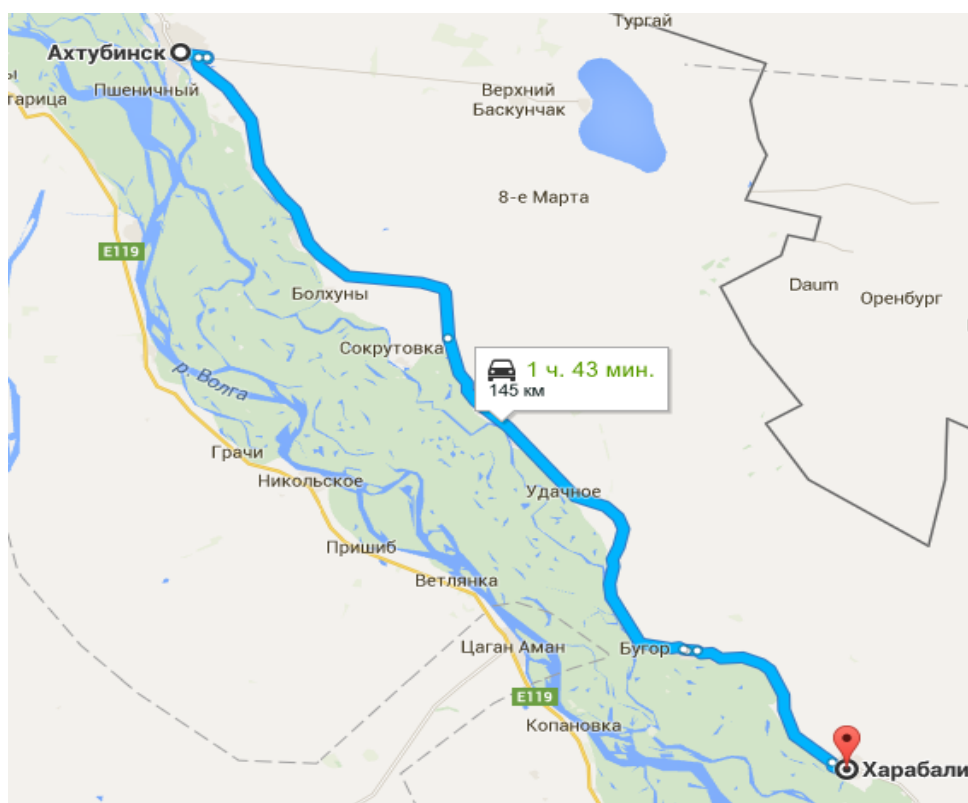


Рисунок 3.29 – Карта проектируемого участка оптической линии на участке г. Харабали – г. Ахтубинск, Астраханская обл.

Таблица 3.27 – Перечень основных характеристик кабеля, используемого на участке г. Харабали – г. Астрахань

Наименование параметра	ОКЛК-01-40-10/125-7,0	ОКЛСт-Н-01-48-10/125-2,7
1	2	3
Тип укладки	в грунт	в кабельную канализацию
Количество волокон	до 40	до 48
Диаметр, мм	11,9	11
Вес, кг/км	205	145
Растягивающее усилие, кН	7	2,7
Раздавливающее усилие, кН/ см	0,5	0,4
Радиус изгиба, мм	230	220
Монтаж. экспл.	172	165

Окончание таблицы 3.27

1	2	3
Строительная длина, км	6 км	3 км
Затухание, дБ/км		0,36
на длине волны 1310 нм		0,22
на длине волны 1550 нм		
Дисперсия, пс/(нм·км)		3,5
на длине волны 1310 нм		18
на длине волны 1550 нм		

Протяженность участков определяется по карте, показанной на рисунке 3.29 или непосредственно на ресурсе <https://yandex.ru/maps>. При этом необходимо учитывать максимальную протяженность участка регенерации l_{PY} . С учетом соотношения (3.1) величина l_{PY} определяется при помощи значения величины $l_{PY}^{затух.}$ – протяженности регенерационного участка по "затуханию" (3.2), с величиной $l_{PY}^{дисп.}$ – протяженностью регенерационного участка "по дисперсии" (3.15).

Таблица 3.28– Основные параметры SFP и SFP+ модулей

Наименование параметра	SFP+ 10GBASE-ZR(23dB)	SFP+10GBASE-ZR(26dB)
1	2	3
Дальность действия, заявленная производителем, км	до 80	до 100
Выходная мощность, dBm	min 0 max 5	min 1,5 max 5
Чувствительность приемника, dBm	-23	-24,5
Скорость передачи, Гбит/с	до 10	
Тип интерфейса	LC	
Количество подключаемых волокон	2	
Длина волны, нм	1550	
Тип излучателя	EML-лазер	
Ширина полосы оптического излучения, нм	0,02÷0,08	

Для определения $l_{PY}^{затух.}$ требуется знать такие характеристики, как мощность оптического передатчика $P_{Опт. Пер}$, чувствительность

приемника $P_{\text{Опт.Пр.}}$, потери в разъемных $\alpha_{p.\text{соед.}}$ и не разъемных соединениях, потери в кабеле из расчета на 1 км, а также количество разъемных $n_{n.\text{соед.}}$ и неразъемных $n_{p.\text{соед.}}$ соединений на заданном участке регенерации. С учетом обобщения соотношений (3.2)–(3.13) окончательно протяженность участка регенерации по затуханию определяется из соотношения (3.14):

$$l_{\text{РУ}}^{\text{затух.}} = \frac{\mathcal{E}_{n.\text{ВОЛС}} - n_{p.\text{соед.}} \cdot \alpha_{p.\text{соед.}} - \alpha_{\text{доп.}}}{\alpha_{n.\text{соед.}} / l_{\text{стр.длин}} + \alpha_{\text{волок.}}^{\Sigma}} =$$

$$= \frac{P_{\text{Опт.Пер}} - P_{\text{Опт.Пр.}} - n_{p.\text{соед.}} \cdot \alpha_{p.\text{соед.}} - \alpha_{\text{доп.}}}{\alpha_{n.\text{соед.}} / l_{\text{стр.длин}} + \alpha_{\text{волок.}}^{\Sigma}}. \quad (3.32)$$

Величины значений параметров, входящих в соотношение (3.32), определяются из параметров кабеля и приемопередающих модулей, которые приводятся в таблице 3.26. В соответствии с соотношением (3.32) применяется допущение, что на всем протяжении участка используется кабель для укладки в грунт. Совместное применение двух видов кабеля несколько ухудшит протяженность участка регенерации, но этим можно пренебречь. С учетом таблицы 3.27 для модулей "SFP+ 10GBASE-ZR (23dB)" и "SFP + 10GBASE-ZR, (26dB)" энергетический потенциал будет равен:

$$\mathcal{E}_{n.\text{ВОЛС.23dB}} = P_{\text{Опт.Пер}} - P_{\text{Опт.Пр.}} = 5 - (-23) = 28, \text{ дБм},$$

$$\mathcal{E}_{n.\text{ВОЛС.26dB}} = P_{\text{Опт.Пер}} - P_{\text{Опт.Пр.}} = 5 - (-24,5) = 29,5, \text{ дБм}.$$

Количество разъемных соединений принимается с учетом того, что подключение оптического волокна кабеля к оборудованию производится через патч-панель, т. е. $n_{p.\text{соед.}} = 4$, дополнительные затухания $\alpha_{\text{доп.}}$ в соответствии с (3.8), и то, что $\alpha_t = 1$ [дБ], $\alpha_g = 4$ [дБ] определяется выражением:

$$\alpha_{\text{доп.}} = \alpha_t + \alpha_g = 1 + 4 = 5.$$

Потери в волокне с учетом старения определяются согласно (3.5); величины погонного затухания в волокне, указанного

в таблице 3.26 для длины волны 1550 нм $\alpha_{\text{волок.}}^{1550} = 0,22$ дБ/км, и коэффициента старения $k_{\text{стар}} = 0,47$, составят:

$$\alpha_{\text{волок.}}^{\Sigma.1550} = \alpha_{\text{волок.}}^{1550} + \alpha_{\text{волок.}}^{1550} \cdot k_{\text{стар}} = 0,22 + 0,22 \cdot 0,47 = 0,323 \text{ дБ/км}$$

При проведении реальных расчетов величину $k_{\text{стар}}$ следует согласовать со специалистами, занятыми вопросами эксплуатации транспортной сети в компании-операторе связи, где вы проходите практику или работаете. Таким образом, максимальная протяженность регенерационного участка с учетом энергетических характеристик оборудования, потерь в кабеле (оптическом волокне) при использовании длины волны 1550 нм составит:

$$l_{\text{ПУ. SFP. 26dB}}^{\text{затух.1550}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{н. ВОЛС. 26dB}} - n_{\text{р. соедин.}} \cdot \alpha_{\text{р. соедин.}} - \alpha_{\text{доп.}}}{(\alpha_{\text{н. соедин.}} / l_{\text{стр. длин}}) + \alpha_{\text{волок.}}^{\Sigma}} =$$

$$= (29,5 - 4 \cdot 0,4 - 6) / [(0,1 / 6) + 0,323] = 64,39,$$

$$l_{\text{ПУ. SFP. 23dB}}^{\text{затух.1550}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{н. ВОЛС. 23dB}} - n_{\text{р. соедин.}} \cdot \alpha_{\text{р. соедин.}} - \alpha_{\text{доп.}}}{(\alpha_{\text{н. соедин.}} / l_{\text{стр. длин}}) + \alpha_{\text{волок.}}^{\Sigma}} =$$

$$= (28 - 4 \cdot 0,4 - 6) / [(0,1 / 6) + 0,323] = 59,98.$$

После определения регенерационного участка по затуханию производится нахождение протяженности регенерационного участка по дисперсии, с учетом данных таблиц 3.27, 3.28, выражения (3.16), при использовании кода NRZ соотношение имеет вид

$$l_{\text{ПУ. NRZ}}^{\text{дисп.}} = \frac{8,8 \cdot 10^5}{\tau_{\text{волок.}} \cdot \Delta\lambda \cdot \nu_{\text{пер.}}} = \frac{8,8 \cdot 10^5}{18 \cdot 0,04 \cdot 10\,000} = 122 \text{ км.}$$

Применив соотношение (3.1), учитывая результаты проведенных расчетов для определения протяженности регенерационного участка по затуханию и по дисперсии, получим:

$$l_{\text{ПУ. SFP. 26dB}} = \min(64,39; 122) = 64,39 \text{ км,}$$

$$l_{\text{ПУ. SFP. 23dB}} = \min(59,98; 122) = 59,98 \text{ км.}$$

Учитывая, что в процессе прокладки кабеля требуются запасы на особенности рельефа, запасы волокна на соединение в муфтах, согласно соотношению (3.17) реальное максимальное расстояние между регенерационными пунктами целесообразно определить следующим образом:

$$l_{\text{уч.}_SFP.26dB} = 0,9 \cdot l_{PY.SFP.26dB} = 0,9 \cdot 64,39 \approx 58 \text{ км},$$

$$l_{\text{уч.}_SFP.23dB} = 0,9 \cdot l_{PY.SFP.26dB} = 0,9 \cdot 59,98 \approx 54 \text{ км}.$$

Общее количество регенераторов можно определить либо с использованием карты с учетом определения протяженности реальной трассы, либо упрощенно, с использованием информации об общей протяженности оптического тракта, в соответствии с соотношением (3.9):

$$n_{\text{регр.}_SFP.26dB} = \frac{L_{\text{общ. ВОЛС.}}}{l_{\text{уч.}_SFP.26dB}} - 1 = \frac{151}{58} - 1 = 1,6 \approx 2 \text{ шт.},$$

$$n_{\text{регр.}_SFP.23dB} = \frac{L_{\text{общ. каб.}}}{l_{\text{уч.}_SFP.23dB}} - 1 = \frac{151}{54} - 1 = 1,8 \approx 2 \text{ шт.}$$

Далее производится подбор населенных пунктов, расстояния между которыми не превосходят протяженности участка регенерации, определенного при помощи соотношения (3.17). Учитывая полученные результаты проведенных расчетов и анализа участка г. Харабали – г. Ахтубинск средствами сервиса <https://yandex.ru/maps>, получаем наименования населенных пунктов, в которых есть возможность установки монтажа оборудования. Перечень населенных пунктов с указанием расстояний между ними приведен в таблице 3.29. При проведении реальных расчетов потребуется привести реальное обоснование возможности установки оборудования у определенного оператора, то есть показать, что есть специальное помещение, в котором предусмотрено место для монтажа оборудования, и имеется возможность его энергообеспечения с учетом установленных нормативов для обеспечения энергоснабжения предприятий связи.

Таблица 3.29 – Перечень населенных пунктов для установки ретрансляторов и транспондеров

Наименование населенного пункта установки ретранслятора	Наименование участка ВОЛС	Протяженность участка, км
г. Харабали	г. Харабали – пос. Верблюжий	58
пос. Верблюжий	пос. Верблюжий – пос. Болхуны	55
пос. Болхуны	пос. Болхуны – г. Ахтубинск	46
г. Ахтубинск	–	–

Сравнивая результаты расчетов с таблицей 3.29, информацию по SFP модулям в таблице 3.28, а также руководствуясь экономическими соображениями относительно того, что стоимость модуля SFP+ 10GBASE-ZR, (26dB) превосходит стоимость SFP+ 10GBASE-ZR (23dB), целесообразно использовать на различных участках сети различные модули. В таблице 3.30 приведен расчет потребности в интерфейсах, исходя из необходимости обеспечения канала для передачи информации на скоростях до 40 Гбит/с.

Таблица 3.30 – Перечень населенных пунктов для установки ретрансляторов и транспондеров

Наименование участка ВОЛС	Тип используемого SFP модуля	Кол-во пар модулей	Кол-во модулей	Кол-во требуемых волокон в кабеле
1	2	3	4	5
г. Харабали – пос. Верблюжий	SFP+ 10GBASE-ZR, (26dB)	4	8	8
пос. Верблюжий – пос. Болхуны	SFP+ 10GBASE-ZR, (26dB)	4	8	8
пос. Болхуны – г. Ахтубинск	SFP+ 10GBASE-ZR (23dB)	4	8	8
Итого модулей:			24	

Учитывая, что протяженность участков ВОЛС в таблице 3.29 превышает строительную длину кабеля, для сращивания строительных длин используются муфты. Количество муфт для каждого из участков определяется при помощи соотношения (3.24), так как принято допущение, что подключение

к оборудованию производится не непосредственно, а через патч-панель. Кроме этого, результат расчета по (3.24) округляется в сторону большего целого числа:

$$n_{\text{муфта } X.B.} = n_{\text{стр. длин } X.B.} + 1 = (l_{\text{уч. } X.B.} / l_{\text{стр. длин}}) + 1 = (58 / 6) + 1 = 11 \text{ шт.},$$

$$n_{\text{муфта } B.B.} = n_{\text{стр. длин } B.B.} + 1 = (l_{\text{уч. } B.B.} / l_{\text{стр. длин}}) + 1 = (55 / 6) + 1 = 11 \text{ шт.},$$

$$n_{\text{муфта } B.A.} = n_{\text{стр. длин } B.A.} + 1 = (l_{\text{уч. } B.A.} / l_{\text{стр. длин}}) + 1 = (46 / 6) + 1 = 9 \text{ шт.}$$

Окончательно результат расчета потребности в муфтах представлен в таблице 3.31. С каталогом муфт МТОК можно ознакомиться на сайте поставщика <https://skomplekt.com/tovar/6/8/3/#products-block-start>.

Таблица 3.31 – Перечень населенных пунктов для установки ретрансляторов и транспондеров

Наименование участка ВОЛС	Тип муфты	Кол-во муфт
г. Харабали – пос. Верблюжий	МТОК А1	11
пос. Верблюжий – пос. Болхуны		11
пос. Болхуны – г. Ахтубинск		9
Итого муфт:		32* *(3 в кабельную канализацию, 29 в грунт)

Как видно из таблицы 3.29, наиболее протяженным является участок "г. Харабали – пос. Верблюжий". Для него производится построение диаграммы распределения уровня сигнала с учетом энергетических характеристик приемо-передающего оборудования и факторов ослабления. Основой для построения диаграммы служит соотношение, которое в соответствии с результатами расчетов можно представить в виде

$$L_{\text{затух. } X.B.} (n_{p.\text{соед. } X.B.}, n_{n.\text{соед. } X.B.}, n_{\text{стр. длин } X.B.}) = \\ = \mathcal{E}_{n.\text{ВОЛС}i} - (n_{p.\text{соед. } X.B.} \cdot \alpha_{p.\text{соед.}} + n_{n.\text{соед. } X.B.} \cdot \alpha_{n.\text{соед.}} + \\ + \alpha_t + \alpha_v + n_{\text{стр. длин } X.B.} \cdot l_{\text{стр. длин } X.B.} \cdot \alpha_{\text{каб.}}) - P_{\text{зан.}}$$

где $P_{\text{зан.}} = 5$ дБ – дополнительный запас на затухания в линии, величины $n_{p.\text{соед. } X.B.} \in [1, 4]$;

$n_{н.соед. X.B.} = [1,11]$, $n_{стр.длин. X.B.} = [1,10]$ изменяются с шагом 1.

График для участка г. Харабали – пос. Верблюжий показан на рисунке 3.30. В процессе выполнения учебных расчетов диаграмма приводится для каждого из участков проектируемого волоконно-оптического тракта.

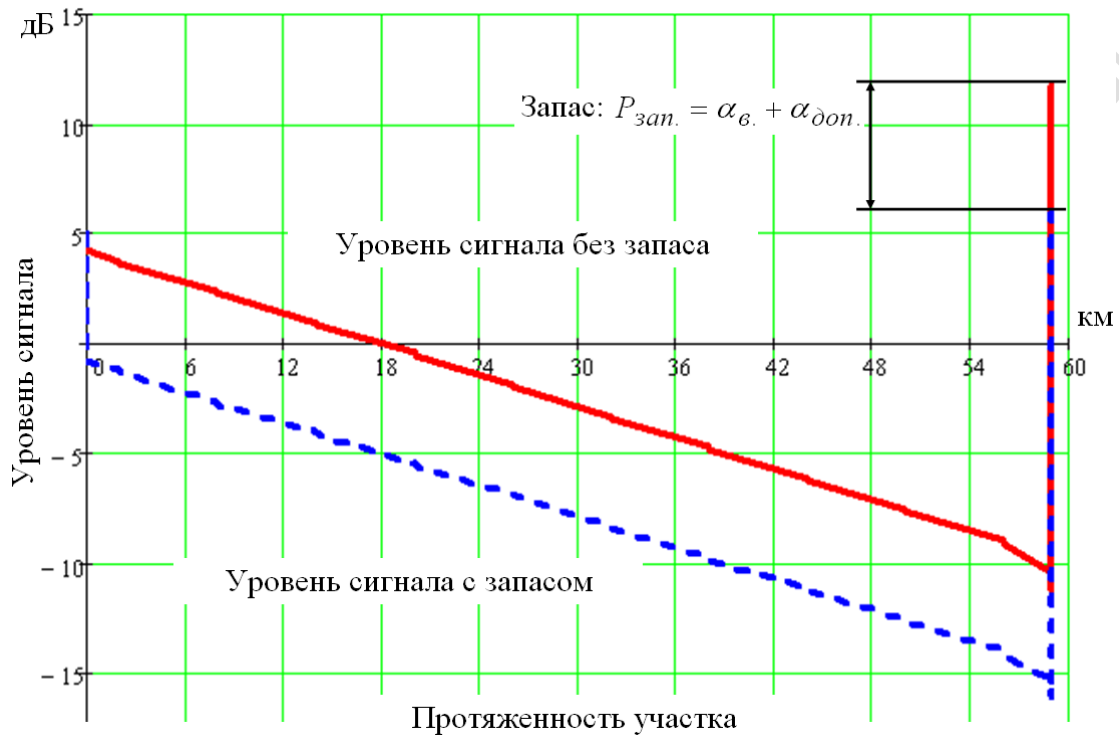


Рисунок 3.30 – Диаграмма распределения уровня сигнала на участке "г. Харабали – пос. Верблюжий"

Следующим шагом проведения расчетов является определение общей потребности в кабеле с учетом запасов на муфты и особенности рельефа. Анализ участка прокладки всего тракта показал, что на нем отсутствуют крупные водные преграды, имеется один переход через железную дорогу, который можно пройти либо с помощью горизонтально-направленного бурения, либо используя прокол. Технология проведения горизонтально-направленного бурения описана несколько ранее. Как указано в таблице 3.28, проектируемый тракт состоит из трех участков:

- г. Харабали – пос. Верблюжий, протяженность 58 км;
- пос. Верблюжий – пос. Болхуны, протяженность 55 км;
- пос. Болхуны – г. Ахтубинск, протяженность 46 км.

При этом на участках г. Харабали – пос. Верблюжий и пос. Болхуны – г. Ахтубинск можно выделить два подучастка по признаку способа укладки кабеля: в грунт и кабельную канализацию. Укладка в кабельную канализацию осуществляется в г. Харабали, с протяжённостью участка 2 км, и в г. Ахтубинске, с протяжённостью участка 5 км.

Общая потребность в кабеле определяется из соотношений:

$$\begin{aligned}
 L_{\text{каб. кан.}} &= \sum_{i=1}^q L_{\text{каб. кан. } q} = L_{\text{каб. кан.}}^{\text{Ахтуб.}} + L_{\text{каб. кан.}}^{\text{Хараб.}} = \\
 &= (L_{\text{уч.}}^{\text{Ахтуб.}} + L_{\text{уч.}}^{\text{Хараб.}}) \cdot k_{\text{каб. канал.}} + n_{\text{кан. муфт.}} \cdot L_{\text{кан. муфт.}} = \\
 &= (5 + 2) \cdot 1,05 + 3 \cdot 0,03 = 7,5 \text{ км};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{\text{каб. грунт}} &= \sum_{i=1}^g L_{\text{каб. грунт. } g} = L_{\text{каб. грунт.}}^{\text{Хараб.-Верб.}} + L_{\text{каб. грунт.}}^{\text{Верб.-Болх.}} + L_{\text{каб. грунт.}}^{\text{Болх.-Ахтуб.}} = \\
 &= (L_{\text{уч.}}^{\text{Хараб.-Верб.}} + L_{\text{уч.}}^{\text{Верб.-Болх.}} + L_{\text{уч.}}^{\text{Болх.-Ахтуб.}}) \cdot k_{\text{грунт}} + \\
 &+ n_{\text{грунт. муфт.}} \cdot L_{\text{грунт. муфт.}} = (58 + 55 + 46) \cdot 1,02 + 29 \cdot 0,03 = 163,05 \text{ км.}
 \end{aligned}$$

Общая потребность в барабанах кабеля определяется с учетом потребности в самом кабеле и величины строительной длины (длины кабеля, намотанного на барабан):

$$n_{\text{бараб. каб. канал}} = \frac{L_{\text{каб. кан.}}}{L_{\text{стр. длин. кан.}}} = \frac{7,5}{3} = 2,5 \approx 3 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{бараб. грунт}} = \frac{L_{\text{каб. грунт}}}{L_{\text{стр. длин. грунт}}} = \frac{163,05}{6} = 27,2 \approx 28 \text{ шт.}$$

Таким образом, требуется:

- 28 барабанов кабеля ОКЛК-01-40 -10/125-7,0 по 6 км в каждом;
- 3 барабана кабеля ОКЛСТ-Н-01-48 -10/125-2,7 по 3 км в каждом.

В качестве дополнительного задания предлагается аналогичное решение задачи при условии, что для прокладки в кана-

лизации и грунте используются кабели с различными коэффициентами затухания.

Завершающим этапом расчетов является определение характеристик надежности проектируемого оптического тракта. В рамках пособия читателю предлагается для определения характеристик надежности рассчитать следующие параметры:

- вероятность ошибки, которая может возникнуть на протяжении участка регенерации – $P_{ош.}^{уч.}$;
- вероятность безотказной работы – $P_{без.отказ.}^{ВОЛС}$;
- коэффициент готовности системы – $K_{ГОТ}^{ВОЛС}$.

Величина $P_{ош.}^{уч.}$ определяется для каждого участка регенерации, для приведенного примера рассматривается определение параметра для наиболее протяженного: г. Харабали – пос. Верблюжий, протяженностью 58 км. При помощи соотношения (3.25) и значений нормированных вероятностей возникновения ошибки для сетей различных классов величина $P_{ош.}^{уч.Хараб.-Верб.}$ имеет вид

$$P_{ош.}^{уч.Хараб.-Верб.} = P_{норм.}^{маг.} \cdot I_{ПУ}^{уч.Хараб.-Верб.} = 10^{-11} \cdot 58 = 5,8 \cdot 10^{-10} = 5,8 \cdot 10^{-8} \%.$$

Для уточнения вероятности безотказной работы необходимо определить интенсивность отказов всей линии – $\Lambda_{ВОЛС}$. Величина $\Lambda_{ВОЛС}$ определяется с учетом протяженности кабеля, количества обслуживаемых и необслуживаемых регенерационных пунктов. Как показали расчеты, на рассматриваемом участке имеются только обслуживаемые регенераторы в г. Харабали, пос. Верблюжий, пос. Болхуны и г. Ахтубинске. Протяженность кабеля будет складываться из общей протяженности кабеля, укладываемого в канализацию и грунт. С учетом (3.28) интенсивность отказов для проектируемого участка определится из соотношения

$$\begin{aligned} \Lambda_{ВОЛС}^{Хараб.-Ахтуб.} &= \lambda_{ОРП} \cdot n_{ОРП}^{Хараб.-Ахтуб.} + \lambda_{каб.} \cdot L_{каб.}^{Хараб.-Ахтуб.} = \\ &= \lambda_{ОРП} \cdot n_{ОРП}^{Хараб.-Ахтуб.} + \lambda_{каб.} \cdot (L_{каб.кан.}^{Хараб.-Ахтуб.} + L_{каб.грунт}^{Хараб.-Ахтуб.}) = \\ &= 3,33 \cdot 10^{-6} \cdot 4 + 3,88 \cdot 10^{-7} \cdot (7,5 + 163,05) = 7,951 \cdot 10^{-5} \text{ час}^{-1}. \end{aligned}$$

Вероятность отказа в зависимости от времени наработки будет определяться из соотношения (3.26):

$$\% P_{ВОЛС}^{Хараб.-Ахтуб.} = 100 \cdot e^{-\Lambda_{ВОЛС}^{Хараб.-Ахтуб.} \cdot t}$$

На рисунке 3.31 приведен график зависимости вероятности безотказной работы от времени наработки.

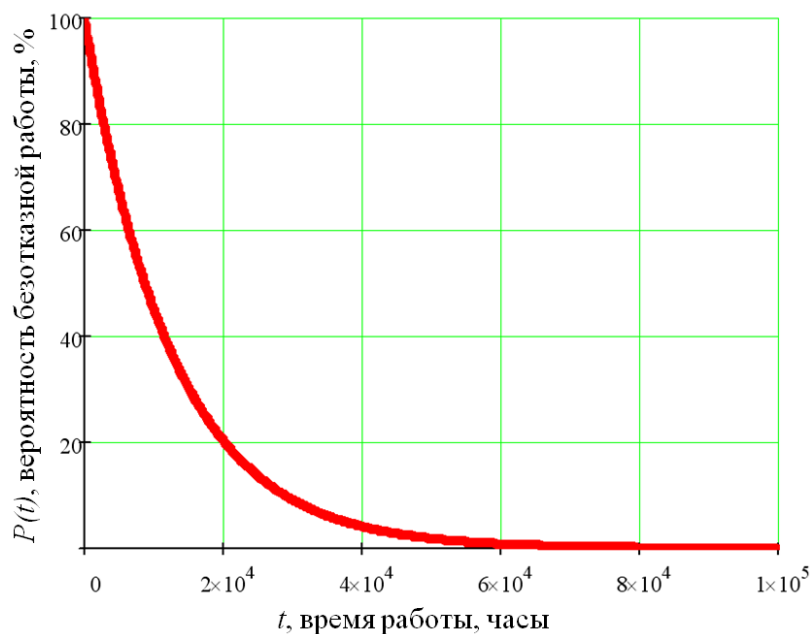


Рисунок 3.31 – График вероятности отказа в зависимости от времени

Для упрощения восприятия зависимости вероятности отказа оптического тракта от времени построена таблица 3.32, в которой приведены значения вероятностей отказа в течение 1 суток (24 часа), 1 недели (168 часов), 1 месяца (720 часов), 1 года (8 760 часов) и 10 лет (87 600 часов).

Таблица 3.32 – Результаты расчета вероятности безотказной работы тракта в течение заданного интервала времени

Наименование интервала	Интервал в часах	Вероятность безотказной работы тракта
Сутки	24	0,998
Неделя	168	0,987
Месяц	720	0,944
Год	8 760	0,498
10 лет	87 600	0,000 944 7

Среднее время безотказной работы проектируемого тракта, с учетом соотношения (3.29) равно (час):

$$t_{CP}^{Хараб.-Ахтуб.} = 1 / \Lambda_{ВОЛС}^{Хараб.-Ахтуб.} = 1 / (7,951 \cdot 10^{-5}) = 1,258 \cdot 10^4,$$

С использованием значения времени безотказной работы $t_{CP}^{Хараб.-Ахтуб.}$ определяется коэффициент готовности тракта, $K_{гот.}^{Хараб.-Ахтуб.}$, который кроме этого зависит от среднего времени восстановления элементов волоконно-оптической линии – $t_{вост. ср.}^{ВОЛС}$. С учетом (3.31) и того, что имеются только обслуживаемые регенерационные пункты, величина оптического тракта г. Харабали – г. Ахтубинск – $t_{вост. ср.}^{Хараб.-Ахтуб.}$ примет вид:

$$\begin{aligned} t_{вост. ср.}^{Хараб.-Ахтуб.} &= (\lambda_{ОРП}^{Хараб.-Ахтуб.} \cdot n_{ОРП}^{Хараб.-Ахтуб.} \cdot t_{вост.}^{ОРП} + \\ &+ \lambda_{каб.}^{Хараб.-Ахтуб.} \cdot L_{каб.}^{Хараб.-Ахтуб.} \cdot t_{вост.}^{каб.}) / \Lambda_{ВОЛС}^{Хараб.-Ахтуб.} = \\ &= (3,33 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 0,5 + 3,88 \cdot 10^{-7} \cdot 170,55 \cdot 10) / 7,951 \cdot 10^{-5} = 8,4. \end{aligned}$$

В соответствии с (3.30) $K_{гот.}^{Хараб.-Ахтуб.}$ определяется из соотношения

$$\begin{aligned} \% K_{гот.}^{Хараб.-Ахтуб.} &= \frac{t_{CP}^{Хараб.-Ахтуб.}}{t_{CP}^{Хараб.-Ахтуб.} + t_{вост. ср.}^{Хараб.-Ахтуб.}} \cdot 100 \% = \\ &= \frac{1,258 \cdot 10^4}{1,258 \cdot 10^4 + 8,4} \cdot 100 \% = 99,933 \%. \end{aligned}$$

Для целостного восприятия результаты расчета целесообразно обобщить в виде таблицы 3.33.

Таблица 3.33 – Наиболее важные результаты выполненного расчета

Наименование параметра	Значение параметра
1	2
Общая потребность в кабеле составляет:	170,55 км
из которых, для укладки в грунт	163,05 км
из которых, для укладки в кабельную канализацию	7,5 км
Кол-во барабанов кабеля ОКЛК-01-40 -10/125-7,0 для укладки в грунт, со строительной длиной 6 км	28 шт.

Окончание таблицы 3.33

1	2
Кол-во барабанов кабеля ОКЛСт-Н-01-48 -10/125-2,7 для укладки в грунт, со строительной длиной 3 км	3 шт.
Кол-во регенераторов (один устанавливается в пос. Верблюжий, второй – в пос. Болхуны)	2 шт.
Вероятность безотказной работы тракта в течение 1 мес.	94,4 %.
Коэффициент готовности системы	99,93

Задание для самостоятельной работы

Применяя знания, полученные из раздела экономического обоснования проектов, определите случаи целесообразного использования обслуживаемых и необслуживаемых регенерационных пунктов.

Примечание – По мнению авторов пособия, на момент его подготовки перспективными направлениями проведения исследований в этой области являются:

- разработка рекомендаций по принятию решения о выборе и установке обслуживаемого и необслуживаемого регенерационного пункта на участке волоконно-оптической линии связи;
- разработка рекомендаций по принятию решения о выборе технологии прокладки трассы с учетом географических и социально-экономических показателей региона, в котором производится реализация волоконно-оптического тракта;
- разработка рекомендаций по определению уровней значимости для выбора оборудования в целях реализации определенного проекта с учетом специфики проекта и заказчика трассы;
- разработка рекомендаций по выбору оборудования с учетом его времени наработки на отказ и стоимости затрат на проведение ремонтно-восстановительных работ.

Для закрепления полученных знаний читателю предлагается самостоятельно выполнить задания, приводимые в п. 3.11.

Индивидуальные задания для проектирования волоконно-оптических линий связи

С учетом порядкового номера в группе выберите наименования трассы из таблицы 3.34.

Таблица 3.34 – Наиболее важные результаты выполненного расчета

№	Населенные пункты	Скорость в тракте Гбит/с
1	Астрахань – Волгоград	50
2	Волгоград – Саратов	50
3	Саратов – Самара	100
4	Самара – Ульяновск	100
5	Астрахань – Элиста	50
6	Элиста – Ростов-на-Дону	50
7	Самара – Оренбург	50
8	Саратов – Воронеж	100
9	Самара – Уфа	100
10	Уфа – Челябинск	100
11	Челябинск – Екатеринбург	150
12	Челябинск – Курган	100
13	Екатеринбург – Пермь	150
14	Пермь – Ижевск	100
15	Ижевск – Казань	100

1 Постройте примерную схему прокладки кабеля между городами с использованием ресурса <https://yandex.ru/maps> или <http://wikimapia.org/>, во время построения схемы рекомендуется выбирать трассу прокладки недалеко от автомобильной или железной дороги, при этом предпочтение целесообразно отдать автомобильной дороге.

2 Выберите способ прокладки кабеля и прохождения водных и других видов преград; (выбор приемо-передающего оборудования, кабелей и муфт можно сделать на сайте <https://shop.nag.ru/>, <https://www.samaracable.ru/> или аналогичных ресурсах. При выборе определенного технического решения его необходимо обосновать с учетом особенностей трассы прокладки).

3 Определите протяженность регенерационного участка с учетом характеристик выбранного оборудования (SFP модулей).

4 Определите места расположения регенерационных пунктов с учетом расположения городов и поселков, обоснуйте свой выбор.

5 Опишите возможности, которые предоставляет установка регенерационного оборудования в населенном пункте, подумайте, какой вид регенерационных пунктов использовать целесообразнее в вашем проекте (обслуживаемые или не обслуживаемые), ответ необходимо обосновать.

- 6 Определите потребность в кабеле и муфтах.
- 7 Определите характеристики надежности проектируемого оптического тракта.
- 8 Сформулируйте задачи для проведения научных исследований в области проектирования и построения волоконно-оптических линий связи.

Контрольные вопросы

- 1 В чем заключается преимущество использования ВОЛС перед РРЛ?
- 2 На чем основан принцип действия передачи оптического сигнала по волокну?
- 3 Каким образом осуществляется укладка оптического кабеля в грунт?
- 4 В чем преимущество подвеса оптического кабеля на столбы?
- 5 Каким образом осуществляется контроль качества волоконно-оптической линии связи?
- 6 Для чего необходимо определять протяженность регенерационного участка?
- 7 Каким образом рассчитывается надежность волоконно-оптической линии связи?

4 ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТОВ УЧАСТКОВ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

4.1 Краткая теоретическая справка по экономической оценке корпоративных проектов

Предварительное обоснование экономической эффективности с учетом работ [2, 4, 16, 17, 21, 64] является одной из важнейших задач при реализации разнообразных проектов, к которым также относится проектирование сетей связи. Из практики видно, что проекты в области сетей связи подразделяются на корпоративные и коммерческие. Коммерческий проект призван приносить прибыль за счет реализации телекоммуникационных услуг населению, а корпоративный служит для обеспечения функционирования бизнес-процессов компаний. Установка базовой станции сотового оператора представляет собой типичный пример коммерческого проекта. Корпоративным проектом в этом случае станет прокладка участка кабельной сети между базовой станцией и центральным коммутатором для обеспечения функционирования базовой станции в составе сети. В отличие от коммерческих проектов, корпоративные проекты не приносят непосредственной прибыли и даже, наоборот – вызывают дополнительные расходы у компании во время и после своей реализации. К числу дополнительных затрат можно отнести повышение выплат сотрудникам за обслуживание новых единиц техники, арендные и налоговые платежи за использование ресурсов, необходимых для поддержания нормального функционирования проекта. Поэтому при обосновании эффективности внедрения проекта вместо традиционных показателей определения эффективности (таких как срок окупаемости или индекс рентабельности) целесообразнее использовать интегральный показатель качества, который показывает, насколько эффективнее предлагаемый проект решает задачу относительно проекта, используемого ранее. В качестве единиц измерения интегрального показателя качества используются баллы. Дополнительно можно определить удельную стоимость каждого балла с учетом

величины капитальных и эксплуатационных затрат, связанных с реализацией нового проекта.

Если предлагается несколько альтернативных проектов, то лицу, принимающему решение, необходимо сделать выбор с учетом величин интегрального показателя качества и удельных затрат.

Значения параметров "капитальные затраты" и "эксплуатационные расходы", в зависимости от методов расчёта, могут быть использованы и как составляющие интегрального показателя. В предлагаемой работе в качестве основного расчета рассматривается случай, когда интегральный показатель качества определяется с учетом технических характеристик, а капитальные и эксплуатационные затраты используются во время определения удельной стоимости балла интегрального показателя. Кроме этого, в работе рассматривается пример построения экспертной системы оценки проекта, основанной на использовании методов теории нечетких множеств и нечеткого вывода, когда интегральный показатель, капитальные затраты и эксплуатационные расходы используются для получения общей – комплексной оценки проекта. Для реализации системы нечеткого вывода, обобщающей показатели эффективности проекта, используется программа FuzzyTech.

Определение капитальных затрат $C_{\text{кап. затр}}$ в рамках пособия предлагается находить как сумму следующих величин:

- стоимость строительства кабельной линии $C_{\text{лин}}^{\text{ВОЛС}}$ складывается из стоимости материалов, используемых для строительства линейно-кабельных сооружений и затрат на укладку кабеля, определяемых на основании анализа бизнес-предложений строительных компаний:

$$C_{\text{лин}}^{\text{ВОЛС}} = \sum_{i_{\text{каб}}=1}^{m_{\text{каб}}} \left(l_{i_{\text{каб}}} \cdot (c_{i_{\text{каб}}}^{\text{км}} + c_{i_{\text{укл. каб}}}^{\text{км}}) \right) + \sum_{i_{\text{муфт}}=1}^{m_{\text{муфт}}} n_{i_{\text{муфт}}}^{\text{вид}} \cdot c_{i_{\text{муфт}}}^{\text{вид}}, \quad (4.1)$$

где $l_{i_{\text{каб}}}$ – протяженность определенного вида кабеля;

$c_{i_{\text{каб}}}^{\text{км}}$ – цена 1 км определенного вида кабеля;

$c_{i_{\text{укл. каб}}}^{\text{км}}$ – цена укладки определенного вида кабеля;

$m_{\text{каб}}$ – количество видов кабеля, используемого при строительстве участка транспортной сети;

$n_{i.\text{муфт}}^{\text{вид}}$ – количество муфт определенного вида для соединения кабеля;

$C_{i.\text{муфт}}^{\text{вид}}$ – цена муфты определенного вида;

$m_{\text{муфт}}$ – количество видов используемых муфт.

Примечания: 1. Затраты на строительство линии, связанные с укладкой кабеля в грунт, предлагается определять на основе анализа бизнес-предложений строительных компаний, в рамках работы принимается, что укладка кабеля в грунт обходится в 200 тыс. руб. за 1 км, укладка кабеля в кабельную канализацию – 30 тыс. руб. за 1 км, подвес кабеля на столбы с учетом приобретения и размещения столбов – около 200–250 тыс. руб. (Российских) за 1 км.

2. Подвес на столбы целесообразно использовать там, где затруднена укладка кабеля в грунт или кабельную канализацию – городские условия (в случае высокой загруженности кабельной канализации), сейсмоопасные районы, небольшие водные преграды или мелководные водоемы и т. д.;

- величина налога на добавленную стоимость (НДС) по оборудованию $T_{\text{обор}}^{\text{НДС}}$ (tax), с 1 января 2019 г. ставка НДС на территории России составляет 20 %; таким образом, чтобы выделить НДС из стоимости, необходимо использовать соотношение вида:

$$T_{\text{стр. ВОЛС}}^{\text{НДС}} = C_{\text{лин}}^{\text{ВОЛС}} \cdot 0,2 / 1,2. \quad (4.2)$$

Примечание – Для Республики Беларусь или другой страны подобный показатель согласовывается с преподавателем;

- стоимость оборудования волоконно-оптической линии связи – $C_{\text{станц. обор}}^{\text{ВОЛС}}$, требующегося для реализации проекта, формируется на основании анализа уровня цен и необходимого количества оборудования (в качестве источника цен предлагается информационный ресурс компании НАГ в сети интернет, раздел "Магазин", доступный по ссылке: shop.nag.ru). Получение цены оборудования можно представить в виде соотношения:

$$C_{станц. обор}^{ВОЛС} = \sum_{i_{гр. обор}=1}^{i_{гр. обор}^{max}} n_{ед. обор} \cdot C_{ед. обор}; \quad (4.3)$$

где $C_{ед. обор}$ – цена единицы оборудования одного наименования (группы);

$n_{ед. обор}$ – количество единицы оборудования одного наименования (группы);

$i_{гр. обор}^{max}$ – максимальное количество групп различного оборудования;

- величина налога на добавленную стоимость (НДС) по оборудованию $T_{обор}^{НДС}$ (tax); с 01 января 2019 г. ставка НДС на территории России составляет 20 %, таким образом,

$$T_{станц. обор. ВОЛС}^{НДС} = C_{станц. обор}^{ВОЛС} \cdot 0,2 / 1,2; \quad (4.4)$$

- затраты на доставку оборудования – $C_{дост}$. (принимаем, что величина затрат на доставку оборудования равна 10 % от стоимости оборудования):

$$C_{дост} = 0,1 \cdot \left(C_{станц. обор}^{ВОЛС} + \sum_{i_{каб}=1}^{m_{каб}} l_{i.каб} \cdot C_{i.каб}^{км} + \sum_{i_{муфт}=1}^{m_{муфт}} n_{i.муфт}^{вид} \cdot C_{i.муфт}^{вид} \right); \quad (4.5)$$

- величина НДС на доставку оборудования:

$$T_{дост}^{НДС} = C_{дост} \cdot 0,2 / 1,2; \quad (4.6)$$

- затраты на монтаж стационарного оборудования – $C_{монт}^{станц. обор}$ (принимаем, что величина затрат на монтаж оборудования равна 20 % от стоимости оборудования):

$$C_{монт}^{станц. обор} = 0,2 \cdot C_{станц. обор}^{ВОЛС}; \quad (4.7)$$

- величина НДС на монтаж оборудования:

$$T_{\text{станц. обор. монт}}^{\text{НДС}} = C_{\text{монт}}^{\text{станц. обор.}} \cdot 0,2 / 1,2; \quad (4.8)$$

- дополнительные затраты, в которые можно включить и непредвиденные расходы, например приобретение расходных материалов (недорогие инструменты, крепежный материал, изоляционная лента и т. д.), (принимая, что величина дополнительных затрат равна 5 % от стоимости оборудования):

$$C_{\text{доп. затр}} = 0,05 \cdot (C_{\text{станц. обор}}^{\text{ВОЛС}} + C_{\text{лин}}^{\text{ВОЛС}}); \quad (4.9)$$

- величина НДС по дополнительным расходам в рамках предлагаемых расчетов не учитывается.

Таким образом, обобщая соотношения (4.1), (4.3), (4.5), (4.7), (4.9), величина капитальных затрат $C_{\text{кап.затр}}$ с учетом НДС составляет:

$$C_{\text{кап.затр}} = C_{\text{стр}}^{\text{ВОЛС}} + C_{\text{обор}}^{\text{ВОЛС}} + C_{\text{дост}} + C_{\text{монт}} + C_{\text{доп}}. \quad (4.10)$$

Предприятия, работающие на территории Российской Федерации, используя общую систему налогообложения, имеют право на возврат уплаченного НДС. Величина НДС к возврату с учетом соотношений (4.2), (4.4), (4.6), (4.8) будет равна:

$$T_{\text{общ}}^{\text{НДС}} = T_{\text{стр. ВОЛС}}^{\text{НДС}} + T_{\text{станц. обор. ВОЛС}}^{\text{НДС}} + T_{\text{дост}}^{\text{НДС}} + T_{\text{станц. обор. монт}}^{\text{НДС}}. \quad (4.11)$$

Разница между капитальными затратами $C_{\text{кап.затр}}$ и общим возмещенным НДС – $T_{\text{общ}}^{\text{НДС}}$ образует балансовую стоимость оборудования – $C_{\text{баланс}}$:

$$C_{\text{баланс}} = C_{\text{кап.затр}} - T_{\text{общ}}^{\text{НДС}}. \quad (4.12)$$

Примечание – Величина $C_{\text{баланс}}$ используется в дальнейшем при определении амортизационных затрат. Необходимо отметить, что в пособии приводится приблизительная методика определения НДС, на практике эту операцию выполняет квалифицированный бухгалтер, так как ошибки в этой области могут повлечь наложение штрафных санкций.

Полученные результаты из соотношений (4.1)–(4.12) будут оформлены в виде обобщающей таблицы, в дальнейшем используемой для описания примера выполнения проекта.

Следующим этапом является расчёт текущих или ежегодных затрат, возникающих при эксплуатации сети. Текущие затраты включают:

- заработную плату работников предприятия, занятых в обслуживании проекта;
- пенсионные и медицинские начисления на оплату труда;
- затраты на электроэнергию, используемую для обеспечения функционирования оборудования;
- амортизационные отчисления, используемые для проведения капитального ремонта или глубокой модернизации сети в связи с изменениями технологий;
- транспортные расходы, связанные с доставкой обслуживающего персонала к месту нахождения оборудования;
- налог на имущество организаций;
- аренду канала для подключения к сети интернет;
- иные расходы, требуемые для выполнения небольших объемов работ и приобретения недорогого инструмента и расходных материалов в процессе эксплуатации сети.

В рамках пособия расчет персонала, необходимого для обслуживания ВОЛС, предлагается определять по приблизительной формуле вида:

$$P_{\text{персон. расч.}}^{\text{обсл}} = 2,5 \cdot L_{\text{Л}} / 174, \quad (4.13)$$

где $L_{\text{Л}}$ – протяженность линии, км;

174 – средняя продолжительность рабочего времени, приходящаяся на одного человека в месяц.

После расчета по формуле (4.13) производится округление до целого числа в большую сторону, а затем проверяется условие:

$$P_{\text{персон}}^{\text{обсл}} = \begin{cases} P_{\text{персон. расч.}}^{\text{обсл}}, & P_{\text{персон. расч.}}^{\text{обсл}} \geq 4 \\ 4, & P_{\text{персон. расч.}}^{\text{обсл}} < 4 \end{cases} \quad (4.14)$$

Таким образом, рекомендуемое минимальное количество специалистов, обслуживающих ВОЛС, равно 4 человека. Как

правило, это специалисты в области работы с оптическим кабелем, стационарным и линейным оборудованием, вспомогательные рабочие. Для упрощения расчетов предлагается принять, что все работники получают одинаковую заработную плату – p_{comp} . Тогда общий размер заработной платы определяется соотношением

$$P_{comp} = p_{comp} \cdot P_{персон}^{обсл}. \quad (4.15)$$

Кроме заработной платы, в зависимости от страны, работодатель обязан уплачивать взносы в фонды пенсионного, социального и медицинского страхования или аналогичные структуры. Применительно к условиям Российской Федерации расчет начислений на оплату труда в виде взносов в фонды пенсионного (ПФР – Пенсионный фонд России), социального (ФСС – Фонд социального страхования) и медицинского страхования (ФОМС – Фонд обязательного медицинского страхования) предлагается определять из следующих соотношений:

$$T_{ПФР} = 0,22 \cdot P_{comp}, \quad (4.16)$$

$$T_{ФСС}^{Больнич} = 0,029 \cdot P_{comp}, \quad (4.17)$$

$$T_{ФОМС} = 0,051 \cdot P_{comp}, \quad (4.18)$$

$$T_{ФСС}^{Травм} = k_{страх} \cdot P_{comp}. \quad (4.19)$$

где $k_{страх}$ – коэффициент, величина которого находится в диапазоне значений от 0,2 ÷ 8,5 % в зависимости от вида основной деятельности предприятия и устанавливается Фондом социального страхования ежегодно. В рамках пособия принимается, что $k_{страх} = 0,2 \% = 0,002$.

Примечание – В реальных условиях размер начислений на оплату труда выполняет квалифицированный бухгалтер, так как ошибки в подобных расчетах приводят к начислению штрафных санкций.

Учитывая (4.16)–(4.19), общий размер начислений на оплату труда составляет около 30 %:

$$T_{Нач} = 0,22 \cdot P_{comp} + 0,029 \cdot P_{comp} + 0,051 \cdot P_{comp} + 0,002 \cdot P_{comp} = 0,302 \cdot P_{comp} \quad (4.20)$$

В этом случае, в соответствии с (4.15) и (4.20), общий размер фонда оплаты труда сотрудников составит:

$$P_{comp}^{ФОТ.год} = 12 \cdot (P_{comp} + T_{Нач}). \quad (4.21)$$

Уровень затрат на электроэнергию определим как произведение суммарной потребляемой сетевым оборудованием мощности – $W_{i_{оборуд.}}$ в кВт, где $i_{оборуд.}$ – номер единицы оборудования, на время работы оборудования и стоимость 1 кВт/час – $C_{Эл.Эн}^{1кВт/ч}$, расчетное время работы оборудования в часах $t_{раб.об}$:

$$C_{Эл.Эн}^{год} = \sum_{i_{оборуд}=1}^{i_{оборуд}^{max}} W_{i_{оборуд}}^{обор} \cdot C_{Эл.Эн}^{1кВт/ч} \cdot t_{раб.об} \quad (4.22)$$

Обычно сетевое оборудование эксплуатируется в непрерывном режиме 24 часа в сутки, 7 дней в неделю, исходя из этого, в расчетах следует принимать, что $t_{раб.об} = 24 \cdot 365 = 8760$ часов. Также необходимо учитывать, что расход электроэнергии у сетевого оборудования является переменной величиной, в отличие от лампы накаливания, и зависит от режима работы и интенсивности передачи трафика. Поэтому в рамках выполняемых расчетов примем среднюю мощность потребления энергии, равную 80 % от максимальной (заявленной в паспорте – $W_{i_{оборуд}}^{обор.пасп}$):

$$W_{i_{оборуд}}^{обор} = 0,8 \cdot W_{i_{оборуд}}^{обор.пасп} \quad (4.23)$$

Например, потребляемая мощность 8-канального медиаконвертера (транспондера) 3R SFP+ 10GE Ethernet 1U T501.053 с учетом паспортных данных (<http://lofispro.ru/wp-content/uploads/2015/12/conv15.pdf>) составляет около 40 Вт. КПД электропитающей установки в расчетах не учитывается, так как в паспортных данных оборудования указана общая потребляемая мощность.

Уровень амортизационных отчислений определяется на основании значения балансовой стоимости оборудования $C_{баланс}$

и срока эксплуатации. В рассматриваемом примере предполагается, что оборудование эксплуатируется в течение 20 лет. Соответственно доля отчислений на амортизацию составляет 5 % от балансовой стоимости оборудования.

$$C_{аморт} = 0,05 \cdot C_{баланс} \quad (4.24)$$

В рассматриваемом примере не производится учет изменения балансовой стоимости оборудования в течение всего периода эксплуатации.

Примечание – При желании амортизационные отчисления можно провести отдельно для стационарного и линейного оборудования, тогда срок эксплуатации стационарного оборудования можно заложить в диапазоне 5–10 лет, во избежание излишней перегрузки в рамках пособия подобный метод не рассматривается.

Уровень затрат на оплату налога на имущество составляет 2,2 % от его балансовой стоимости.

$$T_{налог. им.} = 0,022 \cdot C_{баланс} \quad (4.25)$$

Транспортные расходы, связанные с доставкой обслуживающего персонала на объект, зависят от особенностей эксплуатируемого проекта и могут быть приблизительно определены из соотношения

$$C_{транспорт} = 12 \cdot N_{выезд} \cdot l_{ср} \cdot C_{экс. км}^{авт} / 1000, \quad (4.26)$$

где $l_{ср}$ – среднее расстояние до объекта;

$N_{выезд}$ – планируемое количество выездов на объект в течение месяца;

$C_{экс. км}^{авт}$ – стоимость километра пробега автомобиля с учетом расходов на топливо и амортизацию транспорта в руб. Величину $m_{км}$ можно определить соотношением:

$$C_{экс. км}^{авт} = \frac{F_{cons}}{100} \cdot C_{топл} + C_{экс. км}^{доп}, \quad (4.27)$$

где F_{cons} – расход топлива в литрах автомобилем на 100 км пробега;

$C_{топл}$ – цена топлива за 1 литр;

$C_{экс.км}^{доп}$ – дополнительные затраты на эксплуатацию автомобиля, связанную с регламентными и ремонтными работами, приобретением запасных частей. В рамках пособия предлагается:

$$C_{экс.км}^{доп} = 0,2 \cdot C_{топл.км} = 0,2 \cdot \left(\frac{F_{cons}}{100} \cdot C_{топл} \right) = 2 \cdot 10^{-3} \cdot F_{cons} \cdot C_{топл}, \quad (4.28)$$

где $C_{топл.км}$ – затраты, необходимые на приобретения топлива, для того чтобы проехать 1 км расстояния.

В качестве допущения соотношения (4.26) принимается, что функции водителя автотранспорта выполняет один из участников бригады ремонта, в противном случае, требуется определение средней длительности выезда и расчет затрат на фонд оплаты труда (заработная плата и начисления) для водителя. (В рамках пособия принимается, что функцию водителя выполняет вспомогательный рабочий).

Уровень иных расходов, связанных с эксплуатируемой сетью, составляет 10 % от суммарных, вышеперечисленных эксплуатационных затрат:

$$C_{проч} = 0,1 \cdot (P_{сопр.}^{ФОТ.год} + C_{Эл.Эн}^{год} + C_{аморт} + C_{транспорт} + T_{налог.им.}) \quad (4.29)$$

Общие текущие затраты в этом случае будут равны сумме результатов, полученных в соотношениях (4.21), (4.22), (4.24), (4.25), (4.26), (4.29):

$$C_{тек.затр} = P_{сопр.}^{ФОТ.год} + C_{Трансп} + C_{Эл.Эн}^{год} + C_{аморт} + T_{налог.им.} + C_{транспорт} + C_{проч}. \quad (4.30)$$

Текущие затраты определяются на несколько лет вперед, как правило, в рамках учебного проекта подобный период составляет 3–5 лет.

Для упрощения восприятия в описанных этапах не учитываются расчёты затрат на аренду помещений под установку сетевого оборудования и аренду кабельных трасс. Предполагается, что стационарное оборудование находится на территории объектов, принадлежащих оператору связи, линейное укладывается в инфраструктуру, которая построена в ходе реализации проекта на

средства самого оператора или принадлежала ему ранее. Если планируется размещение объектов проекта на ресурсах других предприятий, например подвешивание на столбы, использование "чужой" кабельной канализации, расположение сетевого оборудования в зданиях, не принадлежащих оператору, к текущим затратам необходимо добавить арендную плату за использование этих ресурсов. Кроме этого, в реальных расчётах обязательен учёт ежегодной корректировки изменений величины фонда оплаты труда, налоговых ставок стоимости электроэнергии и других показателей. В примере допускается, что эксплуатационные расходы по проекту постоянны в течение всех лет эксплуатации проекта.

Описанную последовательность операций можно использовать и для расчета затрат на строительство и эксплуатацию радиорелейной линии связи. Основные отличия будут заключаться в том, что при определении капитальных затрат будут учитываться только расходы на приобретение и монтаж оборудования при допущении, что мачты, на которых крепится оборудование, были смонтированы ранее. Иначе потребуется выполнить расчет затрат на строительство радиомачты. Коэффициент амортизации в соотношении (4.24) следует принять равным 0,1 (10 %). Дополнительно при определении затрат на эксплуатацию радиорелейной линии связи, в зависимости от страны реализации, необходимо учесть величину пошлины за использование частотного ресурса. В данном пособии подобная пошлина составляет 1 000 руб. за один частотный номинал. Более точно величина затрат на использование частот согласовывается с преподавателем, в случае необходимости ее можно получить из открытых информационных источников контролирующих органов. Например, для России подобную информацию можно найти на официальном сайте Федерального государственного унитарного предприятия "Главный радиочастотный центр", адрес сайта: <http://grfc.ru/grfc/>.

Примечания: 1. В случае расчета затрат на монтаж и эксплуатацию радиорелейных линий связи преподаватель имеет право дополнить задание расчетом затрат на строительство радиовышек, на которые производится монтаж необходимого оборудования.

2. Приведенный список затрат на эксплуатацию реального проекта необходимо проводить профессиональному бухгалтеру для предотвращения появления ошибок и наложения штрафных санкций на компанию со стороны контролирующих органов.

В завершении экономических расчетов необходимо обосновать экономическую эффективность. Как указывалось выше, спецификой обоснования экономической эффективности корпоративных проектов является определение отношения интегральных показателей качества проектов – $I_{\text{проект}}$:

$$I_{\text{проект}} = \frac{J_{\text{проект}}^{\text{внедр}}}{J_{\text{проект}}^{\text{базов}}} = \frac{\sum_{i_{\text{проект}}^{\text{показ}}=1}^{i_{\text{проект}}^{\text{показ. макс}}} r_{i_{\text{проект}}^{\text{показ}}} P_{i_{\text{проект}}^{\text{показ}}}^{\text{внедр. пр.}}}{\sum_{i_{\text{проект}}^{\text{показ}}=1}^{i_{\text{проект}}^{\text{показ. макс}}} r_{i_{\text{проект}}^{\text{показ}}} P_{i_{\text{проект}}^{\text{показ}}}^{\text{баз. пр.}}}, \quad (4.31)$$

где $J_{\text{проект}}^{\text{внедр}}$ – интегральный показатель качества внедряемого проекта;

$J_{\text{проект}}^{\text{базов}}$ – интегральный показатель качества эксплуатируемого (базового) проекта;

$i_{\text{проект}}^{\text{показ}}$ – номер оцениваемого показателя;

$i_{\text{проект}}^{\text{показ. макс}}$ – максимальный номер оцениваемого показателя;

$P_{i_{\text{проект}}^{\text{показ}}}^{\text{внедр. пр.}}$ – значение показателя внедряемого проекта;

$r_{i_{\text{проект}}^{\text{показ}}}$ – уровень значимости оцениваемого показателя;

$P_{i_{\text{проект}}^{\text{показ}}}^{\text{баз. пр.}}$ – значение показателя базового проекта (эксплуатируемого в настоящее время или с учетом [61] условного, усредненного проекта).

В рамках работы уровни значимости $r_{i_{\text{проект}}^{\text{показ}}}$ определяются экспертом как доля от некоторой величины R , сумма всех уровней значимости в этом случае равна величине:

$$R = \sum_{i_{\text{проект}}^{\text{показ}}=1}^{i_{\text{проект}}^{\text{показ. макс}}} r_{i_{\text{проект}}^{\text{показ}}}, \quad (4.32)$$

где $i_{\text{проект. макс}}^{\text{показ}}$ – максимальный номер используемых уровней значимости.

Как дополнение рекомендуется расчет удельной стоимости каждого балла интегрального показателя качества:

$$C_{Внедр}^J = \frac{J_{проект}^{внедр}}{C_{внедр}^{прив}}, \quad (4.33)$$

$$C_{базов}^J = \frac{J_{проект}^{базов}}{C_{базов}^{прив}}, \quad (4.34)$$

где $C_{базов}^{прив}$ и $C_{внедр}^{прив}$ – соответственно "приведенные" затраты на эксплуатацию базового (или условного, усредненного) и внедряемого проекта.

Значения $C_{базов}^{прив}$ и $C_{внедр}^{прив}$ определяются из соотношений вида:

$$C_{базов}^{прив} = C_{тек. затр} + \frac{C_{баланс}}{t_{экспл}}, \quad (4.35)$$

где $C_{тек. затр}$ – величина текущих ежегодных затрат, определяется соотношением (4.30);

$C_{баланс}$ – балансовая стоимость оборудования, определяется соотношением (4.12);

$t_{экспл}$ – время эксплуатации проекта в годах. Допущением соотношения (4.34) является предположение, что $C_{тек. затр}$ и $C_{баланс}$ не изменяются в течение всего срока эксплуатации.

При необходимости с более точными соотношениями можно ознакомиться в работах по экономическому анализу предприятия [2, 4] или анализу инвестиционных проектов [9, 14].

Целесообразность реализации проекта формально можно описать следующим логическим выражением:

$$d = \begin{cases} \alpha, & (I_{проект} > 1) \wedge (C_{Внедр}^J < C_{базов}^J) \\ \beta & (I_{проект} > 1) \wedge (C_{Внедр}^J > C_{базов}^J) \\ \beta & (I_{проект} < 1) \wedge (C_{Внедр}^J < C_{базов}^J) \\ \gamma & (I_{проект} < 1) \wedge (C_{Внедр}^J > C_{базов}^J) \end{cases}, \quad (4.36)$$

где \wedge – операция логического "и", если $d = \alpha$ – реализация проекта целесообразна, если $d = \beta$ – требуется дополнительный

анализ целесообразности реализации проекта, если $d = \gamma$ – реализация проекта нецелесообразна.

Тем не менее, как показывает практика, однозначность результатов соотношений (4.36) может быть поставлена под сомнение при практическом использовании, так как строгость математических операций, используемых в них, может не отражать последующей специфики эксплуатации проекта.

4.2 Расчет экономической эффективности проекта участка транспортной сети на основе волоконно-оптической линии связи

В качестве исходных данных для расчета затрат используются результаты, полученные при определении потребности в оборудовании и кабеле на участке г. Харабали – г. Ахтубинск в Астраханской области. Расчет потребности в оборудовании приведен в п. 3.9 настоящего пособия. С учетом источников [28, 40–44] определена цена единицы стоимости требуемых материальных ресурсов. Исходные данные для расчета приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Потребность в оборудовании с указанием его стоимости

Наименование оборудования	Потребность	Цена за единицу
1 Кабель оптический ОКЛК-01-48 -10/125-7,0 (в грунт)	168 км	96 тыс. руб. / км
2 Кабель оптический ОКЛСт-Н-01-48-10/125-2,7 (в кабельную канализацию)	9 км	89 тыс. руб. / км
3 Муфта кабельная оптическая МТОК А1	32 шт.	7 тыс. руб.
4 Медиаконвертер T501.053.001	4 шт.	102 тыс. руб.
5 Модуль SFP+ 10GBASE-ZR, (26dB)	16 шт.	79 тыс. руб.
6 Модуль SFP+ 10GBASE-ZR, (23dB)	8 шт.	34 тыс. руб.

При определении затрат они разделены на две группы: затраты на строительство линейной части тракта и затраты на размещение и настройку каналобразующего (станционного) оборудования. С учетом того, что затраты на укладку 1 км кабеля в грунт приняты в размере 200 тыс. руб. за 1 км, а в кабельную

канализацию – 30 тыс. руб. за 1 км, то в соответствии с (4.1) они составят:

$$C_{лин}^{ВОЛС} = \sum_{i_{каб}=1}^{m_{каб}} \left(l_{i.каб} \cdot (c_{i.каб}^{км} + c_{i.укл.каб}^{км}) \right) + \sum_{i_{муфт}=1}^{m_{муфт}} n_{i.муфт}^{вид} \cdot c_{i.муфт}^{вид} =$$

$$= 168 \cdot (96 + 200) + 9 \cdot (89 + 30) + 32 \cdot 7 = 49\,728 + 1\,071 + 224 = 51\,023 \text{ тыс. руб.}$$

Величина НДС с учетом (4.2) определится из соотношения:

$$T_{стр.ВОЛС}^{НДС} = C_{лин}^{ВОЛС} \cdot 0,2 / 1,2 = 51\,023 \cdot 0,2 / 1,2 = 8\,503,83 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на станционное оборудование вычисляются с учетом (4.3).

$$C_{станц.обор}^{ВОЛС} = \sum_{i_{гр.обор}=1}^{i_{гр.обор}^{max}} n_{ед.обор} \cdot C_{ед.обор} = 4 \cdot 102 + 16 \cdot 79 + 8 \cdot 34 =$$

$$= 408 + 1\,264 + 272 = 1\,944 \text{ тыс. руб.}$$

НДС по станционному оборудованию с учетом (4.4) составит:

$$T_{станц.обор.ВОЛС}^{НДС} = C_{станц.обор}^{ВОЛС} \cdot 0,2 / 1,2 = 1\,944 \cdot 0,2 / 1,2 = 324 \text{ тыс. руб.}$$

Стоимость доставки определится в соответствии с (4.5)

$$C_{дост} = 0,1 \cdot \left(C_{станц.обор}^{ВОЛС} + \sum_{i_{каб}=1}^{m_{каб}} l_{i.каб} \cdot c_{i.каб}^{км} + \sum_{i_{муфт}=1}^{m_{муфт}} n_{i.муфт}^{вид} \cdot c_{i.муфт}^{вид} \right) =$$

$$= 0,1 \cdot (1\,944 + 168 \cdot 96 + 9 \cdot 89 + 32 \cdot 7) = 0,1 \cdot (1\,944 + 16\,128 + 801 + 270) =$$

$$= 0,1 \cdot (19\,097) = 1\,909,7 \text{ тыс. руб.}$$

НДС по доставке оборудования с учетом (4.6) составит:

$$T_{дост}^{НДС} = C_{дост} \cdot 0,2 / 1,2 = 1\,909,7 \cdot 0,2 / 1,2 = 318,28 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на монтаж станционного оборудования вычисляются по формуле (4.7)

$$C_{\text{монт}}^{\text{станц.обор}} = 0,2 \cdot C_{\text{станц.обор}}^{\text{ВОЛС}} = 0,2 \cdot 1\,944 = 388,80 \text{ тыс. руб.}$$

НДС по монтажу станционного оборудования:

$$T_{\text{станц.обор.монт}}^{\text{НДС}} = C_{\text{монт}}^{\text{станц.обор}} \cdot 0,2 / 1,2 = 388,80 \cdot 0,2 / 1,2 = 64,80 \text{ тыс. руб.}$$

Дополнительные затраты определяются в соответствии с (4.9):

$$C_{\text{доп.затр}} = 0,05 \cdot (C_{\text{станц.обор}}^{\text{ВОЛС}} + C_{\text{лин}}^{\text{ВОЛС}}) = 0,05 \cdot (1\,944 + 51\,023) = 2\,648,35 \text{ тыс. руб.}$$

Общий размер капитальных затрат с учетом (4.10) составит:

$$C_{\text{кап.затр}} = C_{\text{станц.обор}}^{\text{ВОЛС}} + C_{\text{лин}}^{\text{ВОЛС}} + C_{\text{дост}} + C_{\text{монт}}^{\text{станц.обор}} + C_{\text{доп.затр}} = 51\,023 + 1\,944 + 1\,909,70 + 388,80 + 2\,648,35 = 57\,913,85 \text{ тыс. руб.}$$

Общая величина НДС с учетом (4.11) будет следующей:

$$T_{\text{общ}}^{\text{НДС}} = T_{\text{стр.ВОЛС}}^{\text{НДС}} + T_{\text{станц.обор.ВОЛС}}^{\text{НДС}} + T_{\text{дост}}^{\text{НДС}} + T_{\text{станц.обор.монт}}^{\text{НДС}} = 8\,503,83 + 324 + 318,28 + 64,8 = 9\,210,92 \text{ тыс. руб.}$$

Балансовая стоимость оборудования определяется из соотношения (4.12):

$$C_{\text{баланс}} = C_{\text{кап.затр.}} - T_{\text{общ}}^{\text{НДС}} = 57\,913,85 - 9\,210,92 = 48\,702,93 \text{ тыс. руб.}$$

Обобщенно промежуточные результаты расчета представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2– Результат расчета затрат на момент запуска проекта

Наименование оборудования	Количество	Цена, тыс. руб.	Стоимость, тыс. руб.
1	2	3	4
1 Кабель оптический ОКЛК-01-48 - 10/125-7,0 (в грунт)	168 км	96	16 128

Окончание таблицы 4.2

1	2	3	4
2 Кабель оптический ОКЛСт-Н-01-48-10/125-2,7 (кабельная канализация)	9 км	89	801
3 Муфта кабельная оптическая МТОК А1	32 шт.	7	224
4 Медиаконвертер T501.053.001	4 шт.	102	408
5 Модуль SFP+ 10GBASE-ZR, (26dB)	16 шт.	79	1 264
6 Модуль SFP+ 10GBASE-ZR, (23dB)	8 шт.	34	272
7 Затраты на укладку кабеля в грунт и кабельную канализацию с учетом стоимости кабеля	–	–	51 023
8 НДС с затрат на укладку кабеля в грунт и кабельную канализацию с учетом стоимости кабеля	–	–	8 503,83
9 Затраты на станционное оборудование	–	–	1 944,00
10 НДС с затрат на станционное оборудование	–	–	324,00
11 Стоимость доставки	–	–	1 909,7
12 НДС с затрат на доставку оборудования	–	–	318,28
13 Затраты на монтаж станционного оборудования	–	–	388,80
14 НДС с затрат на монтаж станционного оборудования	–	–	64,80
15 Дополнительные затраты	–	–	2 648,35
16 Капитальные затраты	–	–	57 913,85
17 Общая величина НДС	–	–	9 210,92
18 Балансовая стоимость проекта	–	–	48 702,93

Следующим этапом является определение годовых эксплуатационных затрат, связанных с реализацией проекта.

С учетом (4.13) и результатов расчета протяженности линии потребность в обслуживающем персонале

$$P_{\text{персон. расч.}}^{\text{обсл.}} = 2,5 \cdot L_{\text{л}} / 174 = 2,5 \cdot (168 + 9) / 174 = 2,5 \cdot 177 / 174 = 2,54 \approx 3 \text{ чел.}$$

Согласно условию (4.14) окончательная потребность в персонале составит 4 человека:

$$P_{\text{персон.}}^{\text{обсл.}} = \begin{cases} P_{\text{персон. расч.}}^{\text{обсл.}}, P_{\text{персон. расч.}}^{\text{обсл.}} \geq 4 \\ 4, P_{\text{персон. расч.}}^{\text{обсл.}} < 4 \end{cases} = \begin{cases} P_{\text{персон. расч.}}^{\text{обсл.}}, P_{\text{персон. расч.}}^{\text{обсл.}} \geq 4 \\ 4, 3 < 4 \end{cases}$$

Принимая величину среднего заработка линейного специалиста, равную 25 тыс. руб., размер месячной заработной платы для четырех специалистов (до уплаты налога на доходы физических лиц – НДФЛ) в соответствии с (4.15) составит:

$$P_{\text{сотр.}} = p_{\text{сотр.}} \cdot P_{\text{персон.}}^{\text{обсл.}} = 4 \cdot 25 = 100 \text{ тыс. руб.}$$

Взносы в фонды пенсионного, социального и медицинского страхования определяются из соотношений (4.16)–(4.19):

$$T_{\text{ПФР}} = 0,22 \cdot P_{\text{сотр.}} = 0,22 \cdot 100 = 22 \text{ тыс. руб.}$$

$$T_{\text{ФСС}}^{\text{Больнич.}} = 0,029 \cdot P_{\text{сотр.}} = 0,029 \cdot 100 = 2,9 \text{ тыс. руб.}$$

$$T_{\text{ФОМС}} = 0,051 \cdot P_{\text{сотр.}} = 0,051 \cdot 100 = 5,1 \text{ тыс. руб.}$$

$$T_{\text{ФСС}}^{\text{Травм.}} = k_{\text{страх}} \cdot P_{\text{сотр.}} = 0,002 \cdot 100 = 0,2 \text{ тыс. руб.}$$

Окончательно с учетом (4.20) величина начислений на заработную плату сотрудников составит:

$$\begin{aligned} T_{\text{Нач}} &= 0,22 \cdot 100 + 0,029 \cdot 100 + 0,051 \cdot 100 + 0,002 \cdot 100 = \\ &= 0,302 \cdot 100 = 30,2 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

Согласно (4.21) определяется величина фонда оплаты труда в год:

$$P_{\text{сотр.}}^{\text{ФОТ.год}} = 12 \cdot (P_{\text{сотр.}} + T_{\text{Нач.}}) = 12 \cdot (100 + 30,2) = 1\,562,40 \text{ тыс. руб.}$$

С учетом количества каналообразующего оборудования, приведенного в таблице 4.2, затраты на потребление электроэнергии согласно (4.22) и (4.23) составят:

$$\begin{aligned} C_{\text{Эл.Эн}}^{\text{год}} &= \sum_{i_{\text{оборуд}}=1}^{i_{\text{оборуд}}^{\text{max}}} W_{i_{\text{оборуд}}}^{\text{обор}} \cdot C_{\text{Эл.Эн}}^{\text{1кВт/ч}} \cdot t_{\text{раб.об}} = \\ &= 4 \cdot 0,8 \cdot 0,04 \cdot 0,005 \cdot 8\,760 = 1,4 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

Величина амортизационных отчислений, с учетом допущения, что балансовая стоимость оборудования не изменяется, и согласно (4.24) будет равна:

$$C_{аморт.} = 0,05 \cdot C_{баланс} = 0,05 \cdot 48\,702,93 = 2\,435,15 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на оплату налога на имущество в соответствии (4.25) составят:

$$T_{налог.им.} = 0,022 \cdot C_{баланс} = 0,022 \cdot 48\,702,93 = 1\,071,46 \text{ тыс. руб.}$$

При расчетах величина среднего расстояния, которое проходит автомобиль, принимается как половина протяженности линии:

$$l_{ср.} = (L_{грунт} + L_{канал}) / 2 = (168 + 9) / 2 = 88,5 \text{ км}$$

Расход топлива определяется из допущения, что для выезда используется автомобиль-микроавтобус УАЗ-452 "Буханка" или его более поздняя модификация УАЗ-3962, расход топлива принимается из расчета 17,5 л на 100 км пробега. В качестве топлива используется бензин А-92 по цене 42 руб. за 1 л. Таким образом, затраты на 1 км пробега составляют:

$$C_{топл.км} = \frac{F_{cons}}{100} \cdot C_{топл} = \frac{17,5}{100} \cdot 42 = 7,35 \text{ руб. на 1 км.}$$

В рамках пособия дополнительные расходы на автомобиль (расход масла, износ покрышек, затраты на плановое техническое обслуживание) упрощенно принимаются как 20 % от величины $C_{топл.км}$:

$$C_{эсп. км}^{доп} = 0,2 \cdot C_{топл. км} = 0,2 \cdot 7,35 = 1,47 \text{ руб. на 1 км.}$$

Окончательно цена пробега одного километра составит:

$$C_{эсп. км}^{авт} = \frac{F_{cons}}{100} \cdot C_{топл} + C_{эсп. км}^{доп} = 7,35 + 1,47 = 8,82 \text{ руб. на 1 км}$$

Предполагается, что бригада выезжает для проведения осмотров примерно 1 раз в месяц в течение всего года:

$$C_{транспорт} = 12 \cdot N_{выезд} \cdot l_{ср} \cdot C_{эсп. км}^{авт} / 1\,000 = \\ = 12 \cdot 1 \cdot 88,5 \cdot 8,82 / 1\,000 = 9,7 \text{ тыс. руб.}$$

Величина дополнительных расходов, связанных с эксплуатацией проекта, с учетом (4.29) составит:

$$C_{\text{проч}} = 0,1 \cdot (P_{\text{сопр.}}^{\text{ФОТ.год}} + C_{\text{Эл.Эн}}^{\text{год}} + C_{\text{аморт}} + C_{\text{транспорт}} + T_{\text{налог.им.}}) =$$

$$= 0,1 \cdot (1562,40 + 1,4 + 2435,15 + 9,37 + 1071,46) = 507,98 \text{ тыс. руб.}$$

Общие эксплуатационные затраты с учетом (4.30) будут следующие:

$$C_{\text{тек.затр}} = P_{\text{сопр.}}^{\text{ФОТ.год}} + C_{\text{Трансп}} + C_{\text{Эл.Эн}}^{\text{год}} + C_{\text{аморт}} + T_{\text{налог.им.}} +$$

$$+ C_{\text{транспорт}} + C_{\text{проч}} = 1\ 562,40 + 1,4 + 2\ 435,15 + 9,37 +$$

$$+ 1\ 071,46 + 507,98 = 5\ 587,76 \text{ тыс. руб. в год.}$$

Окончательно:

- объем капитальных затрат на реализацию проекта составляет 57 913,85 тыс. руб. \approx 58 млн. руб.;
- балансовая стоимость оборудования – 48 702,93 тыс. руб. \approx 49 млн. руб.;
- объем эксплуатационных затрат – 5 587,76 тыс. руб. \approx 5,6 млн. руб. за 1 год эксплуатации.

На практике для сокращения эксплуатационных затрат возможна передача части или всех задач по обслуживанию линии на аутсорсинг.

Завершающим этапом выполнения экономических расчетов является определение отношений интегральных показателей качества внедряемого проекта относительно заменяемого или усредненного при помощи соотношений вида (4.31)–(4.36). Вопрос имплементации усредненного проекта выходит за рамки рассматриваемого пособия, при желании читатель может воспользоваться положениями работы [61] (полученными на основании анализа работ [17, 21]) в части формирования характеристики усредненного сетевого элемента, присутствующего на рынке.

Перед оценкой выполняются следующие подготовительные работы:

- формируется группа специалистов (экспертов) проблемной области знаний;

- экспертами формируется перечень критериев – множество $\{i_{\text{проект}}^{\text{показ}}\}$, и устанавливаются оценочные шкалы, по которым будет проводиться оценка;

- экспертами определяются уровни значимости (вес показателя) – множество $\{r_{i_{\text{проект}}^{\text{показ}}}\}$;

- экспертами проводится оценка критериев, на основе информации о технических характеристиках оборудования.

В рассматриваемом проекте предлагается следующий перечень оценочных критериев:

- *надежность сформированной сети* $i_{\text{проект}}^{\text{надеж.сет}}$ – параметр, характеризующий длительность безотказной работы оборудования;

- *производительность сетевого оборудования* $i_{\text{проект}}^{\text{произв}}$ – параметр, характеризующий способность оборудования передать определенный объем информации за заданный интервал времени;

- *функциональные способности* $i_{\text{проект}}^{\text{функционал}}$ – параметр, характеризующий возможности оборудования поддерживать различные службы, сервисы и протоколы;

- *совместимость оборудования* $i_{\text{проект}}^{\text{совмест}}$ – параметр, характеризующий способность заданного оборудования сохранять функциональные возможности при добавлении в сеть нового поколения оборудования того же производителя или других производителей;

- *удобство конфигурирования оборудования* $i_{\text{проект}}^{\text{удобство}}$ – параметр, характеризующий удобство взаимодействия системного администратора с интерфейсом операционной системы в процессе отладки и настройки сетевого устройства.

В рамках рассматриваемого материала, для упрощения восприятия принимается, что все критерии оценки – $i_{\text{проект}}^{\text{надеж.сет}}$, $i_{\text{проект}}^{\text{произв}}$, $i_{\text{проект}}^{\text{функционал}}$, $i_{\text{проект}}^{\text{совмест}}$, $i_{\text{проект}}^{\text{удобство}}$ имеют одинаковые оценочные балльные шкалы в диапазоне от 0 до 10 баллов, оценки могут проставляться в виде целых чисел. Сами оценки обозначаются при помощи букв: $R_{i_{\text{проект}}^{\text{показ}}}^{\text{внедр.пр.}}$ – внедряемый проект, $R_{i_{\text{проект}}^{\text{показ}}}^{\text{баз.пр.}}$ – базовый проект. Более подробно методы формирования оценочных шкал и критериев рассматриваются в работах, посвященных получению интегральных оценок, например в пособии [64]. Для удобства оценки оборудования целесообразно составить таблицу, аналогичную

таблице 4.3, в которой приводится перечень критериев, их уровни значимости, значения оценок, полученных от экспертов, и оценок с учетом уровня значимости. При определении уровня значимости использовался диапазон значений от 0 до некоторого числа, сумма всех уровней значимости равна общему баллу, в рамках работы этот балл равен 100.

Необходимо обратить внимание на то, что в рамках расчетов в качестве оборудования базового проекта предполагается использовать оборудование некоторого производителя, которое несколько надежнее, чем имеющееся, но ввиду возраста обладает более низкой производительностью при практически аналогичной функциональности, более низкой совместимостью и аналогичным удобством использования; балансовая стоимость подобного оборудования оказалась в свое время на 15 % ниже стоимости оборудования, используемого в проекте.

С учетом (4.31) можно определить значение отношения интегральных показателей внедряемого проекта относительно используемого:

$$I_{\text{проект}} = \frac{J_{\text{проект}}^{\text{внедр}}}{J_{\text{проект}}^{\text{базов}}} = \frac{696}{523} = 1,33.$$

Таблица 4.3 – Определение значений оцениваемых параметров оборудования

Наименование критерия	Уровень значимости критерия $r_{\text{показ. проект}}$	Баллы		Баллы с учетом уровня значимости	
		Внедряемый проект $R_{\text{внедр. пр.}}^{\text{показ. проект}}$	Базовый проект, $R_{\text{баз. пр.}}^{\text{показ. проект}}$	Внедряемый проект $r_{\text{показ. проект}} \times \times i_{\text{показ. внедр. проект}}$	Базовый проект $r_{\text{показ. проект}} \times \times i_{\text{показ. базов. проект}}$
1	2	3	4	5	6
Надежность сформированной сети, $i_{\text{проект}}^{\text{надеж. сет}}$	25	6	7	150	175

Окончание таблицы 4.3

1	2	3	4	5	6
Производительность сетевого оборудования, $i_{\text{проект}}^{\text{произв}}$	30	9	4	270	120
Функциональные способности, $i_{\text{проект}}^{\text{функционал}}$	18	7	6	126	108
Совместимость оборудования, $i_{\text{проект}}^{\text{совмест}}$	15	6	4	90	60
Удобство конфигурирования оборудования, $i_{\text{проект}}^{\text{удобство}}$	12	5	5	60	60
Итого: $J_{\text{проект}} = \sum_{i_{\text{проект}}^{\text{показ}}=1}^{i_{\text{проект}}^{\text{показ, макс}}} r_{i_{\text{проект}}^{\text{показ}}} \times$ $\chi R_{\text{внедр. пр.}}^{\text{показ}_{\text{проект}}}$	–	–	–	696	523

Учитывая, что результат больше единицы, можно прийти к выводу, что предлагаемый проект по совокупности обладает лучшими характеристиками для решения поставленной задачи.

Примечание – В других условиях эксплуатации уровни значимости оцениваемых критериев и сам набор критериев оценки могут изменяться и, соответственно, будут изменяться значения интегральных показателей качества.

Завершающим этапом определения целесообразности внедрения является расчет удельных затрат на достижение 1 балла показателя эффективности для внедряемого проекта – $E_{\text{Внедр}}$ и годового экономического эффекта эксплуатируемого (базового) проекта – $E_{\text{Базов}}$, с учетом приведенной балансовой

стоимости оборудования внедряемого $C_{внедр}^{прив}$ и базового проектов – $C_{базов}^{прив}$.

Годовые приведенные затраты величины $C_{внедр}^{прив}$ для внедряемого проекта, с учетом соотношения (3.31), величины балансовой стоимости $C_{баланс}^{внедр} = 48\,702,93$ тыс. руб., текущих годовых затрат $C_{тек.затр}^{внедр} = 5\,587,76$ тыс. руб. при условии эксплуатации в течение 20 лет составят:

$$C_{внедр}^{прив} = C_{тек.затр}^{внедр} + \frac{C_{баланс}^{внедр}}{t_{экспл}} = 48\,702,93 + \frac{5\,587,76}{20} = 8\,022,90 \text{ тыс. руб.}$$

Приведенная стоимость базового проекта определяется при условии, что стоимость заменяемого оборудования на 15 % ниже, чем оборудование известных марок, и учитывая, что кроме коммутационного оборудования другие затраты не учитываются, то для определения $C_{баланс}^{базовый}$ и $C_{тек.затр}^{базовый}$ необходимо соответствующее уменьшение показателей.

С учетом проведенных расчетов

$$C_{баланс}^{базовый} = 0,85 \cdot C_{баланс}^{внедр} = 0,25 \cdot 48\,702,93 = 41\,397,49 \text{ тыс. руб.}$$

Размер затрат на оплату труда персонала будет аналогичен внедряемому проекту $P_{сотр.баз}^{ФОТ.год} = 1\,562,40$ тыс. руб.

Затраты на электроэнергию принимаются аналогичными – $C_{Эл.Эн}^{год} = 1,4$ тыс. руб., амортизация определяется с учетом балансовой стоимости:

$$C_{аморт}^{баз} = 0,1 \cdot C_{баланс}^{базовый} = 0,05 \cdot 41\,397,49 = 2\,069,87 \text{ тыс. руб.}$$

Размер налога на имущество, определяется аналогично с учетом балансовой стоимости:

$$T_{налог.им.}^{баз} = 0,022 \cdot C_{баланс}^{базовый} = 0,022 \cdot 41\,397,49 = 910,74 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на транспорт аналогичны и составят:

$$C_{\text{транспорт}} = 12 \cdot N_{\text{выезд}} \cdot l_{\text{ср}} \cdot C_{\text{эксп. км}}^{\text{авт}} / 1000 = \\ = 12 \cdot 1 \cdot 88,5 \cdot 8,82 / 1000 = 9,37 \text{ тыс. руб.}$$

Прочие затраты определяются из соотношения

$$C_{\text{проч}} = 0,02 \cdot (P_{\text{сопр.}}^{\text{ФОТ.год}} + C_{\text{Эл.Эн}}^{\text{год}} + C_{\text{аморт}} + T_{\text{налог.им.}} + \mathcal{E}_m) = \\ = 0,1 \cdot (1\,562,40 + 1,4 + 2\,069,87 + 910,74 + 9,37) = 455,38 \text{ тыс. руб.}$$

Общие текущие затраты определяются из соотношения:

$$C_{\text{тек.затр}} = P_{\text{сопр.}}^{\text{ФОТ.год}} + C_{\text{Эл.Эн}}^{\text{год}} + C_{\text{аморт}} + T_{\text{налог.им.}} + \mathcal{E}_m + C_{\text{проч}} = \\ = 1\,562,40 + 1,4 + 2\,069,87 + 910,74 + 9,37 + 455,38 = 4\,999,80 \text{ тыс. руб.}$$

Приведенные затраты базового проекта имеют вид:

$$C_{\text{базов}}^{\text{прив}} = C_{\text{тек.затр}}^{\text{базов}} + \frac{C_{\text{баланс}}^{\text{базов}}}{t_{\text{экспл}}} = 4\,999,80 + \frac{41\,397,49}{20} = 7\,069,67 \text{ тыс. руб.}$$

Тогда удельные затраты на достижение 1 балла показателя эффективности, согласно (3.32), для внедряемого проекта составят:

$$E_{\text{Внедр}} = \frac{C_{\text{внедр}}^{\text{прив}}}{J_{\text{проект}}^{\text{внедр}}} = \frac{8\,022,90}{696} = 11,53 \text{ тыс. руб.}$$

Удельные затраты на достижение 1 балла показателя эффективности для базового проекта будут следующими:

$$E_{\text{Базов}} = \frac{C_{\text{базов}}^{\text{прив}}}{J_{\text{проект}}^{\text{базов}}} = \frac{7\,069,67}{523} = 13,52 \text{ тыс. руб.}$$

Обратимся к соотношению (4.36):

$$d = \begin{cases} \alpha, & (I_{\text{проект}} > 1) \wedge (E_{\text{Внедр}} < E_{\text{Базов}}) \\ \beta & (I_{\text{проект}} > 1) \wedge (E_{\text{Внедр}} > E_{\text{Базов}}) \\ \beta & (I_{\text{проект}} < 1) \wedge (E_{\text{Внедр}} < E_{\text{Базов}}) \\ \gamma & (I_{\text{проект}} < 1) \wedge (E_{\text{Внедр}} > E_{\text{Базов}}) \end{cases}.$$

С учетом проведенных расчетов видно, что $I_{\text{проект}}^{\text{внедр}} \approx 1,33$, $E_{\text{внедр}} = 11,53$, $E_{\text{базов}} = 13,52$ следовательно, справедливо высказывание:

$$(I_{\text{проект}} > 1) \wedge (E_{\text{внедр}} < E_{\text{базов}}) = 1 \text{ и } d = \alpha.$$

Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности реализации предложенного проекта.

В заключение необходимо указать, что использование методики получения интегрального показателя качества, описанного при помощи соотношений (4.31)–(4.36), может вызвать ограничения, связанные с тем, что отношения не учитывают фактическое нелинейное взаимное влияние учитываемых критериев на итоговый результат. Поэтому альтернативным вариантом для получения комплексной оценки является использование экспертных систем, основанных на применении систем нечеткого вывода и нечеткой логики. Вопросу формирования подобной системы посвящается следующий раздел настоящего пособия.

5 ОПИСАНИЕ МЕТОДА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ПРОЕКТА РЕКОНСТРУКЦИИ УЧАСТКА ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

В настоящее время системы нечеткого вывода, основанные на использовании положений теории нечетких множеств и нечеткой логики, получили достаточно широкое распространение. Основная задача систем нечеткого вывода – обобщение экспертных знаний об объекте исследования. Описание поведения сложных многокомпонентных систем классическими методами часто бывает затруднительным. Одной из таких областей является формирование рекомендаций по принятию или отклонению инвестиционных проектов, к которым, в частности, относятся и объекты связи – в рамках рассматриваемого пособия это участок транспортной сети.

Реализация подобного проекта решает не только вопросы, связанные с получением прибыли или решения корпоративной задачи, но и позволяет повысить эффективность других процессов, происходящих в регионе реализации проекта. Например, увеличение пропускной способности участка транспортной сети даст возможность реализовать новые проекты по построению подсистем доступа в обслуживаемом регионе (нарастить группировку базовых станций, реализовать сети оптического доступа и т. д.). Реализация подобных проектов, в свою очередь, позволит расширить перечень и/или повысить качество услуг оператора для корпоративных или частных клиентов. Это увеличит эффективность бизнес-процессов региона, что также будет способствовать повышению эффективности решения задач государственного управления. Оценку подобного влияния проекта принято описывать такой характеристикой, как социальная значимость. При этом, как показывает практический опыт, в некоторых случаях оператор проводит реализацию социально значимого проекта даже при условии его низкой или отрицательной рентабельности в "локальном" смысле (в рамках конкретного проекта). Так как в "глобальном" понимании (на федеральном, межрегиональном или международном уровне) подобный проект

может принести оператору значительный положительный эффект за счет повышения лояльности пользователей, решения важных задач для государства и т. д.

Особенностью параметров "социальная значимость", "маркетинговая эффективность" и прочих аналогичных характеристик, позволяющих оценить влияние проекта на деятельность оператора, является их вербальное (словесное, качественное) описание. Кроме того, получение комплексной оценки предусматривает учет таких параметров, как техническая и экономическая эффективность. Обобщение подобных характеристик аналитическими методами затруднительно ввиду наличия у них:

- различных единиц измерения (баллы, финансовые и технические показатели, качественное описание);
- различного уровня влияния на итоговый результат. Степень влияния может зависеть как от значения самого параметра, так и от значения других учитываемых параметров.

С другой стороны, многие специалисты со значительным опытом работы в соответствующей предметной области могут достаточно точно спрогнозировать будущую успешность эксплуатации разрабатываемого проекта. Для улучшения обобщения знаний подобных специалистов разрабатываются экспертные системы. Использование в качестве теоретической основы для реализации экспертной системы методов теории нечетких множеств позволяет обобщить знания экспертов в виде базы правил и функций принадлежности, описывающих значение входных переменных. Алгоритмы обработки подобной формы представления знаний поддерживают программную интерпретацию и могут быть реализованы самостоятельно на языках программирования высокого уровня или с использованием математических пакетов, например, таких как MatLAB, FuzzyTech, SciLab и т. д.

Подробно с описанием основных положений теории нечетких множеств и нечеткой логики можно ознакомиться в работах [19, 52, 67]. В рамках рассматриваемого пособия читателю предлагается необходимый объем знаний для разработки относительно несложных систем нечеткого вывода средствами программы FuzzyTech, демонстрационная версия которой доступна на сайте разработчика по ссылке: <https://www.fuzzytech.com/>.

Возможности демоверсии позволяют создавать системы нечеткого вывода, пригодные для получения комплексных оценок, ограничения заключаются в невозможности сохранения результатов в формате программы. Однако использование табличного процессора (например, MS Excel) даст возможность параллельно создать и сохранить базу правил, а графический редактор MS Paint совместно с использованием клавиши "Print Screen" – сохранить отображения функций принадлежности и графические зависимости результатов взаимодействия входных переменных.

Согласно положениям теории нечеткого вывода некоторую переменную x можно описать набором термов (термножеством) τ_x . Примером термножества является набор термов: "низкий" \sim NB, "скорее низкий" \sim NM, "средний" \sim Z, "скорее высокий" \sim PM, "высокий" \sim PB. Таким образом, τ_x , описывающий переменную x , представляет собой кортеж вида:

$$\tau_x = \langle NB, NM, Z, PM, PB \rangle. \quad (5.1)$$

Каждому терму соответствует определенная функция принадлежности с диапазоном значения от 0 до 1, которая показывает, насколько близко соответствует значение параметра x определенному терму. Значение "1" означает, что значение параметра полностью соответствует определенному терму, а значение "0" – что полностью не соответствует. Внешне функция принадлежности описывается при помощи соотношения вида

$$x^{fuzz} = \mu(x), \quad (5.2)$$

где μ – оператор преобразования входного значения параметра x в нечеткую форму x^{fuzz} .

Если на вход подается информация исключительно в качественной форме, то степень близости состояния объекта к определенному терму определяется экспертом; если информация представлена в численной форме, имеющей балльное или вещественное значение, то для описания переменной используется шкала оценки значений – с. Как показывает обзор работ [52, 62, 63, 67], часто во время обработки качественной информации эксперту предлагается провести балльную оценку состояния

параметра у объекта оценки, а уже после получения балльной оценки определяется принадлежность значения к определенному терму. Визуально описание нечеткой переменной с учетом (5.1) и (5.2) показано на рисунке 5.1. Для описания функций принадлежности используются функции треугольной, трапецеидальной форм, сигмоидальные, колоколообразные, гауссовы. Полный перечень форм функций принадлежности можно найти в работах [19, 52, 67].

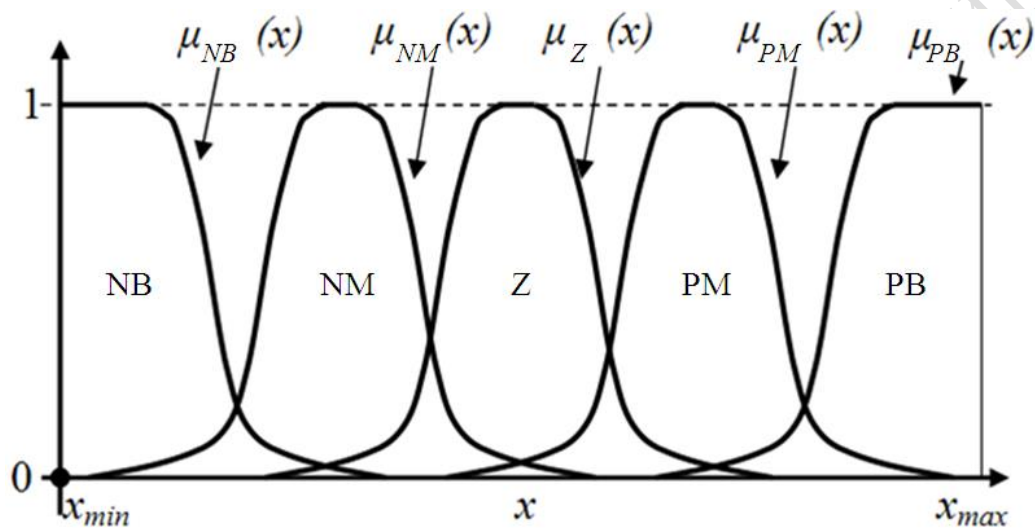


Рисунок 5.1 – Представление нечеткой переменной

В рамках работы используются гауссовы двухсторонние функции принадлежности, задаваемые соотношением:

– если $c_1 < c_2$:

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{(x-c_1)^2}{e^{-2 \cdot a_1^2}}, & x < c_1 \\ 1, & c_1 < x < c_2 \\ \frac{(x-c_2)^2}{e^{-2 \cdot a_1^2}}, & x > c_2; \end{cases} \quad (5.3)$$

– если $c_1 > c_2$:

$$\mu(x) = \begin{cases} e^{-\frac{(x-c_1)^2}{2a_1^2}}, & x < c_2 \\ e^{-\frac{(x-c_1)^2}{2a_1^2}} \cdot e^{-\frac{(x-c_2)^2}{2a_2^2}}, & c_2 < x < c_1 \\ e^{-\frac{(x-c_1)^2}{2a_1^2}}, & x < c_1 \end{cases} \quad (5.4)$$

Изображение функции принадлежности, описываемой соотношением (5.3), показано на рисунке 5.2 а), а соотношением (5.4) – на рисунке 5.2 б).

Первоначально формирование функций принадлежности для определенной системы нечеткого вывода производится экспертами, которые, опираясь на свой опыт, соотносят диапазоны шкалы оценки переменной к принадлежности к определенному терму, после чего возможна аппроксимация эмпирической функции принадлежности к виду, задаваемому аналитически, например, при помощи соотношений (5.3), (5.4) или других соотношений, с которыми можно ознакомиться в работах [19, 52, 67].

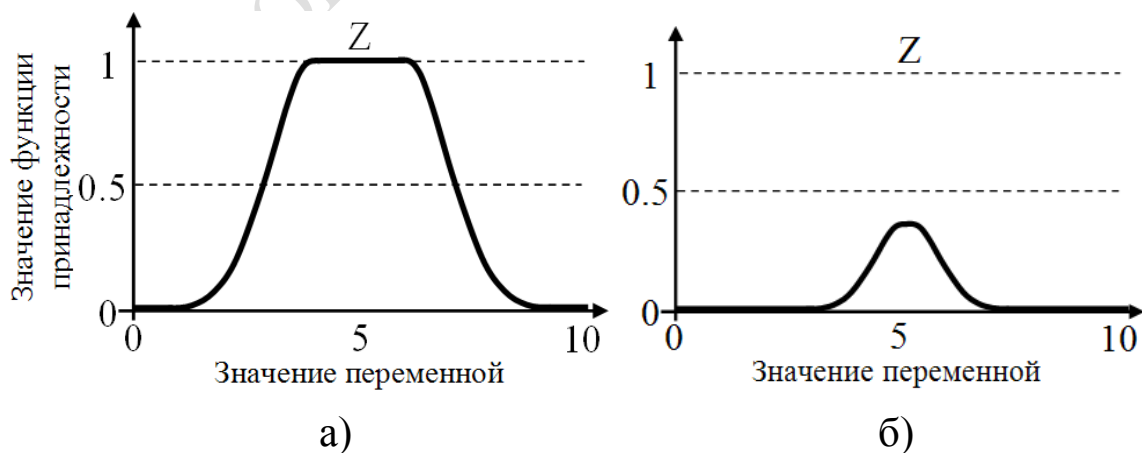


Рисунок 5.2 – График несимметричной гауссовой функции принадлежности

После формирования набора входных и выходных переменных экспертам предлагается сформировать продукционные правила вида:

$$\chi : \text{if } (x_1^{\text{fuzz}} = \tau_k^{x_1}) \wedge (x_2^{\text{fuzz}} = \tau_l^{x_2}) \Rightarrow (y^{\text{fuzz}} = \tau_m^y), \xi_\chi \quad (5.5)$$

где χ – номер правила;

ξ_χ – уровень значимости правила;

$\tau_k^{x_1}, \tau_l^{x_2}, \tau_m^y$ – термы из терм множеств, описывающих, переменные $x_1^{\text{fuzz}}, x_2^{\text{fuzz}}$ и y^{fuzz} , при этом каждому терму соответствует определенная функция принадлежности;

" \wedge " – операция логического "и".

Правило (5.5) с учетом рисунка 5.1 можно записать в виде:

$$\begin{aligned} 1 : \text{if } (x_1^{\text{fuzz}} = NB) \wedge (x_2^{\text{fuzz}} = NB) \Rightarrow (y^{\text{fuzz}} = NB), 1; \\ 2 : \text{if } (x_1^{\text{fuzz}} = NB) \wedge (x_2^{\text{fuzz}} = Z) \Rightarrow (y^{\text{fuzz}} = Z), 1, \dots, \end{aligned} \quad (5.6)$$

что дословно можно интерпретировать следующим образом: если значение переменной x_1^{fuzz} – "низкое" и значение переменной x_2^{fuzz} – "низкое", то значение переменной y^{fuzz} будет "низким".

Иначе: если значение переменной x_1^{fuzz} – "низкое" и значение переменной x_2^{fuzz} – "скорее низкое", то значение переменной y^{fuzz} будет "скорее низкое" и т. д. В рамках пособия предлагается перебирать всевозможные сочетания значений (термов) входных переменных и сопоставлять им значение (терм) выходной переменной. Окончательно базу правил, основанную на правилах вида (5.6), можно представить в виде соотношения

$$\bigcup_{\chi=1}^{\chi_{\max}} ((x_1^{\text{fuzz}} = \tau_k^{x_1}) \wedge (x_2^{\text{fuzz}} = \tau_l^{x_2}) \Rightarrow (y^{\text{fuzz}} = \tau_m^y), \xi_\chi), \quad (5.7)$$

где χ_{\max} – максимальный номер правила в базе знаний.

В работах [19, 52, 67] методы построения баз правил, использующих для обобщения входных переменных другие логические "или", "не" и т. д. В дополнение в работах [62, 63] рассматривают-

ся варианты формирования правил экспертной группой, в которой эксперты могут предлагать противоречивые правила. Подобные вопросы выходят за рамки настоящего пособия и в случае наличия интереса могут быть рассмотрены читателем самостоятельно с использованием указанных материалов.

Далее приводится последовательность операций обработки информации в системе нечеткого вывода, построенной на основании правил вида (5.6) с использованием алгоритма Мамдани (Mamdani):

1) фаззификация – операция преобразования значения входной переменной из четкой формы x^{clear} в нечеткую x^{fuzzy} при помощи использования функции принадлежности, что аналогично (5.2), можно записать в виде

$$x^{fuzzy} = \mu_{\tau}(x^{clear}); \quad (5.8)$$

2) агрегирование подусловий – операция, заключающаяся в выполнении условия правила вида (5.6), математически это означает определение минимального значения входных условий:

$$y^{agr} = \min[x_1^{fuzz}, x_2^{fuzz}]; \quad (5.9)$$

3) активация правила – операция, направленная на определение его степени истинности с использованием уровня значимости ξ_{χ} , аналогично (5.9) используется операция "min":

$$y^{act} = \min[y^{agr}, y^{agr} \cdot \xi_{\chi}]; \quad (5.10)$$

4) аккумулялирование правил – операция, обобщающая отсечения функций принадлежности выходной переменной, полученных с учетом значений правил после активации:

$$y^{fuzz} = \mu_{\tau.1}^{y.fuzz} \cap \dots \cap \mu_{\tau.m}^{y.fuzz} = \mu_T(y_T), \quad (5.11)$$

где $\mu_{\tau.1}^{y.fuzz}, \dots, \mu_{\tau.m}^{y.fuzz}$ – отсечения функции принадлежности термов выходной переменной из активированных правил;

5) дефаззификация – операция для преобразования итоговой фигуры, описывающей выходную нечеткую переменную y^{fuzz} в четкое значение y^{clear} :

$$y^{fuzz} \xrightarrow{centroid} y^{clear}, \quad (5.12)$$

где *centroid* означает использование метода определения центра тяжести фигуры, полученной в процессе формирования итогового нечеткого числа, что можно описать соотношением

$$y^{clear} = \frac{\int_{y_{min}}^{y_{max}} y \cdot \mu_T(y) dy}{\int_{y_{min}}^{y_{max}} \mu_T(y) dy}, \quad (5.13)$$

где y_{min} и y_{max} – начальное и конечное значение фигуры, описывающей нечеткое число y^{fuzz} на оси определения переменной y .

Для упрощения восприятия алгоритма нечеткого вывода, описываемого соотношениями (5.5)–(5.13), предлагается рассмотреть следующий пример. Пусть терм множества переменных описывается набором из трех термов $\langle NB, Z, PM \rangle$. Значения переменных изменяются в диапазоне от 0 до 10 баллов. Сами функции принадлежности показаны на рисунке 5.2. Уровни значимости всех правил в рассматриваемой системе нечеткого вывода одинаковые и равны 1. Пусть в базе правил есть следующие правила:

$$if (x_1^{fuzz} = NB) \wedge (x_2^{fuzz} = NB) \Rightarrow (y^{fuzz} = NB), 1, \quad (5.14)$$

$$if (x_1^{fuzz} = NB) \wedge (x_2^{fuzz} = Z) \Rightarrow (y^{fuzz} = Z), 1. \quad (5.15)$$

Пусть $x_1 = 4$, а $x_2 = 3$, тогда в результате фаззификации, с использованием функций принадлежности, показанных на рисунке 5.2, значения входных переменных будут следующие:

$$x_{1.n1}^{fuzzy} = \mu_{NB}^{x_1}(x_1) = \mu_{NB}^{x_1}(4) = 0,6; \quad (5.16)$$

$$x_{2.n1}^{fuzzy} = \mu_{NB}^{x_2}(x_2) = \mu_{NB}^{x_2}(3) = 0,55; \quad (5.17)$$

$$x_{1.n2}^{fuzzy} = \mu_{NB}^{x_1}(4) = \mu_{NB}^{x_1}(4) = 0,2; \quad (5.18)$$

$$x_{2.n2}^{fuzzy} = \mu_Z^{x_2}(3) = \mu_Z^{x_2}(4) = 0,9; \quad (5.19)$$

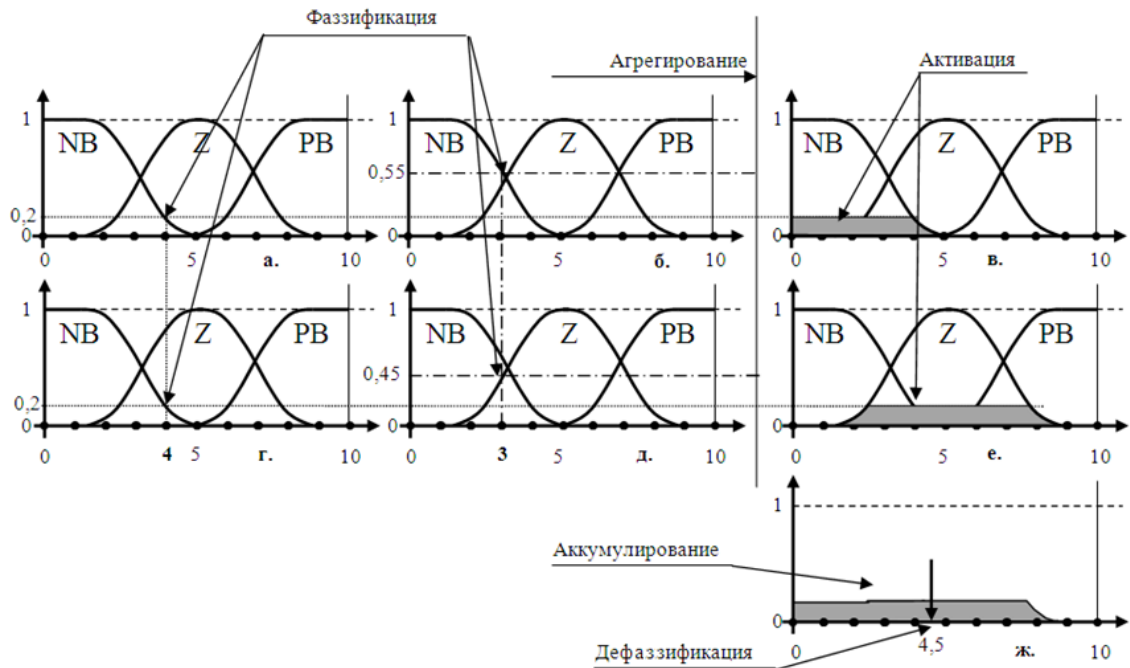


Рисунок 5.3 – Описание работы системы нечеткого вывода на основе алгоритма Мамдани

С учетом (5.6) агрегирование правила (5.5) в соответствии с (5.8) и (5.9) выглядит следующим образом:

$$y_{n.1}^{agr} = \min[x_{1n.1}^{fuzz}, x_{2n.1}^{fuzz}] = \min[0, 2; 0, 55] = 0, 2, \quad (5.20)$$

а агрегирование правила (5.11) с учетом (5.14) и (5.15) примет вид

$$y_{n.2}^{agr} = \min[x_{1n.2}^{fuzz}, x_{2n.2}^{fuzz}] = \min[0, 2; 0, 45] = 0, 2, \quad (5.21)$$

С учетом (5.7), (5.16), (5.17) активация правил (5.10) и (5.11) принимает вид

$$y_{n1}^{act} = \min[y_{n.1}^{agr}; y_{n.1}^{agr} \cdot \xi_{\chi.n1}] = \min[0, 2; 0, 2 \cdot 1] = 0, 2; \quad (5.22)$$

$$y_{n2}^{act} = \min[y_{n.2}^{agr}; y_{n.2}^{agr} \cdot \xi_{\chi.n2}] = \min[0, 2; 0, 2 \cdot 1] = 0, 2; \quad (5.23)$$

После выполнения операций (5.22) и (5.23) для соответствующих функций принадлежности, описывающих выходную переменную, производится "отсечение" частей, находящихся ниже значений выходной нечеткой переменной, полученной при по-

мощи соотношений (5.18) и (5.19), на рисунке 5.3 эти области заштрихованы. Операция аккумуляирования (5.8) заключается в объединении "отсеченных", заштрихованных частей термов, описывающих выходную переменную, и получении "итоговой" фигуры, представленной на нижнем графике рисунка 5.3 – это и есть значение y^{fuzz} . После этого выполняется операция дефаззификации, в случае алгоритма Мамдани для этого используется метод отыскания центра тяжести получившейся фигуры при помощи соотношения (5.9). Применительно к рисунку 5.3 координата центра тяжести по оси абсцисс графика, описывающего выходную переменную, составит около 4,5.

Далее рассматривается реализация системы нечеткого вывода в программном пакете FuzzyTech для нахождения значения оценки эффективности внедрения проекта транспортной сети на основе использования волоконно-оптического кабеля, для получения комплексной оценки проекта сети, обобщающей влияние значений текущих затрат $C_{тек.затр}$, капитальных затрат на реализацию $C_{кап.затр}$, отношение интегральных показателей качества разрабатываемого проекта к базовому проекту – $I_{проект}$. Значения этих переменных определены ранее при помощи соотношений (4.10), (4.30) и (4.31). При желании значения самих интегральных показателей качества $J_{проект}^{базов}$ и $J_{проект}^{внедр}$ можно получить при помощи соответствующей системы нечеткого вывода. Подобную задачу можно поставить перед студентами во время формирования задания на производственную, научную или преддипломную практику.

В рассматриваемом примере переменные $C_{тек.затр}$, $C_{кап.затр}$, $I_{проект}$ являются входными для системы нечеткого вывода, переменная со значением показателя комплексной оценки проекта $\Xi_{проект}$ – выходной. Исходя из этого, модель для получения комплексной оценки проекта предлагается описать соотношением вида

$$\Xi_{проект} = F_{проект} [C_{кап.затр}, C_{тек.затр}, I_{Проект}],$$

где $F_{\text{проект}}$ – оператор, обобщающий переменные $I_{\text{Проект}}$, $C_{\text{кап.затр}}$, $C_{\text{тек.затр}}$. Для реализации оператора $F_{\text{проект}}$ используются методы теории нечетких множеств.

В рамках пособия входные переменные предлагается описать набором термов $\{NB, Z, PB\}$, выходную переменную набором термов – $\{NB, NM, Z, PM, PB\}$, где NB – "низкий", NM – "скорее низкий", Z – "средний", PM – "скорее высокий", PB – "очень высокий". Диапазон оценочных шкал предлагается установить в диапазоне от 0 до 100 баллов. Для описания термов переменных используются гауссовы несимметричные функции принадлежности, внешний вид которых, применительно к разрабатываемой системе нечеткого вывода в программе FuzzyTech, показан на рисунках 5.4 и 5.5.

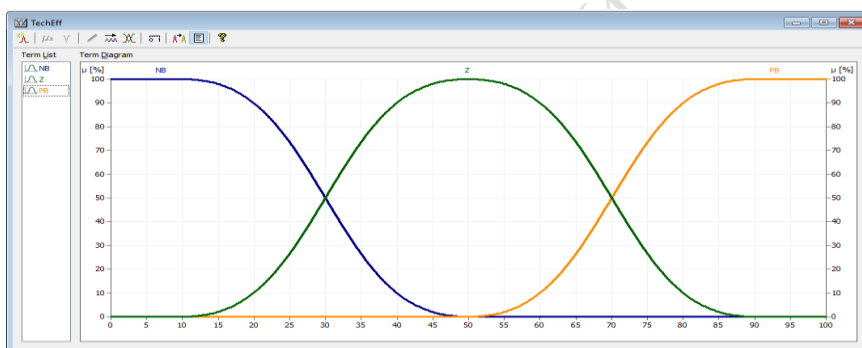


Рисунок 5.4 – Функции принадлежности входных переменных $I_{\text{Проект}}$, $C_{\text{кап.затр}}$, $C_{\text{тек.затр}}$

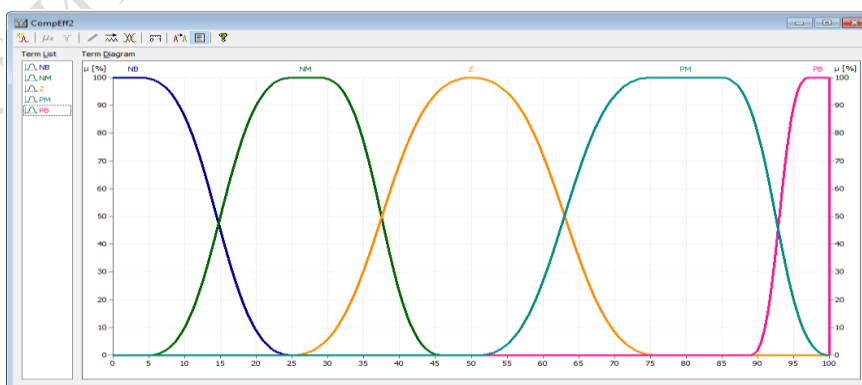


Рисунок 5.5 – Функции принадлежности выходной переменной $\Xi_{\text{проект}}$

Необходимо учесть, что в системе нечеткого вывода будут использоваться относительные оценочные шкалы, а входные переменные имеют абсолютные значения, поэтому для перехода от абсолютных значений к относительным потребуются операторы преобразования:

$$I_{\text{Проект}}^{\text{относит}} = F_{\text{Проект}}^{\text{относит}} [I_{\text{Проект}}],$$

$$C_{\text{кап. затр}}^{\text{относит}} = F_{\text{кап. затр}}^{\text{относит}} [C_{\text{кап. затр}}],$$

$$C_{\text{тек. затр}}^{\text{относит}} = F_{\text{тек. затр}}^{\text{относит}} [C_{\text{тек. затр}}].$$

В этом случае диапазон значений абсолютных шкал может изменяться в зависимости от типа проекта, места его разработки, корректировки затрат на приобретение оборудования и содержание проекта. Оператор преобразования для определения $I_{\text{Проект}}^{\text{относит}}$ показан $I_{\text{Проект}}$ в виде графика на рисунке 5.6.

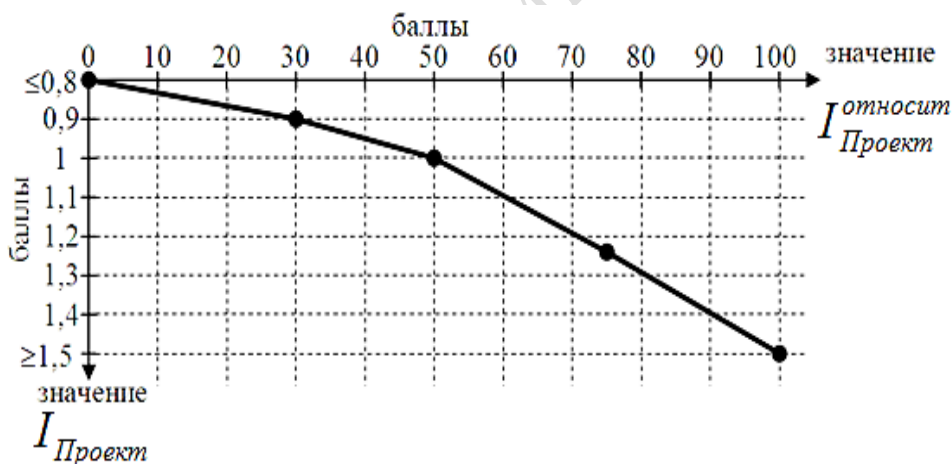


Рисунок 5.6 – Графическая реализация оператора для определения $I_{\text{Проект}}^{\text{относит}}$

Преобразование $C_{\text{кап. затр}}$ в $C_{\text{кап. затр}}^{\text{относит}}$ для заданного класса проектов показано на рисунке 5.7 (под заданным классом проектов понимаются технические решения по строительству участков транспортной сети протяженностью от 100 до 200 км). Для проектов другой протяженности график, показанный на рисунке 5.7, разрабатывается самостоятельно.

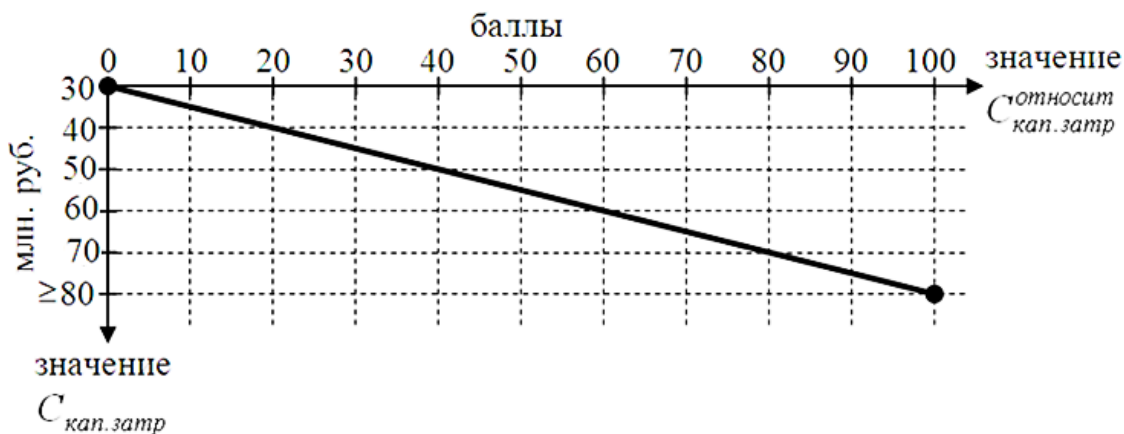


Рисунок 5.7 – Графическая реализация оператора для определения $C_{\text{относит. кап.затр}}$.

Преобразование $C_{\text{тек.затр}}$ в $C_{\text{относит. тек.затр}}$ (оператор преобразования для заданного класса проектов) показано на рисунке 5.8.

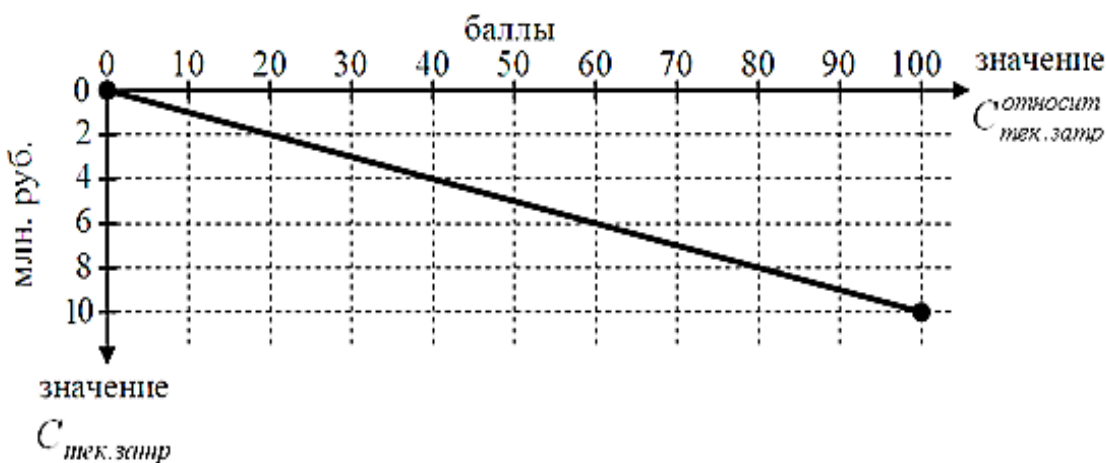


Рисунок 5.8 – Графическая реализация оператора для определения $C_{\text{относит. тек.затр}}$.

На рисунке 5.9 представлена структура системы нечеткого вывода, сформированной средствами редактора программы FuzzyTech.

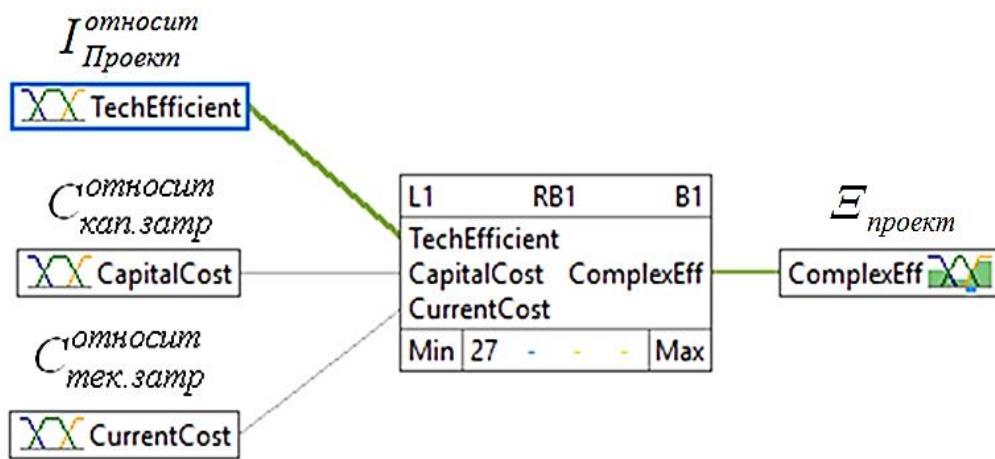


Рисунок 5.9 – Структура системы нечеткого вывода для получения оценки $\Xi_{\text{проект}}$

Формирование правил, на основании которых для обобщения значений входных переменных в виде выходной переменной, производится посредством продукционных правил. Структура продукционного правила аналогична соотношению (5.5), и в данном случае пример правила имеет вид

$$\text{if } (I_{\text{Проект}}^{\text{fuzz}} = Z) \wedge (C_{\text{кап.затр}}^{\text{fuzz}} = PB) \wedge (C_{\text{тек.затр}}^{\text{fuzz}} = PB) \Rightarrow \\ \Rightarrow (\Xi_{\text{проект}}^{\text{fuzz}} = NM), \xi = 1,$$

где $I_{\text{Проект}}^{\text{fuzz}}$, $C_{\text{кап.затр}}^{\text{fuzz}}$ и $C_{\text{тек.затр}}^{\text{fuzz}}$ – величины соответствующих переменных, полученных после преобразования их относительных значений в нечеткие при помощи функций принадлежности, показанных на рисунке 5.4;

$\Xi_{\text{проект}}^{\text{fuzz}}$ – нечеткое значение выходной переменной.

База знаний представлена в виде таблицы 5.1, в которой перечислены все продукционные правила.

После формирования функций принадлежности входных и выходных переменных, создания базы правил можно использовать систему нечеткого вывода. Во время работы системы нечеткого вывода применяются соотношения (5.5)–(5.13). В таблице 5.2 обобщены результаты расчёта экономических показателей внедряемого и базового проекта, а также расчета комплексной эффективности при помощи системы нечеткого вывода. На рисунках 5.10, 5.11 представлены скриншоты рабочего окна

программы FuzzTech, с результатами работы предложенной системы нечеткого вывода для определения комплексной эффективности.

Таблица 5.1 – База знаний для обобщения переменных

$I_{\text{Проект}}^{\text{fuzz}}$, $C_{\text{кап. затр}}^{\text{fuzz}}$ и $C_{\text{тек. затр}}^{\text{fuzz}}$

Номер правила	Техническая эффективность $I_{\text{Проект}}^{\text{fuzz}}$	Капитальные затраты $C_{\text{кап. затр}}^{\text{fuzz}}$	Текущие затраты $C_{\text{тек. затр}}^{\text{fuzz}}$	Комплексная эффективность $E_{\text{проект}}^{\text{fuzz}}$
1	2	3	4	5
1	NB	NB	NB	NB
2	NB	NB	Z	NB
3	NB	NB	PB	NB
4	NB	Z	NB	NB
5	NB	Z	Z	NB
6	NB	Z	PB	NB
7	NB	PB	NB	NB
8	NB	PB	Z	NB
9	NB	PB	PB	NB
10	Z	NB	NB	PM
11	Z	NB	Z	Z
12	Z	NB	PB	Z
13	Z	Z	NB	Z
14	Z	Z	Z	Z
15	Z	Z	PB	Z
16	Z	PB	NB	Z
17	Z	PB	Z	NM
18	Z	PB	PB	NB
19	PB	NB	NB	PB
20	PB	NB	Z	PB
21	PB	NB	PB	PM
22	PB	Z	NB	PB
23	PB	Z	Z	PB
24	PB	Z	PB	PM
25	PB	PB	NB	PM
26	PB	PB	Z	PM
27	PB	PB	PB	Z

Таблица 5.2 – Результаты расчетов показателей эффективности внедряемого и базового проекта

Наименование переменной	Расчетное значение входной переменной	Нормализованное значение входной переменной, балл.
1	2	3
$I_{Проект}$ – техническая эффективность внедряемого проекта относительно базового	1,33	≈ 83
$C_{внедр}^{кап.затр}$ – величина капитальных затрат внедряемого проекта, млн. руб.	58	≈ 48
$C_{внедр}^{тек.затр}$ – величина текущих затрат внедряемого проекта, млн. руб.	5,6	≈ 55
Комплексная эффективность внедряемого проекта	–	≈ 89,098
$I_{Базов/Базов}^1$ – техническая эффективность базового проекта относительно самого себя (ситуация с позиции "если оставить все как есть")	1	50
$C_{базов}^{кап.затр}$ – величина капитальных затрат базового проекта	49,2	≈ 40
$C_{базов}^{тек.затр}$ – величина текущих затрат базового проекта	5	≈ 50
Комплексная эффективность базового проекта относительно самого себя (ситуация с позиции "если оставить все как есть")	–	≈ 50,26

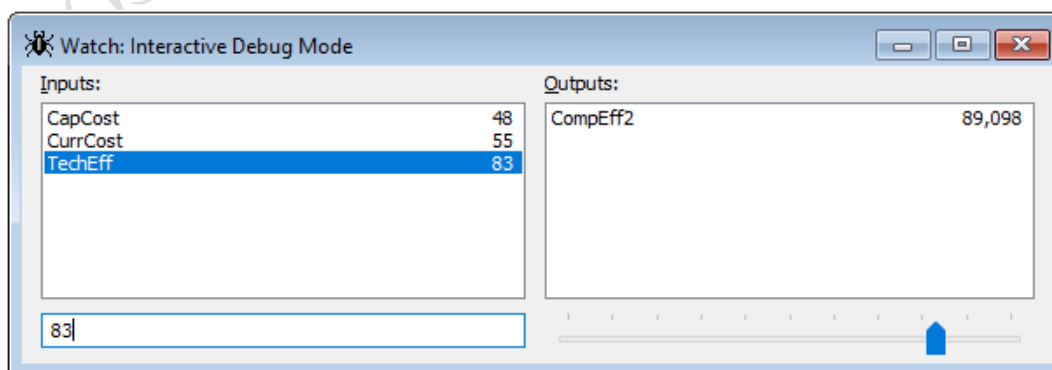


Рисунок 5.10 – Комплексная эффективность внедряемого проекта относительно базового

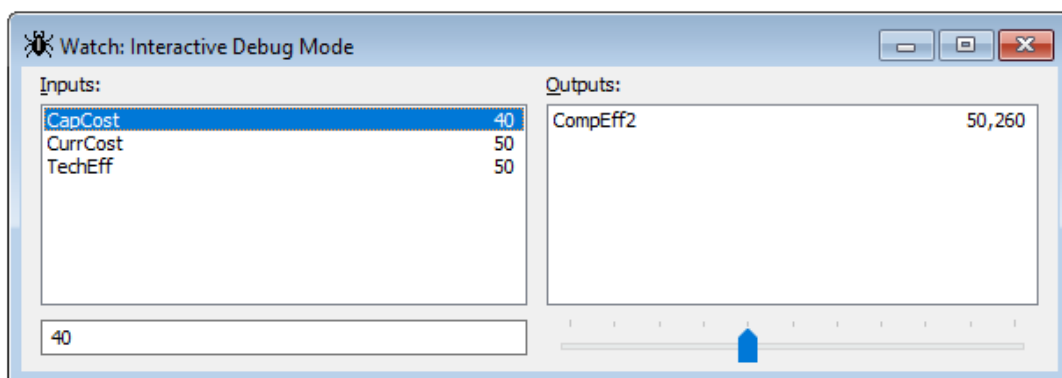


Рисунок 5.11 – Комплексная эффективность базового проекта относительно самого себя

В обобщенном виде демонстрация результатов расчета комплексной эффективности проекта при возможных комбинациях капитальных и текущих затрат при определенных значениях технической эффективности приведена на рисунках 5.12–5.14. На рисунке 5.12 показаны значения комплексной эффективности при значении технической эффективности 30 баллов, на рисунке 5.13 – при значении технической эффективности 50 баллов, на рисунке 5.14 – при значении технической эффективности 90 баллов.

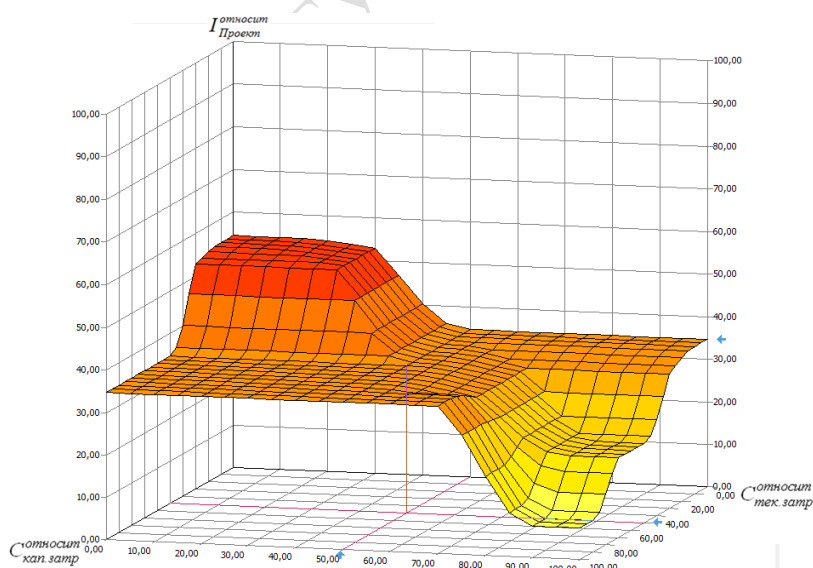


Рисунок 5.12 – Значения комплексной эффективности при значении технической эффективности 30 баллов

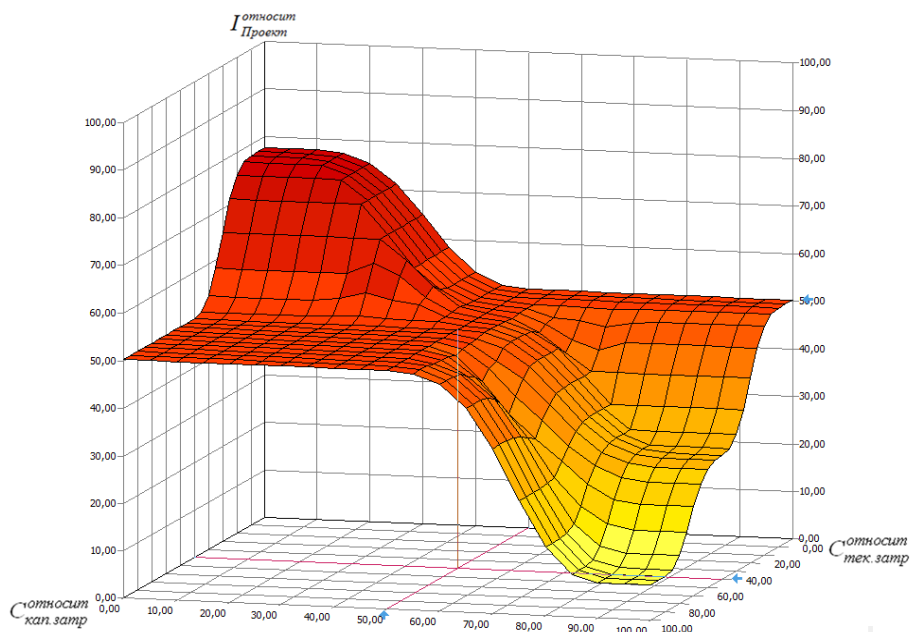


Рисунок 5.13 – Значения комплексной эффективности при значении технической эффективности 50 баллов

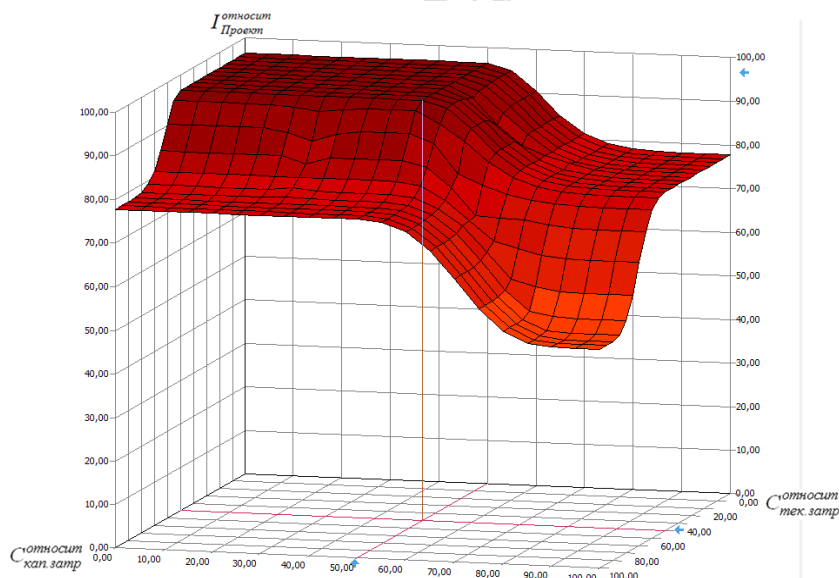


Рисунок 5.14 – Значения комплексной эффективности при значении технической эффективности 90 баллов

Пример формирования системы нечеткого вывода для получения комплексной оценки также рассмотрен в видео-материале, доступном по ссылке на видеохостинге YouTube:

<https://www.youtube.com/watch?v=ADbfw5QZm84>



Необходимо отметить, что результат, получаемый системой нечеткого вывода, зачастую является приблизительным, а в процессе эксплуатации таких систем необходимо поддерживать актуальной базу знаний и области определения функций принадлежности термов входных и выходных переменных, поскольку степень познания об объекте описания может изменяться у экспертов в течение времени по различным внешним причинам.

Данную часть пособия можно развить, сформировав задание на производственную и преддипломную практику студентам и магистрантам, научные интересы которых связаны с разработкой систем поддержки операционных и бизнес-процессов операторов связи (OSS / BSS систем).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе подготовки учебно-методического пособия авторами были затронуты основные моменты, связанные с проектированием участков транспортной сети, которые могут возникнуть у студентов во время выполнения курсового проекта или подготовки выпускной квалификационной работы. В процессе выбора оборудования рекомендуется кроме предложенной номенклатуры анализировать источники, в которых представлена информация о технических решениях, доступных для приобретения на момент подготовки пособия. Примером такого наиболее универсального источника является ресурс shop.nag.ru, на котором можно выбрать не только новые решения, но оборудование, находившееся в употреблении. Использование подобного оборудования иногда позволяет сэкономить часть денежных средств, отпущенных на реализацию проекта.

В зависимости от целей разрабатываемого проекта могут быть интересны источники, в которых более глубоко проработаны специфичные вопросы. В частности, если возникнет задача разработки проекта, связанного с реализацией оптической сети внутри зданий или кампусов, полезно будет ознакомиться с работами [59, 60]. Отдельную позицию занимает вопрос обоснования эффективности эксплуатации систем телекоммуникаций; в данном случае читателю целесообразно обратиться к специфичным работам, например, таким как [4], а также к источникам, посвященным вопросам экономики и анализа инвестиционных проектов [2, 14]. Кроме этого, при выполнении проектов рекомендуется использовать стандарты, в которых регламентируются требования на проектирование и разработку узлов и линий связи, примером такого ГОСТа является источник [6]. Отдельный интерес представляет направление развития систем поддержки принятия решений по инфраструктуре оператора связи, основанных на использовании методов искусственного интеллекта, в частности на применении экспертных систем и методов теории нечеткого вывода. В данном случае целесообразно обратиться к общетеоретическим работам [19, 52, 67].

Завершая работу, нам хочется вспомнить еще одну фразу из бессмертного произведения Л. Кэрролла: *«Когда дорога представляет собой загадку, попробуй шагать наобум. Несись по ветру»*. Чеширский Кот (Алиса в стране чудес).

Желаем вам удачи, До новых встреч!

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Астапенко, В. А. Оптические информационные технологии : учебное пособие / В. А. Астапенко. – М. : МФТИ, 2015. – 184 с.
2. Экономика предприятия (организации) [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. А. Бородай [и др.]. – Нижний Новгород : НОО «Профессиональная наука», 2018. – URL : [http://scipro.ru/conf/ enterpriseeconomy.pdf](http://scipro.ru/conf/enterpriseeconomy.pdf).
3. Основы проектирования цифровых радиорелейных линий связи : учеб. пособие для вузов / М. А. Быховский [и др.] – М. : Горячая линия – Телеком, 2014. – 335 с.
4. Голубицкая, Е. А. Экономика связи / Е. А. Голубицкая. – М. : ИРИАС, 2006. – 488 с.
5. Гольдштейн, Б. С. Сети связи : учебник для ВУЗов / Б. С. Гольдштейн, Н. А. Соколов, Г. Г. Янковский. – СПб. : БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.
6. ГОСТ Р 53363-2009 Цифровые радиорелейные линии. Показатели качества. Методы расчета [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «НАГ». – URL : http://docs.nevacert.ru/files/gost/gost_r_53363-2009.pdf
7. Гроднев, И. И. Линейные сооружения связи : учебник для техникумов / И. И. Гроднев . – М. : Радио и связь, 1987. – 304 с.
8. Гроднев, И. И. Линии связи / И. И. Гроднев, С. М. Верник. – 5-е издание. – М. : Радио и связь, 1988. – 273 с.
9. Ефимов, Е. Н. Инвестиционный анализ проекта информационных технологий в условиях неопределенности / Е. Н. Ефимов // Изв. Юж. федер. ун-та. Технические науки. – 2014. – № 8. – С. 66–74.
10. Ивлев, Я. Уходим под воду [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «НАГ». – URL: <https://nag.Ru/articles/article/27414/uhodim-pod-vodu.html>
11. Коивесто, П. FTТх Принципы построения, технологии и решения для монтажа [Электронный ресурс] / П. Коивесто / Nestor Cables Ltd. 2010 г. – URL : https://issuu.com/nestorcables/docs/fttx_book_rus_no_bleeds
12. Комашинский, В. И. Системы подвижной радиосвязи с пакетной передачей информацией. Основы моделирования / В. И. Комашинский, А. В. Макимов. – М. : Горячая линия-Телеком, 2007. – 176 с.

13. Коммутация каналов на основе метода TDM [Электронный ресурс]. – URL : <https://infopedia.su/17x862c.html>.
14. Коссов, В. В. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. / В. В. Кококов, В. Н. Лившиц, А. Г. Шахназаров. – М. : Экономика, 2000. – 421 с.
15. Крук, Б. И. Телекоммуникационные системы и сети / Том 1. Современные технологии. В. П. Шувалов, В. Н. Попантонолуло. – Горячая линия – Телеком, 2003. – 648 с.
16. Крюков, С. В. Сравнительный анализ подходов к оценке эффективности инновационных проектов / С. В. Крюков // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук – 2010. – № 11. – С. 68–75.
17. Кудрявцев, В. А. Проблемы учета морального износа основного капитала в амортизационной политике / В. А. Кудрявцев, Я. А. Москвин // Вестн. Межрегион. открытого социального института. – 2015. – № 1. – С. 167–170.
18. Кусайкин, Д. Мировой сетевой трафик: настоящее и будущее [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «НАГ». – URL : <https://nag.ru/articles/article/31463/mirovoy-setevoy-trafik-nastoyashee-i-budushee.html>
19. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTech. / А. В. Леоненков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
20. Листвин, В. DWDM-системы / В. Листвин, В. Трещиков. – М. : Техносфера, 2015. – 296 с.
21. Матиевич, А. С. Методология оценки морального износа / А. С. Матиевич // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Экономика и управление. – 2014. – № 2. – С. 75–78.
22. Мендес, А. Справочник по специализированным оптическим волокнам / А. Мендес, Т. Ф. Морзе. – М. : Техносфера, 2012. – 728 с.
23. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. 4-е изд. – СПб. : Питер, 2010. – 944 с.
24. Оптический измеритель мощности [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.jd.ru/product/650166471.html>.

25. Осин, В. Н. Оптический локатор как функция OTDR [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.svpribor.ru/docs/7ea3c134.pdf>.

26. Мультиплексор SDH уровня STM-1/4/16 : 1655AMU [Электронный ресурс] // Официальный сайт группы компаний «Новые Системы». – URL : <http://www.nstel.ru/products/lucent/optical/Imamu> (С. 75).

27. Механическое соединение ВОЛС [Электронный ресурс] // Официальный сайт ЗАО «СИ». – URL : <http://www.zaosi.com/content/204-Механическое-соединение-ВОЛС>.

28. Оптический кабель в трубы и микротрубки. Мультиплексор SDH уровня STM-1/4/16: 1655AMU [Электронный ресурс] // Официальный сайт ЗАО «Самарская оптическая кабельная компания». – URL : <http://soccom.ru/katalog/opticheskiy-kabel-v-trubi>

29. Строительство ВОЛС через водные препятствия. Метод прокладки по дну [Электронный ресурс] // Официальный сайт ЗАО «СИ». – URL : <http://www.zaosi.com/blog/строительство-волс-чз-водные-препятс>

30. Способы соединения оптических волокон [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании «ОПТОКОН a.s.». – URL : <http://optokon.ua/arts/soedineniya-opticheskikh-volokon>.

31. Оптические гигабитные мультиплексоры ГМ-1Gx [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании «Zelax». – URL : <https://www.zelax.ru/products/multiplexers/optical-gigabit-multiplexer-gm-1gx>.

32. Радиорелейные станции Siklu. EtherHaul-1200 (EH-1200) [Электронный ресурс] // Официальный сайт Компания Winncom Technologies. – URL : <http://winncom.ru/products/siklu-etherhaul-1200>.

33. «Связь Комплект» ILSINTECH K11 – аппарат для сварки оптических волокон [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «Каталог Сервис». – URL : <https://skomplekt.com/tovar/1/1/9999923178>.

34. Оптические рефлектометры [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «Каталог Сервис», «Связь Комплект». – URL : <http://www.skomplekt.com/sol/reflekt.htm>.

35. «Связь Комплект» Связьприбор Гамма Люкс М0 – оптический рефлектометр с оптическим модулем М0 Оптические рефлек-

тометры [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «Каталог Сервис» – URL : <https://skomplekt.com/tovar/1/1/150301556/>

36. Описание радиорелейных станций Pasolink NEO [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «Центр Поставка». – URL : <http://www.centр-postavka.ru/NEC/Pasolink%20MX.pdf>.

37. Общие характеристики оптических кабелей [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «Интегра Кабель». – URL : <http://www.intg.ru/useful/obsh/>

38. Кусайкин, Д. Старение оптического волокна и деградация ВОЛС, часть 2 [Электронный ресурс] / Д. Кусайкин // Официальный сайт ООО «НАГ». – URL : <https://nag.ru/articles/article/29993/ctarenie-opticheskogo-voлокна-i-degradatsiya-vols-chast-2.html>.

39. DWDM — технология уплотнения оптических каналов [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «НАГ». – URL : https://shop.nag.ru/catalog/article/id/19/catalog_id/71

40. SFP одно волоконные модули [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «НАГ». – URL : <https://shop.nag.ru/catalog/02086.Moduli-SFP/06896.WDM-odnovolokonnye/03640.SNR-SFP-W71-120> (Дата обращения: 12.02.2019).

41. Медиаконвертер (транспондер) 8-канальный 3R SFP+ 0GE 1U [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «НАГ». – URL : <https://shop.nag.ru/catalog/01897.Mediakonvertery/02400.10G/13320.T501053001>.

42. Медиаконвертер 10GbE SFP+ / SFP+ [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «НАГ». – URL : <https://shop.nag.ru/catalog/01897.Mediakonvertery/02400.10G/08485/SNR-CFP>.

43. Модуль SFP оптический, дальность до 100 км (28dB) 1550 нм [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «НАГ». – URL : <https://shop.nag.ru/catalog/02086.Moduli-SFP/06897.Dvuhvolokonnye/02633.SNR-SFP-LX-100>.

44. Модуль SFP+ WDM, дальность до 40 км (16dB), 1270 нм [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «НАГ». – URL : <https://shop.nag.ru/catalog/01891.Moduli-SFP/06900.WDM-odnovolokonnye/05677.SNR-SFPW73-40>.

45. Оптический бюджет (энергетический потенциал) [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «НАГ». – URL : https://shop.nag.ru/article/optical_budget.

46. Муфта МОГ-У-34-1К4845 (3 + 4 ввода) [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «ОптКом». – URL : <http://www.optcom.ru/catalog/MUFT/gorodskie-tipa-mog-s-mog-u-mog-t/130101-00019.html>.

47. ЦРРС Y-packet 6...38 [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «Русская телефонная компания». – URL : <https://www.rus-telcom.ru/product/crrs-y-packet638/#desc>

48. Укладка волокна в асфальт – новая техника строительства ВОЛС [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «Файбер Оптик Пассив Системс». – URL : <http://www.fopc.ru/content/view/100/122/>.

49. Соединение оптических волокон – сварка и механический сплайс [Электронный ресурс] // Официальный сайт проекта «СКС (структурированная кабельная система)». – URL : <http://оскс.ru/?p=3612>.

50. Технология DWDM простыми словами: Зачем она нужна, если есть CWDM? [Электронный ресурс] // Официальный сайт проекта Оптические модули «MLaxLink». – URL : <http://mlaxlink.ru/info/dwdm>

51. ПРОДУКЦИЯ [Электронный ресурс]. // Официальный сайт ООО «Саранскабель-Оптика». – URL : <http://www.sarko.ru/production.html>.

52. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат. – Бино. Лаборатория знаний, 2017. – 800 с.

53. Портнов, Э. Л. Оптические кабели связи, их монтаж и измерение / Э. Л. Портнов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2017. – 448 с.

54. Расшифровка маркировки оптоволоконных кабелей с первыми буквами ОКЛ, ОКЛСт, ОКЛК, ОКЛЖ, ОКЛм [Электронный ресурс] // Производитель Самарская Оптическая Кабельная Компания (СОКК). – URL : <http://izmer-ls.ru/sok.html>.

55. Родина, О. Волоконно-оптические линии связи : практическое руководство / О. Родина. – М. : Горячая линия – Телеком, 2014. – 400 с.

56. Все о технологиях связи и решениях. Дальность работы SFP модулей: расчеты и значения [Электронный ресурс] // Сайт «Шестая линия». – URL: <http://www.linesix.ru/sfp/sfp-distance-transmission.php> (Дата обращения: 11.01.2019).

57. Семейкин, В. Д. Волоконно-оптические линии связи : учебное пособие / В. Д. Семейкин. – Астрахань : АГТУ, 2004. – 184 с.
58. Семейкин, В. Д. Линии связи : учебное пособие / В. Д. Семейкин. – Астрахань : АГТУ, 2002. – 144 с.
59. Семёнов, А. Волоконно-оптические системы современных СКС / А. Семёнов. – М. : ДМК Пресс, 2017. – 632 с.
60. Семенов, А. Б. Проектирование и расчет структурированных кабельных систем и их компонентов / А. Б. Семенов. – М. : ДМК Пресс; Компания АйТи, 2010. – 416 с.
61. Сорокин, А. А. Методика обработки информации для определения относительного уровня морального износа оборудования оператора связи / А. А. Сорокин // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2018. – № 1. – С. 90–102.
62. Сорокин, А. А. Оценка социальной значимости проектов структурных элементов сетей операторов связи / А. А. Сорокин // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия. Экономика. Информатика. – 2018. – Т. 45. – № 4. – С. 752–763.
63. Сорокин, А. А. Формирование баз знаний в условиях противоречивости мнений экспертов / А. А. Сорокин // Проблемы передачи информации в инфокоммуникационных системах : сборник докладов и тезисов IX Всероссийской научно-практической конференции / под ред.: Е. С. Семенова. – 2018. – С. 150–154.
64. Сорокин, А. А. Проектирование сети передачи данных для крупной организации : учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию для направления подготовки бакалавров 11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи / А. А. Сорокин, В. В. Никулин, А. И. Волкова. – Саранск : Издатель Афанасьев В. С., 2019. – 148 с.
65. Цифровая радиорелейная система PASOLINK NEO [Электронный ресурс]. – URL : <https://docplayer.ru/29122699-Cifrovaya-radioreleynaya-sistema-pasolink-neo.html>.

66. Цуканов, В. Волоконно-оптическая техника : практическое руководство / В. Цуканов, М. Яковлев. – Вологда : Инфра – Инженерия, 2014. – 304 с.

67. Штовба, С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

68. Chart3 worldwide smartphone forecast 2018q1 [Electronic Resource]. – URL: <https://cuffelinks.com.au/trends-internet-technology-devices/chart3-worldwide-smartphone-forecast-2018q1/>.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИННА

Учебное издание

Демиденко Олег Михайлович,
Сорокин Александр Александрович,
Воруев Андрей Валерьевич [и др.]

**Основы проектирования участков
транспортной сети операторов связи**

Учебно-методическое пособие

Редактор В. И. Шкредова
Корректор В. В. Калугина

Подписано в печать 08.04.2020. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Ризография. Усл. печ. л. 9,53.
Уч.-изд. л. 10,42. Тираж 100 экз. (1-й з-д – 1–30). Заказ 192.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017.
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.
Ул. Советская, 104, 246019, Гомель.