

Практическая работа № 6

РАСЧЕТ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ СВЯЗИ xPON

Цель работы: организовать магистральный участок пассивной оптической сети для заданной группы абонентов с выбором типа сети, ее топологии и необходимого оборудования.

Краткие сведения из теории

Потребность развития инфраструктуры широкополосного доступа на основе экономичных оптических технологий, использующих принцип «волоконно в квартиру» или «волоконно в офис» (FTTH – Fiber To The Home) указывает на необходимость внедрения технологии пассивных оптических сетей (xPON – Passive Optical Network), применение которой позволяет решить эти проблемы.

Данная технология предусматривает построение сети доступа с большой пропускной способностью при минимальных капитальных затратах. Такое решение предполагает создание разветвленной сети без активных компонентов – на пассивных оптических разветвителях.

Информация для всех пользователей передается одновременно с временным разделением каналов от оптического линейного терминала (OLT – Optical Line Terminal) до оконечных оптических сетевых блоков (ONT – Optical Network Terminal или ONU – Optical Network Unit), расположенных у самого абонента.

Передача и прием в обоих направлениях производится, как правило, по одному оптоволокну (ОВ), но на разных длинах волн.

Оптическая мощность с выхода OLT в узлах сети делится (равномерно или неравномерно) таким образом, чтобы уровень сигнала на входе всех ONT/ONU был примерно одинаков.

В случае, когда одна из длин волн (чаще всего 1550 нм) выделяется всем абонентам для передачи телевизионного сигнала, в узле связи устанавливается оптический мультиплексор WDM (Wavelength-Division Multiplexing) для объединения передаваемых сигналов на длинах волн 1490 нм (голос, данные) и 1550 нм (видео). В обратном направлении сигнал (голос, данные) передается на длине волны 1310 нм.

Пассивные оптические сети подразделяются на следующие типы:

- BPON – широкополосная PON;
- GPON – Gigabit PON;
- EPON – Ethernet PON.

Сеть по технологии xPON состоит из трех основных участков (рисунок 1):

– станционный участок – это активное оборудование OLT, WDM мультиплексор и оптический кросс высокой плотности (ODF – Optical Distribution Frame), смонтированные на узле связи;

– линейный участок – это совокупность волоконно-оптических кабелей (ВОК), шкафы, коробки, сплиттеры, коннекторы и соединители, располагающиеся между станционным и абонентским участком (участок между ODF и оптической распределительной коробкой (ОРК) (см. рисунок 1);

– абонентский участок – это персональная абонентская разводка одноволоконным ВОК (реже двухволоконным или четырехволоконным) от элементов общих распределительных устройств до оптической розетки и активного оборудования ONT в квартире абонента; или до группового сетевого узла ONU, смонтированного в офисе корпоративного клиента (участок между ОРК–ONT (см. рисунок 1).

В случае, когда ОРК и/или ответвитель этажный (ОЭ) не используются (например, для одноэтажного здания, когда используется только ОРШ), линейный и абонентский участки ограничиваются ODF–ОРШ и ОРШ–ONT соответственно.

Станционный участок. OLT располагается в помещении узла связи, район обслуживания которого определяет зону охвата сетью xPON. Активное станционное оборудование xPON, в качестве которого выступает OLT, связывает оконечное оборудование абонентов с сетью Интернет и другими источниками услуг по передаче голоса, данных и видео.

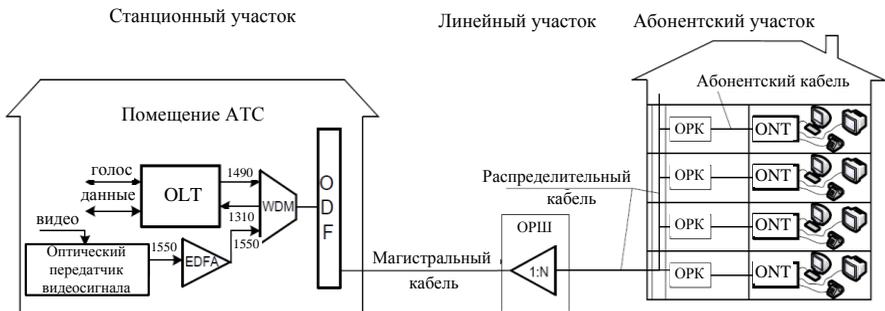


Рисунок 1 – Схема пассивной оптической сети

Линейные порты xPON оборудования OLT подключаются к ODF с помощью оптических шнуров (патч-кордов) или оконцованных микрокабелей (предтерминированных производителями заказных наборов ВОК).

Оптический кросс предназначен для распределения ВОК по направлениям, перекрестировки (коммутации) и соединения со станционным ВОК через сплайс-пластины (кассеты и боксы для сварных соединений).

В случае использования на xPON двухкаскадной схемы размещения

сплиттеров первый каскад с малым коэффициентом ветвления (1:2, 1:4) следует устанавливать непосредственно в ODF.

Оптический кросс должен располагаться в том же помещении узла связи (автозал, цех, кросс), где и размещается стойка с OLT.

Линейный участок. Линейный участок, для строительства которого требуется произвести разнообразные трудоемкие строительные-монтажные работы для установки большого количества пассивного оборудования, требует наиболее внимательного подхода для оптимального его построения. Линейный участок определяет итоговую топологию xPON.

В сети xPON от ОРШ до окончательных устройств абонентов (ONT, ONU) связь осуществляется через пассивные оптические разветвители (сплиттеры), которые устанавливаются в ОРК и/или ОРШ.

На сети может быть использована как одноуровневая (однокаскадная) схема включения сплиттеров без последовательного их включения друг за другом (рисунок 2), так и многокаскадная схема с последовательным их размещением (рисунок 3). Количество уровней каскадирования сети зависит от суммарного вносимого затухания сплиттеров, коэффициента ветвления xPON интерфейсов OLT (у GPON это 1:64) и требований к полосе пропускания для каждого абонента. Чем меньше количество уровней каскадирования сплиттеров, тем проще сеть абонентского доступа и, соответственно, больше возможностей быстрого устранения неисправностей, повышения качества связи за счет исключения возможных переходных искажений на многоступенчатой передаче сигналов.

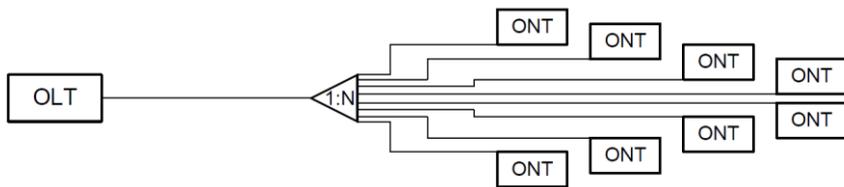


Рисунок 2 – Одноуровневая схема включения сплиттеров

Использование в архитектуре сети многокаскадной схемы с последовательным размещением позволяет более гибко расположить распределительные устройства и ВОК, т. е. оптимально построить сеть xPON.

Линейный участок состоит:

- из магистрального участка – это ВОК, прокладываемый в каналах кабельной канализации или в грунте от кросса ODF в узле связи в направлении территории с большой группой зданий (район, квартал) и завершающийся ОРШ;

- распределительного участка – это ВОК, прокладываемый от ОРШ до ОРК преимущественно внутри зданий по вертикальным стойкам.

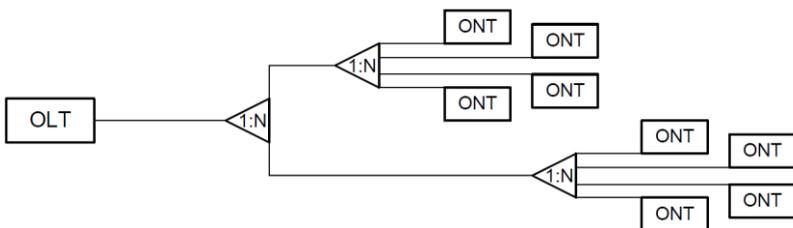


Рисунок 3 – Многоуровневая схема включения сплиттеров

Магистральный участок сети xPON является одним из основных элементов всей пассивной оптической сети. Правильный выбор системы построения сети и ее топологии, определение условий и принципов организации доступа позволяют оптимизировать затраты на развитие сети в дальнейшем.

На участке сети xPON от узла связи до ОРШ, находящегося в зоне его обслуживания, производится магистральное распределение ОВ.

Оптический распределительный шкаф входит в состав магистрального участка сети xPON. В ОРШ централизованно размещаются группы сплиттеров, разветвляющие одно магистральное ОВ на 16 или 32 ОВ распределительного кабеля (для ВРОН, ЕРОН), реже – на 64 (для GРОН).

Главная функция ОРШ – это переход от длинного магистрального участка к короткому распределительному участку со сменой типов ВОК и одновременным значительным увеличением емкости ОВ, доступного к подключению абонентов. В ОРШ также производится коммутация ОВ, их оптимизация, измерения магистрали до узла связи и диагностика абонентских подключений. ОРШ монтируется внутри здания или на улице (при обслуживании группы зданий).

Главная задача магистрального участка – подвести требуемое количество оптических волокон максимально близко к сконцентрированной группе абонентов наиболее оптимальным образом с учетом топологии и емкости кабельной канализации.

В зависимости от удаленности подключаемых к магистрали зданий, количества потенциальных абонентов в них, характера постройки (высотные или малоэтажные), особенностей городской застройки (жилые кварталы, исторический центр, офисы, промзона) и возможностей по прокладке ВОК по территории и размещению оборудования непосредственно в этих зданиях, различают два вида магистрального участка:

- зона прямого питания;
- шкафной район.

Зона прямого питания – это территория вокруг узла связи в радиусе до двух километров с плотной высотной застройкой (например, спальный рай-

он с узлом связи в центре), где развита инфраструктура телефонной канализации и нет острого дефицита в свободных кабельных каналах от узла связи и между домами.

Для прокладки в зоне прямого питания должен использоваться ВОК высокой и средней емкости (32, 48 или 64 ОВ), имеющий модульную структуру. Модульный кабель позволяет подключить к одной магистрали несколько рядом стоящих зданий с помощью последовательности муфт с ответвлением по одному модулю на здание без разрезания транзитных модулей. Такой способ прокладки позволяет значительно оптимизировать как оптический бюджет линии, так и общую стоимость сварочных работ, перекрывая по эффективности составные ВОК с последовательным уменьшением емкости от муфты к муфте. Количество оптических волокон в одном модуле может быть: 4, 6, 8, 10, 12 или 16.

Количество волокон в одном модуле и общее количество волокон в кабеле выбираются с таким расчетом, чтобы в кабеле оказалось целое количество модулей и ни одно волокно не осталось в модуль не включенным.

Общий принцип вычисления количества требуемых ОВ на одно здание – по два ОВ на каждые 32 (BPON, GPON) или 64 (EPON) квартиры (одно ОВ в нагрузку, второе – в резерве). Наличие в жилом доме офисного помещения с отдельным входом должно приниматься за одну квартиру. Однако общее количество ОВ, проектируемое на каждое конкретное здание, должно рассчитываться с учетом планируемого процента абонентов, подключенных по технологии xPON от общего количества абонентов. Общий принцип расчета требуемых ОВ приведен для случая использования разветвителей сети xPON с максимальным делением на 32.

Шкафной район – это территория не плотной и/или не высотной застройки (район индивидуальной застройки), расположенная от узла связи на расстоянии от двух и более километров, где имеется острый дефицит в свободных кабельных каналах на значительных дистанциях.

Для прокладки от узла связи до группы шкафов должен использоваться ВОК средней или малой емкости (16, 24, 32 или 48 ОВ), имеющий модульную структуру. Аналогично зоне прямого питания кабель на 48 ОВ, состоящий из четырех модулей по 12 ОВ, позволяет подключить к одной магистрали четыре последовательно расположенных уличных ОРШ с помощью муфт с ответвлением одного модуля на шкаф без разрезания транзитных модулей.

С учетом типоразмеров ВОК, наиболее целесообразная емкость ОРШ находится в пределах до 580 абонентских подключений. При этом следует учитывать сложность монтажа, габариты и трудоемкость обслуживания шкафов большой емкости. При емкости ОРШ в 480 абонентов к нему следует подводить 24 ОВ (16 ОВ в нагрузку плюс 8 ОВ в резерве). При этом следует использовать типовой шкаф одной емкости в пределах всей сети xPON.

Общее количество ОВ для подключения абонентов данного района должно рассчитываться с учетом планируемого процента абонентов сети xPON от общего количества абонентов.

Распределительный участок сети xPON – это участок от ОРШ или подъездных ОРК до этажных распределительных элементов сети в многоэтажных жилых зданиях. Распределительный ВОК выходит из ОРШ и прокладывается внутри зданий по вертикальным стоякам или в металлорукаве (поливинилхлоридной трубе) по лестничным клеткам, от подвального до чердачного помещения через все этажи здания (направление выбирается по месту).

Ответитель этажный (ОЭ) предназначен для ответвления из межэтажного ВОК волокон, обслуживающих этаж, фиксации межэтажного ВОК и транспортных трубок, защиты места ответвления. ОЭ используется совместно с межэтажными ВОК с сердечником свободного доступа.

Оптическая распределительная коробка используется для подключения квартиры абонента к вертикальному распределительному участку здания на этаже с применением оптических разъемов. Как правило, ОРК разных производителей имеют емкость от 6 до 12 абонентских подключений. Применение ОРК меньшей емкости приводит к значительному удорожанию проекта в целом, увеличивая их общее количество и стоимость монтажа. Применение ОРК большей емкости не целесообразно в силу сложившейся практики жилой застройки – более 12 квартир на этаж в многоквартирных жилых домах не встречается.

При проектировании распределительного участка любого здания с применением ОРК следует придерживаться следующего правила: одна коробка на каждый этаж.

В распределительный участок входят:

- участок сети от уличного ОРШ до кабельного ввода в жилой дом;
- распределительные устройства непосредственно в жилом доме.

Основным способом поэтажных горизонтальных ответвлений от межэтажного вертикального ВОК является классическая схема с ОРК, размещаемых на каждом этаже.

При проектировании распределительного участка в доме следует предусматривать емкость вертикального ВОК с учетом 100%-ного подключения абонентов. Следует использовать ВОК емкостью, наиболее близкой к количеству квартир в подъезде с учетом возможного запаса ОВ. На каждом этаже должно быть предусмотрено необходимое количество ответвлений, достаточное для подключения всех квартир на этаже. Запрещается использование составного вертикального ВОК с участками разной емкости.

Подключение ВОК вертикального распределительного участка в здании производится через патч-панель к разъемам сплиттеров в ОРШ или подъездной ОРК независимо от места его расположения без промежуточных

муфт и переходов на другой тип ВОК.

При проектировании и строительстве вертикального распределительного участка в здании возможно использовать как сварное, так и механическое соединение волокон ОВ.

Абонентский участок, или абонентская разводка, – это участок сети от этажной ОРК до помещения абонента, включая оптическую розетку. В абонентский участок также входит активное оборудование на стороне абонента (ONT, ONU), которое является неотъемлемым элементом технологии xPON и находится под управлением оператора.

Граница ответственности оператора (точка демаркации) проходит по внутренним выходным интерфейсам устройства, либо по системе управления устройства (в случае, если устройство поддерживает функции раздельного доступа к пользовательским и операторским настройкам). Абонент не должен иметь возможности применения произвольно выбранного ONT или ONU.

Оптическая абонентская розетка (ОРА) предназначена для установки в квартире абонента. Конструкция ОРА предусматривает возможность выкладки запаса ОВ.

Для подключения к сети xPON (ONT/ONU) телефонов может использоваться витая пара категории 3, для подключения компьютеров – витая пара категории 5, для подключения телевизоров – коаксиальный кабель.

Топология xPON. При построении пассивных оптических сетей могут использоваться следующие топологии.

Топология «звезда» (рисунок 4) применяется при плотном расположении абонентов в районе узла связи. Данная топология характеризуется минимальным количеством оптических разветвителей и единственным местом их установки. Достоинства данной топологии: удобство в обслуживании, проведении эксплуатационных измерений и обнаружении места повреждения линии.

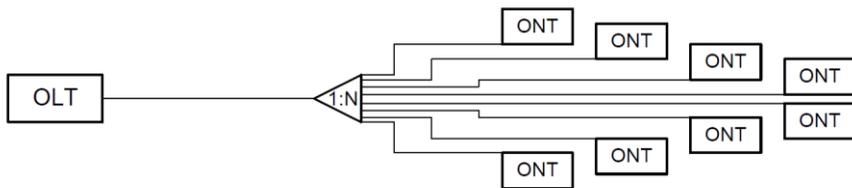


Рисунок 4 – Топология «звезда»

Топология «шина» представлена на рисунке 5. Она применяется при расположении абонентов вдоль оптической магистрали. Особенность топологии в большой разности выходных мощностей оптических разветвителей. «Шина» требует подробного расчета уровня оптического сигнала для под-

бора соответствующих неравномерных разветвителей (с неравномерным разделением мощности по отводам) таким образом, чтобы входная оптическая мощность на каждом оптическом приемнике соответствовала его чувствительности (диапазону входной мощности) оборудования. Топология рекомендована для применения при линейном расположении пользователей вдоль магистрали и только при небольшом количестве каскадов.

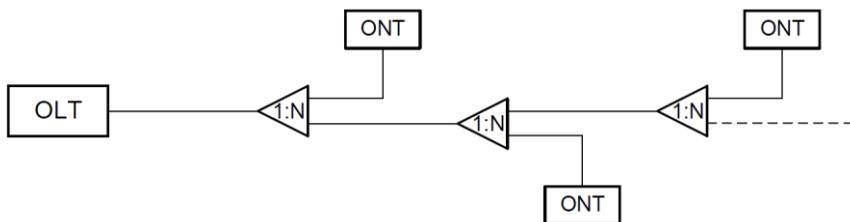


Рисунок 5 – Топология «шина»

Топология «дерево» (рисунок 6) применяется при разнесенном расположении абонентов. Оптимальное распределение мощности между различными ветвями решается подбором коэффициентов деления оптических разветвителей. Древообразная топология гибкая с точки зрения потенциального развития и расширения абонентской базы.

Каждая топология имеет свои достоинства и недостатки с точки зрения экономики ОВ, удобства тестирования, эксплуатации, обслуживания и возможности развития сети. Характеристики всех трех топологий приведены в таблице 1.

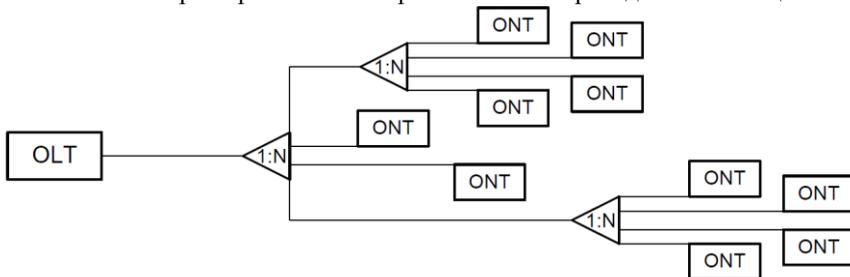


Рисунок 6 – Топология «дерево»

Таблица 1 – Характеристики топологий пассивных оптических сетей

Характеристики топологий	Виды топологий		
	«звезда»	«шина»	«дерево»
Экономия ОВ	Низкая	Высокая	Высокая
Тестирование и обслуживание	Диагностика из центра. Простая и точная локализация событий	Сложное диагностирование событий	Сложное диагностирование событий
География рас-	Большой разброс/	Вдоль транспорт-	Кластеры/ произ-

положения абонентов	произвольное расположение	ных магистралей	вольное расположение
Возможности развития	Максимальное использование свободных портов	Ограничены вдоль магистрали	Необходим правильный расчет разветвителей
Уровень принимаемого сигнала	Почти одинаковый	Разный при однотипных разветвителях	Необходим точный расчет для выравнивания
Прочие достоинства/недостатки	Массовое подключение в районах с плотным размещением абонентов	Избыточные потери разветвителей при большом числе каскадов	Наибольшая гибкость при подключении всех желающих

Оптические разветвители (сплиттеры) обеспечивают деление оптического сигнала и подразделяются:

- по числу входных и выходных портов – $1 \times N$ (один вход и несколько выходов); $2 \times N$ (двухвходные разветвители); N лежит в диапазоне от 2 до 64;
- коэффициенту деления оптической мощности: равномерное (например, делитель на четыре имеет по 25 % мощности на каждом отводе); неравномерное (для неравномерных разветвителей шаг коэффициента деления (разницы в выходной мощности) обычно составляет 5 %);
- рабочей длине волны – однооконные ($\lambda = 1310$ или 1550 нм); двухоконные ($\lambda = 1310$ и 1550 нм); трехоконные ($\lambda = 1310, 1490, 1550$ нм); широкополосные ($\lambda = 1310 \dots 1620$ нм);
- классу качества: А и Б;
- технологии производства.

Разъемные соединения. На всем сегменте сети xPON необходимо использовать однотипные разъемные соединения – коннекторы, – что упрощает комплектацию объектов и подготовку обслуживающего персонала, сокращает ассортимент ЗИП.

Неразъемные соединения. ОВ могут соединяться между собой сварным или механическим способом. Для механического соединения ОВ используется специальное устройство – сплайс (splice). Сплайс состоит из корпуса, в который через специальные каналы и направляющие вводятся сколотые концы ОВ. Направляющие служат для прецизионной стыковки торцов в камере, заполненной иммерсионным гелем, необходимым для сведения к минимуму переходного затухания и герметичности соединения. Показатель преломления геля близок к показателю сердцевины ОВ, что позволяет свети к минимуму обратное отражение. Сверху корпус закрывается крышкой.

Вносимые потери в сплайсах $\leq 0,5$ дБ (среднее значение вносимых потерь в сплайсах различных производителей – 0,1 дБ).

Резервирование xPON. Резерв ОВ на магистральном участке определяется по схеме $1 + 1$, т. е. на каждое ОВ в нагрузке требуется резервное ОВ. При большой емкости ОВ в нагрузке (от 8 ОВ), заводимых в ОРШ, допускается уменьшение резервных ОВ из расчета: на 2 ОВ в нагрузке – 1 резервное ОВ.

Количество ОВ в модуле многомодульного ВОК магистрального участка выбирается с учетом резервных ОВ.

На абонентском участке резервирование ОВ не предусматривается.

Порядок выполнения работы

1 Изучить краткие сведения из теории.

2 В соответствии с шифром выбрать из таблицы 2 здание узла связи, в котором будет расположен станционный участок xPON и 10 домов, жильцов которых необходимо подключить к xPON.

3 Выбрать тип (при четной последней цифре шифра – GPON, при нечетной – EPON) и топологию пассивной оптической сети.

4 Определить количество абонентов для каждого дома с учетом планируемого процента абонентов, подключенных по технологии xPON от общего количества абонентов, используя характеристики микрорайона «Телекоммуникационный» из таблицы 3.

5 Для каждого дома определить количество оптических волокон, которое необходимо подвести к ОРШ. Расчет производить кратным числу оптических волокон в одном модуле с учетом использования одного основного и одного резервного волокна на 32 подключаемых абонента (при использовании сплиттера 1:32).

Кроме того, необходимо учесть абонентов, которые решат подключиться впоследствии, поэтому для общего количества оптических волокон, подводимых к ОРШ дома, необходимо учитывать все квартиры.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета дисперсии оптического сигнала

Первая цифра шифра	Номер здания узла связи	Последняя цифра шифра	Номера домов для подключения к xPON
0	10	0	1–10
1	1	1	1–3, 6–12
2	2	2	4, 7, 14–19, 31, 32
3	3	3	10–13, 20–25
4	4	4	20–29
5	5	5	16–18, 20–22, 27, 28, 31, 33
6	6	6	26–30, 40–42, 44, 45
7	7	7	27–29, 31–33, 36–39
8	8	8	34–41, 46, 47
9	9	9	37, 40–45, 48–50

Таблица 3 – Характеристики домов микрорайона и их абонентов

Номер дома	Характеристики домов			
	Количество этажей	Количество подъездов	Количество квартир на лестничной площадке	Процент абонентов, желающих подключиться к xPON, %
1	9	3	4	65

2	9	3	4	75
3	9	8	4	70
4	5	2	4	55
5	5	2	4	65
6	5	2	4	70
7	5	2	4	75
8	5	2	4	65
9	5	2	4	75
10	5	2	3	80
11	5	3	4	80
12	9	2	4	75
13	9	2	4	70
14	9	2	4	65
15	11	1	5	50
16	5	2	3	80
17	5	2	3	85
18	11	1	5	60
19	9	2	4	35
20	5	2	3	95
21	9	4	3	85
22	5	2	3	90
23	17	1	6	65
24	9	2	3	85
25	9	2	3	80
26	9	2	3	85

Окончание таблицы 3

Номер дома	Характеристики домов			
	Количество этажей	Количество подъездов	Количество квартир на лестничной площадке	Процент абонентов, желающих подключиться к xPON, %
27	4	2	3	95
28	4	2	3	90
29	4	3	4	45
30	9	2	3	95
31	9	2	4	35
32	5	2	4	30
33	11	1	5	55
34	9	2	4	65
35	7	2	4	40
36	5	2	4	35
37	5	2	4	25
38	9	4	3	80
39	9	4	3	85
40	5	2	3	95
41	7	2	4	35

42	9	3	4	55
43	7	2	4	40
44	5	4	3	90
45	5	2	4	25
46	9	4	3	45
47	9	3	4	25
48	5	2	4	30
49	5	2	4	35
50	5	2	4	20

Например, для 9-этажного дома с пятью подъездами и четырьмя квартирами на лестничной площадке общее количество квартир составит 180. При проценте абонентов, подключенных к xPON, равном 70, их количество составит 126. Однако, с учетом подключения новых абонентов в будущем, расчет следует вести для потенциального (максимального в наихудшем случае) количества абонентов. Для такого количества абонентов потребуется 12 ОВ: $180 / 32 = 5,625 \approx 6$ (основных волокон) и еще 6 резервных волокон. В зависимости от принятого количества ОВ в одном модуле для магистрального ВОК может понадобиться один из следующих вариантов:

- 12 ОВ при 4 ОВ в одном модуле (3 модуля);
- 12 ОВ при 6 ОВ в одном модуле (2 модуля);
- 16 ОВ при 8 ОВ в одном модуле (2 модуля);
- 20 ОВ при 10 ОВ в одном модуле (2 модуля);
- 12 ОВ при 12 ОВ в одном модуле (1 модуль);
- 16 ОВ при 16 ОВ в одном модуле (1 модуль).

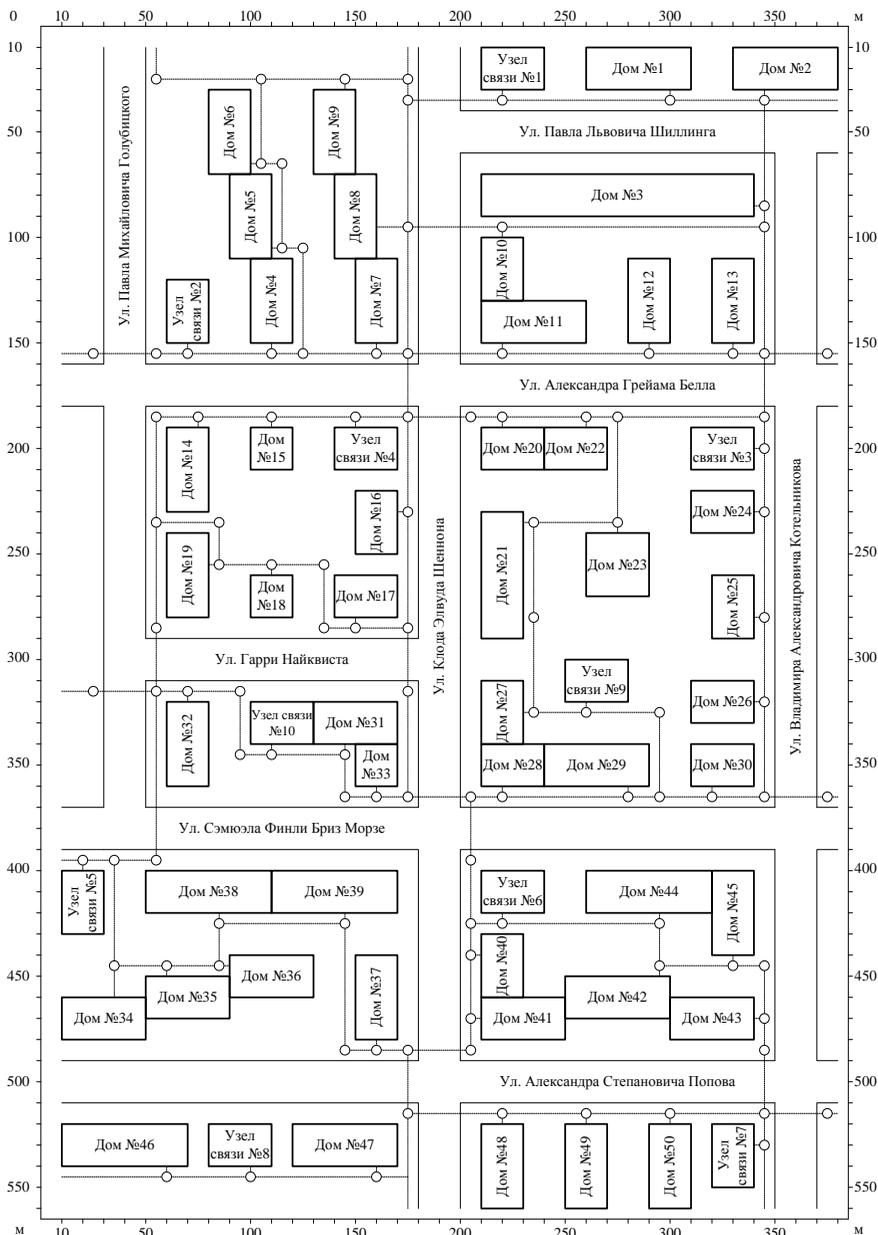


Рисунок 7 – Схема-план микрорайона «Телекоммуникационный»

Количество модулей в волоконно-оптическом кабеле выбирается одинаковым для всех домов, подключенных к данному кабелю.

6 Определить необходимое количество кабелей с учетом того, что количество волокон в одном кабеле должно быть равно 32, 48 или 64.

7 По схеме-плану микрорайона «Телекоммуникационный» (рисунок 7), используя существующую сеть кабельной канализации по кратчайшему расстоянию, проложить волоконно-оптический кабель от ODF в здании узла связи до ОРШ в жилых домах согласно заданию с указанием муфт ВОК.

8 По итогам выполнения предыдущих пунктов заполнить таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты расчета протяженности участков

номер	Дом			Абоненты			Количество ОВ	Количество модулей
	этажность	количество подъездов	количество квартир на этаже	процент, %	количество подключаемых	всего		

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Схема-план микрорайона «Телекоммуникационный» с указанием способа прокладки ВОК и количества волокон до указанных в задании жилых домов.
- 3 Расчет количества оптических волокон и муфт для каждого дома.
- 4 Вывод по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Назначение технологии xPON.
- 2 Типы и топологии сетей xPON.
- 3 Основные участки сети xPON.
- 4 Назначение сплиттеров и их схемы включения.
- 5 Неразъемные соединения.