

Инженерные расчеты при проектировании сетей FTTx

Утабаев Б.С. (ГУП «UNICON.UZ»),
Бойназаров Д. (магистрант ТУИТ)

В статье рассматриваются вопросы проектирования сетей абонентского доступа на базе технологии FTTx. Приводятся инженерные расчеты основных параметров оптического тракта.

Мақолада FTTx технологиялари асосида абонент фойдалана олиш тармоқларини лойҳалаш масалалари кўриб чиқилмоқда. Оптик тракт асосий параметрларининг муҳандислик ҳисоб-китоблари келтирилади.

The article examines the design of subscriber access networks based on technology FTTx. Engineering calculations are the main parameters of the optical path.

В настоящее время в Узбекистане все больше растет интерес к развертыванию сетей абонентского доступа (САД) с возможностью предоставления абоненту широкополосного канала телекоммуникаций. Причиной данного интереса служит быстрый рост требований к полосе пропускания сетей связи, обусловленный появлением новых широкополосных услуг. К таким услугам можно отнести: портал оказания государственных услуг, видеоконференц-связь, удаленное обучение, телемедицина, Интернет-форумы, развлекательные услуги видео по запросу, цифровое вещание, HDTV, online игры и т.д.

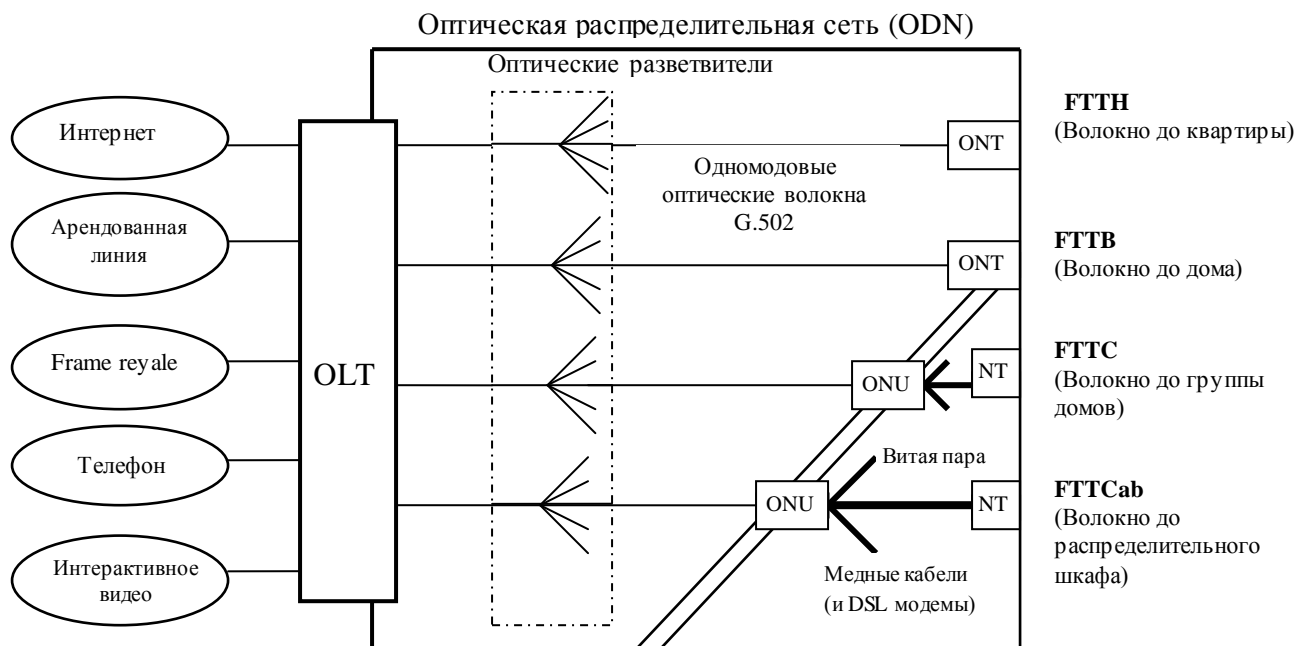
Для организации абонентского доступа к сетям телекоммуникаций известны три способа [1]:

- по существующим кабельным линиям с помощью модемов;
- беспроводной доступ;
- с применением ВОСП.

В настоящее время на САД Узбекистана успешно внедряется технология FTTx. Абонентам ее предлагают различные операторы и провайдеры телекоммуникаций (АК «Узбектелеком», СП ОО «East Telecom», ООО «Turon Telecom» и др.).

Расшифровка аббревиатуры FTTx это по английски «Fiber To The ...» т.е — «Волокно до ...» до определенной точки X.

На рис.1 представлены различные варианты реализации технологии FTTx.



OLT (оптический линейный терминал)
 ONU (оптический сетевой оконечный блок)

ONT (оптический сетевой терминал)
 NT (сетевой терминал)

Рис.1 Варианты реализации технологии FTТх

Наиболее востребованная на сегодняшний день в Узбекистане из указанных на рисунке 1. - это технология FTTB (Fiber to the Building — волокно до здания). В этом случае, сеть доступа организуется с объектом, т.е с местом компактного проживания или работы пользователей услуг телекоммуникаций (физических и юридических лиц). Это может быть гостиница, бизнес-центр или жилой многоэтажный дом.

Широкому распространению технологии FTTB способствовали также следующие важные факторы [2]:

- снижение цен на оптический кабель;
- появление дешевых оптических приемников, передатчиков и оптических усилителей;
- оперативный процесс проектирования и монтажа систем телекоммуникаций;
- широкая полоса пропускания и безопасность от электричества;
- высокая помехоустойчивость и надежность;
- стандартизированные и компактные конструкции;
- широкий выбор и универсальность интерфейсов для пользователей.

Однако при проектировании САД с применением технологии FTTB, могут возникать проблемы, связанные с привязкой технических параметров оборудования и оптического кабеля к реальным условиям строительства, монтажа и дальнейшей эксплуатации. А это значит, что на этапе проектирования, необходимо производить соответствующие инженерные расчеты параметров оптического тракта в целях обеспечения должного уровня качества проектных работ.

В связи с этим, используя сведения из работ [3-5], ниже приведем обобщенные примеры инженерных расчетов параметров оптического тракта, организованных по технологии ФТТВ

Одним из основных параметров оптического тракта является расчетный запас оптической мощности проектируемого регенерационного участка. За счет него обеспечивается передача информации с требуемым качеством на регенерационном участке оптического тракта без применения оптических усилителей при этом учитывая потери и дисперсионные искажения в оптическом кабеле.

Расчетный запас оптической мощности определяется как, разность между энергетическим потенциалом волоконно-оптической системы передачи и затратами оптической мощности на потери, подавление помех и искажений оптических импульсов в линии ($A_{ЭЗ}$):

$$A_{ЭЗ} = W - A_{ЭКУ} - \sum \alpha_{IIIi}, \text{ [dB];} \quad (1)$$

где: W – мощность волоконно-оптической системы передачи;

$A_{ЭКУ}$ – затухание эксплуатационного кабельного участка (ЭКУ) совместно со стационарными кабелями (патчкордами);

$\sum \alpha_{IIIi}$ – суммарное значение дополнительных потерь в шлейфе (кабельной линии), dB.

Максимальное значение затухания ЭКУ совместно со стационарными кабелями (патч-кордами) рассчитывается следующим образом:

$$A_{ЭКУ} = \alpha_{МАКС} \cdot L_{НОМ} + N_{НС} \cdot A_{НСмакс} + A_{РС}, \text{ [dB];} \quad (2)$$

где: $N_{НС}$ – число неразъемных соединений ОВ на ЭКУ.

$A_{РС}$ – затухание в разъемных соединениях.

Количество неразъемных соединений на ЭКУ равно:

$$N_{НС} = \frac{L_{НОМ}}{l} + 1, \quad (3)$$

Если учитывать, что номинальная длина абонентского участка ($L_{НОМ}$), организованного на оптическом волокне составляет 44,314 km, а строительная длина оптического кабеля (l) составляет 4 km, то подсчитаем число неразъемных соединений:

$$N_{НС} = \frac{44.314}{4} + 1 \approx 12.$$

Подставляя известные значения в формулу (2) получим

$$A_{ЭКУ} = 0.311 \cdot 44.314 + 12 \cdot 0.1 + 1.6 = 16.58 \text{ [dB]}.$$

Суммарное значение дополнительных потерь, которое складывается из дополнительных потерь за счет собственных шумов лазера α_{RIN} , за счет суммарных шумов из-за излучения оптической мощности при передаче «нуля» (α_{ϵ}), и за счет шумов межсимвольной интерференции α_{ISI} и, соответственно, равно:

$$\sum \alpha_{IIIi} = \alpha_{RIN} + \alpha_{\epsilon} + \alpha_{ISI} \text{ [dB]} \quad (4)$$

Определим составляющие данной формулы последовательно. Дополнительные потери из-за собственных шумов источника излучения рассчитываются по формуле:

$$\alpha_{RIN} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{\sqrt{1 - (Q \cdot \sigma_{RIN})^2}} \right) \text{ [dB]}, \quad (5)$$

$$\sigma_{RIN}^2 = 4 \cdot BW_R \cdot 10^{\frac{RIN}{10}}$$

Известно из [2], что значение параметра собственных шумов источника – RIN обычно лежит в пределах $-120 \text{ [dBm]} < RIN < -140 \text{ [dBm]}$
 Предположим, что $RIN = -130 \text{ [dBm]}$, а параметр $Q = 7.04$.
 Тогда коэффициент вероятности потерь:

$$\sigma_{RIN}^2 = 4 \cdot 0,1701 \cdot 10^9 \cdot 10^{\frac{-130}{10}} = 6.84 \cdot 10^{-5},$$

$$\sigma_{RIN} = 8,258 \cdot 10^{-3},$$

$$\alpha_{RIN} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{\sqrt{1 - ((7.04)^2 \cdot 6.84 \cdot 10^{-5})}} \right) = 7.374 \cdot 10^{-3} \text{ [dB]}$$

Дополнительные потери за счет шумов из-за излучения оптической мощности при передаче «нуля» α_ε определяются по следующей формуле:

$$\alpha_\varepsilon = 10 \cdot \lg \left(\frac{\varepsilon + 1}{\varepsilon - 1} \right) \text{ [dB]}, \quad (6)$$

где: ε - отношение мощности оптического излучения источника при передаче «нуля» к мощности оптического излучения при передаче «единицы».

Как правило, значение этой величины лежит в пределах $0,01 \leq \varepsilon \leq 0,1$.

Пусть $\varepsilon = 0.06$

Тогда, подставляя найденные значения в формулу (6), получим:

$$\alpha_\varepsilon = 10 \cdot \lg \left(\frac{0.06 + 1}{0.06 - 1} \right) = 0.522 \text{ [dB]},$$

$$\sum \alpha_{IIIi} = 7.374 \cdot 10^{-3} + 0.522 + 3.078 = 3.607 \text{ [dB]}.$$

Предположим, что мощность оптического передатчика $W = 36 \text{ [dB]}$.

Подставив найденные расчетами значения в формулу (1), вычислим запас оптической мощности. Он будет равен:

$$A_{\text{ЭЗ}} = 36 - 16.58 - 3.607 = 15.813 \text{ [dB]}.$$

Таким образом, применяя расчетные формулы мы определили, что запас оптической мощности в оптическом тракте, должен быть не менее половины значения энергетического потенциала волоконно-оптической системы передачи.

Следующим важным параметром оптического тракта является затухание. Оно должно определяться на центральной длине волны оптического канала.

Для этого, необходимо предварительно определить спектральный диапазон оптического тракта, и после этого центральную длину волны. Для расчета воспользуемся известными приближенными формулами. Суммарный коэффициент затухания оптического волокна в dBm/km определяется по формуле (7). Он равен сумме всех составляющих потерь:

$$\bar{\alpha} = \alpha_{RR} + \alpha_{IR} + \alpha_{OH} \quad (7)$$

где α_{RR} - составляющая потерь релеевского рассеяния на длине волны (λ) и определяется соотношениями:

$$\alpha_{RR}(\lambda_C) = \frac{C_{RR}}{\lambda^4}, \left[\frac{dB}{km} \right], \text{ где } C_{RR} = 0.7, \left[\frac{нм^4 \cdot dB}{km} \right],$$

$$\alpha_{RR}(\lambda_C) = \frac{C_{RR}}{\lambda_C^4} = \frac{0.7}{1.4675^4} = 0.150, \left[\frac{dB}{km} \right].$$

Составляющая потеря α_{OH} , обусловленная примесями OH-, рассчитывается следующим образом:

$$\alpha_{OH}(\lambda) = \frac{C_{OH}}{(\lambda - \lambda_{SE})^2 + \delta\lambda^2}, \quad (8)$$

где $C_{OH} = \Delta\alpha_{SE} \cdot \delta\lambda^2$,

$$\delta\lambda^2 = \frac{\Delta\alpha_{SX}}{\Delta\alpha_{SE} - \Delta\alpha_{SX}} \cdot (\lambda_{SX} - \lambda_{SE})^2, \quad (9)$$

здесь:

λ_{SX} - это опорная длина волны; Обычно она равна 1550 [nm], так как центральная длина волны находится ближе к значению 1550 [nm].

Для расчета коэффициента затухания ОВ на опорной длине волны используем формулу (10):

$$\Delta\alpha_{SX} = \alpha(\lambda_{SX}) - \alpha_{RR}(\lambda_{SX}) - \alpha_{IR}(\lambda_{SX}) \quad (10)$$

Из справочных данных на оптический кабель и TSt 45-002:2008 затухание ОВ на длине волны 1550 [nm] будет составлять:

$$\alpha(\lambda_{SX}) = 0.20 \text{ [dB/km]},$$

Затухание других составляющих определяют используя расчетные формулы (11 и 12):

$$\alpha_{RR}(\lambda_{SX}) = \frac{0.7}{1.55^4} = 0.121 \left[\frac{\text{dB}}{\text{km}} \right]$$

$$\alpha_{IR}(\lambda_{SX}) = C_{IR} \cdot \exp\left(-\frac{k_{IR}}{\lambda_{SX}}\right) \quad (11)$$

$$C_{IR} = 0.9 \text{ [dB/km]}$$

$$k_{IR} = 0.8 \text{ [mkm]} = 800 \text{ [nm]}$$

$$\alpha_{IR}(\lambda_{SX}) = 0.9 \cdot \exp\left(-\frac{0.8}{1.55}\right) = 0.537 \text{ [dB/km]}$$

$$\Delta\alpha_{SX} \approx -0.458 \text{ [dB/km]}$$

$$\Delta\alpha_{SE} = \alpha(\lambda_{SE}) - \alpha_{RR}(\lambda_{SE}) - \alpha_{IR}(\lambda_{SE}) \quad (12)$$

$$\alpha(\lambda_{SE}) = 0.30 \text{ [dB/km]}$$

$$\alpha_{RR}(\lambda_{SE}) = \frac{0.7}{1.383^4} = 0.191 \text{ [dB/km]}$$

$$\alpha_{IR}(\lambda_{SE}) = 0.9 \cdot \exp\left(-\frac{0.8}{1.383}\right) = 0.505 \text{ [dB/km]}$$

$$\Delta\alpha_{SE} = -0.396 \text{ [dB/km]}$$

$$\delta\lambda^2 = \frac{-0.458}{-0.396 + 0.458} \cdot (1550 - 1383)^2 = -2.049 \cdot 10^5$$

$$C_{OH} = -0.396 \cdot (-2.049 \cdot 10^5) = 8.116 \cdot 10^4.$$

Подставляя полученные значения в формулу (8) получим:

$$\alpha_{OH}(\lambda_C) = \frac{8.116 \cdot 10^4}{(1467.5 - 1383)^2 - 2.049 \cdot 10^5} = -0.41 \text{ [dB/km]},$$

$$\alpha_{IR}(\lambda_C) = 0.9 \cdot \exp\left(-\frac{0.8}{1.4675}\right) = 0.522 \quad [\text{dB/km}].$$

Подставив полученные значения в формулу (7) получим результирующий коэффициент затухания ОВ:

$$\bar{\alpha} = 0.150 + 0.522 - 0.41 = 0.261 \quad [\text{dB/km}]$$

Теперь можно рассчитать максимальное значение коэффициента затухания ОВ:

$$\alpha_{\text{макс}} = \bar{\alpha} + \Delta\alpha_t \quad (13)$$

Предположим, что погрешность измерения коэффициента затухания ОВ составит, не более 0,05 т.е.,

$$\Delta\alpha_t = 0.05 [\text{dB/km}]$$

$$\alpha_{\text{макс}} = 0.261 + 0.05 = 0.311 \quad [\text{dB/km}],$$

Полученные расчетным путем максимальные и минимальные значения коэффициента затухания ОВ дают основание прогнозировать среднее значение коэффициента затухания еще на этапе проектирования, которое учитывает все допустимые оптические потери.

Таким образом из вышеизложенного следует, что;

- при проектировании сетей абонентского доступа на базе технологии FTТх могут возникать проблемы, связанные с привязкой к реальным условия строительства, монтажа и дальнейшей эксплуатации;

- в связи с этим, в целях повышения качества проектных работ, в части подбора телекоммуникационного оборудования и кабелей, необходимо проведение инженерных расчетов основных параметров оптического тракта сетей абонентского доступа;

- используя расчетные формулы можно подобрать соответствующее оборудование и кабели с заданными техническими параметрами, тем самым повысить качество проектирования.

Литература:

1. Котиков ИМ. Пространство технологий абонентского доступа для оператора связи // Технологии и средства связи.- 2003. -№1.
2. Убайдуллаев Р. Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 2000.
3. Слепов Н. Сети доступа. Основные понятия и оборудование // Электроника: НТВ. - 2005. - № 7.
4. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи: 2-е изд., испр. - М. Радио и связь, 2003.
5. Керженцев Ю.А., Червяков О.Б., Коньков И.Л. Аналитическая модель для оценки капитальных затрат на построение городской GPON сети // Технологии и средства связи. - 2012. - № 2.