

ПРИМЕРНО ИЗГРАЖДАНЕ И ТЕСТВАНЕ НА ОПТИЧНА СВЪРЗАНОСТ МЕЖДУ БАЗОВИ СТАНЦИИ НА МОБИЛЕН ОПЕРАТОР

Станимир Михайлов Садинов

*Технически университет – Габрово, ул. Х. Димитър 4, Габрово, България,
кореспондиращ автор: murry@tugab.bg

EXAMPLE OF BUILDING AND TESTING OPTICAL CONNECTIVITY BETWEEN MOBILE OPERATOR BASE STATIONS

Stanimir Mihaylov Sadinov

*Technical University of Gabrovo, H. Dimitar 4, Gabrovo, Bulgaria
Corresponding author: murry@tugab.bg

Abstract

The paper describes a designed and constructed optical cable connection between existing base stations of a mobile operator in a city in central northern Bulgaria. Sample results from tests of a real built line are presented, guaranteeing quality of service. When implementing the backbone of their networks, mobile operators use underground optical connectivity between new generation base stations, and this article describes the processes and stages of designing, building and testing an optical route.

Keywords: Design, Construction, Research of a Telecommunication Optical Network, Single Mode (SM) 24,72, 144, FOC G.652, OTDR test.

ВЪВЕДЕНИЕ

При съвременните решения за проектиране на оптична свързаност между базови станции, целта е да отпадне нуждата от радиорелейна връзка между тях, с което да се подобри капацитета на канала и надеждността на мрежата. Затова разглеждам и представям примерен проект и изграждане на подземни оптични кабели между базови станции за нуждите на четвърто и пето поколение клетъчни мрежи.

Идеята е да се опишат техническите характеристики на двата типа свързаност, като се изчислява дължината на трасетата и затихването им. Показват се топологиите на мрежите и тяхната при-

ложимост спрямо терена, който се разглежда. Проследяват се стъпките за проектиране на една оптична кабелна линия, за да може същата да бъде изградена, съгласно действащите норми в република България и сектора за стандартизация в далекосъобщенията (ITU-T) [4, 5].

ИЗЛОЖЕНИЕ

Както споменахме, проектирането и изграждането на оптичната свързаност подобрява скоростта и надеждността между крайните точки. За да се изпълни един проект според изискванията, трябва да се знаят нормите и стандартите при проектиране на оптична кабелна линия, а това са:

- Закона за устройство на територията
- Закон за електронните съобщителни мрежи и физическа инфраструктура (обн. дв, бр. 21 от 9 март 2018 г.)
- Закон за електронни съобщения
- Наредба №8 за правилата и нормативи за разполагане на техническите проводи и съоръжения в населени места
- Наредба №35 за правилата и нормите за проектиране, изграждане и въвеждане в експлоатация на кабелни електронни съобщителни мрежи и прилежащата им инфраструктура
- Наредба №5 от 23 юли 2009 г. за реда и начина за определяне на размера, разположението и специалния режим за упражняване на сервитутите на електронните съобщителни мрежи
- Наредба №6 от 13 юни 2019 г. за сервитутите, които възникват в полза на операторите на електронни съобщителни мрежи по Закона за електронните съобщителни мрежи и физическа инфраструктура
- Наредба №2 от 2004 г. за минималните изисквания за здравословни и безопасни условия на труд при извършване на строителни и монтажни работи
- Наредба №4 от 2001 г. за обхвата и съдържанието на инвестиционните проекти

Допустимата температура на околната среда, при която може да се полага оптичния кабел в изкоп е в диапазона от -10 до +50°C, съгласно „Инструкция за строителство на оптични кабелни линии” на „БТК” ЕАД от 2004 год., но се препоръчва полагането да се извършва в диапазона 0÷40°C.

Измерването на оптичните кабели да се осъществи съгласно „Методика за измерване на оптични кабелни линии“ на „БТК“ ЕАД от 2004г. [6].

Максимално допустимата стойност на затихване по оптичната линия от край до край се определя по формулата (1) :

$$A_{\max} = \alpha L + a_s N + a_c n, \quad \text{dB}, \quad (1)$$

Където:

■ α е коефициент на затихване на оптичните влакна в dB/км. Допустимите стойности, съгласно „Инструкция за строителство на оптични кабелни линии” на „БТК” АД от 2004 год, са: $\alpha \leq 0,40$ dB/км за $\lambda = 1310$ nm и $\alpha \leq 0,25$ dB/км за $\lambda = 1550$ nm;

L – дължина на оптичната линия в км;

N – брой на оптичните заварки по дължината на оптичното влакно; a_s – максимално средно затихване от една заварка.

$a_s \leq 0,10$ dB за една заварка, осреднено в двете посоки на измерване;

n – брой на оптичните съединители по дължина на линията; a_c – максималното внесено затихване от един оптичен съединител, $a_c < 0,35$ dB, осреднено за двете посоки на измерване, съгласно „Инструкция за строителство на оптични кабелни линии” на „БТК” АД от 2004 год.

За определяне на дължината на оптичната линия се коригира общата дължина на оптичния кабел за даден участък, включително всички технологични аванси, с коефициент $K=1,1$ изразяващ удължаването на оптичното влакно спрямо дължината на оптичния кабел. Удължаването на оптичното влакно се дължи на това че е разположено свободно стоящо в тръбичка с вътрешен диаметър значително превишаващ външния диаметър на влакното с вторично покритие, както и на усукването на тръбичките спрямо централния носещ елемент на оптичния кабел [1, 2].

Коефициента е установен емпирично, а точната му стойност се определя след приключване на измерванията и установяване на разликите между дължините отразени на рефлектограмите (при правилно въведен групов коефициент на отразение на влакното) и реално вложени те дължини оптичен кабел [3, 7, 8, 9].

След изтегляне на оптичния кабел в тръба HDPE Ø40 и отстраняване на работното налягане на въздуха от компресора, оптичния кабел ляга по стените на

защитната тръба. Силата на триене между обвивката на оптичния кабел и вътрешната стена на тръбите е намалена поради надлъжното оребвяване на защитните тръби HDPE Ф40.

Свързването на влакната на оптичния кабел да се извършва по метода на електродъгова заварка с подгряване на двата края на съединяваните оптични влакна (сплайсване). Във всяка муфта да се оставя резервно влакно с дължина минимум 1,20 метра, за нуждите на бъдещи ремонтни работи. Динамичния диаметър на огъване на оптичните влакна в муфата да е не по-малък от 100 пъти диаметъра на оптичното влакно с първично покритие - 250µm по стандартите на ITU-T. За статичния диаметър на огъване на влакната могат да се приложат същите изисквания, тъй като получените минимални радиуси на огъване са сравнително малки (25 мм) и лесно се спазват. Да се спазват каналите за полагане на резерв от оптично влакно в сплайс-касетеите на муфите като се внимава за правилното и прегледното им подреждане.

Сплайсването се извършва с подходящи уреди, изпълняващи всички необходими 4 операции автоматично и изравняващи позициите на заваряваните влакна спрямо центъра на сърцевините им. Допустимото затихване на мястото на заварката трябва да е максимум 0,05 dB по показание на уреда за сплайсване, прогнозирано за дължина на вълната на лазера в диапазоните около 1300 nm и 1550 nm. Местата на заварките да се защитят от механични въздействия с термофитен маншон с метален носещ елемент с дължина минимум 40 мм.

След свързването оптичния кабел се уплътнява към корпуса на муфата с термофитен маншон, приложен в окомплектовката на муфата.

За избягване на кръстосвания при подготовката на кабела за сплайсване и почистването на външната обвивка тубите да се номерират и маркират, като с номер 1 се означава червената туба и броенето продължава до синята с номер

4. Подреждането на оптичните заварки в касетите да се извършва при спазване на номерацията по стандарт от цетова таблица, съгласно „Инструкция за строителство на оптични кабелни линии” на „БТК” АД от 2004 год.

Измерванията се извършват на изградено оптично трасе от ODF до ODF с буферно влакно 1000 метра в двата края на трасето. Всяко влакно се измерва самостоятелно – фиг. 1.

За яснота в този документ двата края на тестваният участък ги наричаме точка А и точка Б.

В протоколите от измерванията трябва да бъдат посочени имена на крайните точки и позициите на ODF, на която е „развито“ измерваното влакно.

Измервани стойности, са както следва:

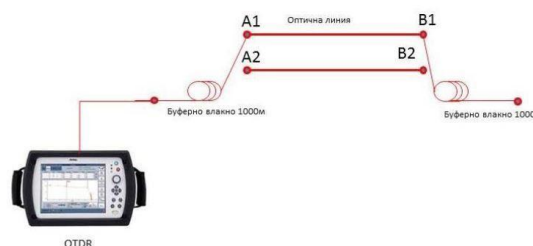
- Общо затихване на участъка.
- Всички открити събития по протежение на участъка.
- Загубата при връщане и отслабване крайните конектори в участъка.

Настройки на OTDR:

- Дължина на вълната 1550 nm и 1310 nm.
- Праг на отражение (= стойност, над която OTDR показва дадено събитие): -45dB.

Забележка: Тази стойност трябва също да се съобрази със спецификациите на компонентите в измерваната линия. При измерване на линии в които се използват APC конектори тази стойност да е -65dB

- Праг на загуба от сплайс (= стойност, над която OTDR показва дадено събитие): -0,10dB.



Фиг. 1. Измерване на оптична кабелна линия с OTDR

Табл.1. Норми на затихване

Затихване		
Максимална стойност между 1285 и 1330 nm	(dB/km)	0,39
Максимална стойност при 1550 nm	(dB/km)	0,22
Затихване в заварка (сплайс)	(dB)	≤ 0,1
Хроматична дисперсия		
между 1285 и 1330 nm	(ps/nm.km)	< / = 3,5
при 1550 nm	(ps/nm.km)	< / = 19
Дисперсия в режим Поляризация	(ps/√km)	< / = 0,2
PC свързване ORL	dB	≤ - 45
PC свързване IL	dB	≤ 0,5
APC свързване ORL	dB	≤ - 65
APC свързване IL	dB	≤ 0,5

Рефракционен индекс:

- участък, състоящ се от само един тип влакно в една връзка: използва се рефракционния индекс, определен от производителя.
- рефракционният индекс не е известен или участъкът се състои от няколко влакна: рефракционният индекс трябва да бъде 1, 47.
- Ширина на импулса - препоръчва се измерване на целия участък. Трябва да се използва минималната ширина на импулса, която позволява да се види цялото разстояние на връзката, при условие че се получава достатъчна точност на измерването (т.е. ниско ниво на шума). Тази ширина на импулса е различна за различните разстояния на участъците. Точната стойност на ширината на импулса се определя на момента от оператора на OTDR. Ширините на импулсите по-долу показват само примерна индикация:

Трасе от 0 до 10 км: ширина на импулса = 100 nm.

Съгласно изискванията оптичния кабел завършва в крайно пасивно устройство – оптична разпределителна кутия (ODF), монтирана в съществуващ или ново монтиран комуникационен шкаф 19”.

Изискванията за минимални радиуси на огъване на кабела и влакната, за метода на свързване и стойностите на за-

тихване при свързването са аналогични на тези за оптичните муфи.

Окомплектовката на 1 брой ODF включва – фиг. 2:

- 19” кутия с преден панел;
- Касети за 24/48 бр. оптични заварки – фиг. 3;
- Конектори SC, едномодови – фиг. 4;
- Пигтейли SC, едномодови;
- Термофитни маншони 40/60mm.

Комплект закрепващи елементи за монтаж на 19”рамка



Фиг.2. Оптичен разпределител (ODF)



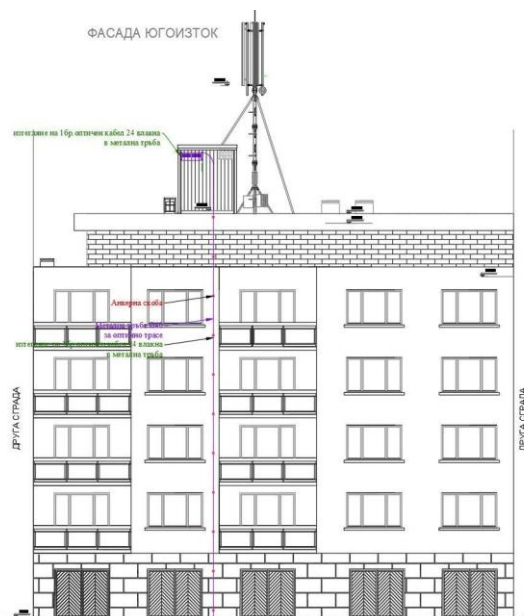
Фиг.3. Сплайс касета



Фиг. 4. Конектор SC/APC, едномодов

Конструктивната част на проекта е свързана с изграждането на вертикалната инсталация към всяка базова станция. За пример е показана базова станция № 3509, на която се монтира тръбен провод. Сградата е 4 етажен жилищен блок, висок 16,74 метра.

На фиг.5 е показана примерна проектната вертикална инсталация с два подхода и ситуация на покрива.



Фиг. 5. Ситуация на югоизточна фасада на базова станция №3509

След изграждането на вертикалната инсталация по сградата, в металните тръби се изтеглят оптичните кабели, след което се монтират и оптичните разпределители в базовата станция.

Оптичните разпределители са 24 портови със SC/PC адаптори и конектори.

След изграждане на всички кабелни линии в проекта е задължително измерване на внесеното затихване. То се извършва между оптичните разпределители на един участък, измерването се извършва за двете дължини на вълната - 1310 nm 1550 nm и в двете посоки, като данните от измерването се попълват в измервателен протокол.

За тази цел сме използвали OTDR модел Yokogawa AQ1200 (фиг.6), като от сме използвали и две буферни влакна за двата оптични разпределителя в крайните точки на трасето.

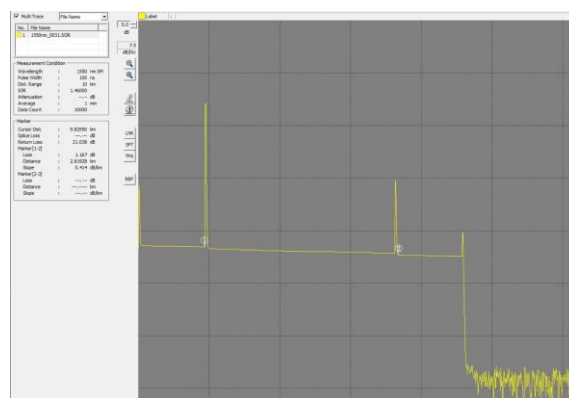
Буферното влакно представлява навито на барабан оптично влакно с дължина от 1 до 2 km. От двата му края са монтирани оптични съединители с проверени известни оптични параметри (Затихване не по-голямо от 0.2 dB и $RL < -40dB$ по отношение на еталонен съединител2).

Параметрите на оптичното влакно трябва да отговарят на препоръка G 652 на ITU-T.



Фиг. 6. OTDR модел Yokogawa AQ1200

В случая рефлектограмата на разглежданата от нас базова станция №3509 посока базова станция №3594 е показана на фиг. 7.



Фиг. 7. Рефлектограма на оптично трасе между базови станции 3509 - 3594

От рефлектограмата се вижда, че дължината на трасето, което разглеждаме е 2 819 метра, с общо затихване от 1.17dB. Като точка №1 е конектора в началния оптичен разпределител (базова станция №3509), а точка №2 е конектора в крайния оптичен разпределител (базова станция №3594). Между двете точки е оптичната кабелна линия с дължина 2 819 метра, като има 4 оптични сплайса, по един в оптичните разпределители и два сплайса в трасето между тях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Широката честотна лента и високите скорости на предаване са първото основно предимство на оптични комуникационни системи. Оптичните влакна имат много малко километрично затихване, с което дават възможност за реализиране на големи кабелни участъци без поставяне на регенератори – до 200 км. За сравнение при медни проводници тези участъци са не по-дълги от 10 до 15 км.

Ниско ниво на шумовете на оптичните влакна е друго важно тяхно предимство. Оптичните влакна не излъчват електромагнитни смущения и не се влияят от външни електромагнитни полета. Затова можем да кажем, че те са с висока шумозащитеност. При тях е невъзможно прислушване между съседни линии, както и неправилен достъп до информация без физическо нарушаване на линията.

Поради диелектричния характер на влакната, те могат да се използват за връзка между точки с различни потенциали. Оптичните влакна се произвеждат от материал SiO₂, който е много широко разпространен на земята, поради което цената им е ниска. Те са компактни, леки, гъвкави, имат големи производствени дължини – до 4000м, което позволява бързото изграждане на оптичните линии. Експлоатационната им продължителност е изчислена на над 25-30 години.

В резултат, на това все по-голяма част от мрежите на мобилните оператори за връзка между базовите им станции се осъществяват чрез подземна оптична свързаност.

В разработката е описана примерна проектирана и изградена оптична свързаност между съществуващи базови

станции на мобилен оператор в град в централна северна България.

Като заключение може да бъде обобщено, че след направените изчисления и анализи, преминаването от радиорелейна свързаност към оптична такава, е много по-надеждна и в същото време икономически по-изгодна, тъй като операторите не заплащат за досегашната използвана честота, на която са предавали сигнал между две съседни базови станции.

Благодарности: Докладът се публикува във връзка с резултатите от изпълнение на дейностите по проект № НИП 2025-14/2024 г. „Съвременни методи и AI решения за защитено предаване на данни в широколентови комуникационни мрежи“ към УЦНИТ при ТУ – Габрово.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Gugova, V., Optical cables, lines and networks, new knowledge, Sofia 2011.
- [2] Ferdinandov, E., Optical Communication Systems, Sofia 2007.
- [3] Toshkov A., Design and construction of optical networks, 2011.
- [4] <https://www.ericsson.com/>
- [5] <https://www.itu.int/>
- [6] Methodology for measuring optical cable lines of "BTK" EAD.
- [7] Sadinov, S., Construction and configuring hybrid network connectivity for video surveillance between buildings, International Scientific Conference, 2024, Gabrovo, Bulgaria.
- [8] Sadinov S., K. Angelov, Study and Analysis Of Performance Limits due to Nonlinearities in OQPSK Modulated DWDM System, Proceedings of The BAS, ISSN 2367-5535 (Online), Vol. 74, Issue 7, 2021, pp.1050-1057.
- [9] Ramaswami R., Optical Networks. A Practical Perspective, 2010.