

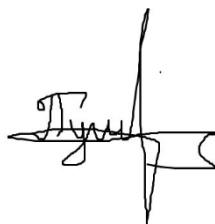
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра електроніки, загальної та
прикладної фізики

Кваліфікаційна робота бакалавра

**ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ: КОНСТРУКТИВНО-
ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ, РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ**

Студент гр.ЕП-61



С.О. Пушкар

Науковий керівник,
д.ф.-м.н., професор



Л.В. Однодворець

Завідувач кафедри ЕЗПФ,
д.ф.-м.н., професор



І.Ю.Проценко

Суми 2020

РЕФЕРАТ

Мета кваліфікаційної роботи полягала у вивченні фізичних основ функціонування оптоволоконних ліній та проведення розрахунку конструктивних і технологічних параметрів ВОЛЗ.

У ході виконання кваліфікаційної роботи розглянуті питання стосовно фізичних принципів функціонування волоконно-оптичних ліній зв'язку, параметрів оптичного волокна, основ розрахунку параметрів волоконно-оптичних ліній.

Показано, що в процесі експлуатації і зберігання оптичні кабелі повинні забезпечувати стабільність характеристик, захист від механічних, кліматичних та інших видів зовнішніх впливів, зручність використання, монтажу і ремонту.

Розрахунок параметрів волоконно-оптичної лінії зв'язку Суми – Недригайлів показав, що найбільш ефективним для використання в даних кліматичних і транспортних умовах є оптичний кабель типу ОКЛБ-01-0,3/2,0-4, який складається із серцевини SiO_2 і оболонки $3,1\% \text{GeO}_2 + 96,9\% \text{SiO}_2$ довжиною 70,6 км.

Робота викладена на 28 сторінках, містить 11 рисунків, 1 таблицю, список цитованої літератури із 11 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ОПТИЧНИЙ КАБЕЛЬ, ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ, СВІТЛОВИПРОМІНЮЮЧИЙ ДІОД, ДИСПЕРСІЯ, ТРАСА ВОЛЗ.

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 ОПТОВОЛОКОННІ ЛІНІЇ ЯК СУЧАСНІ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ	5
1.1 Історія розвитку оптоволоконних технологій	5
1.2 Загальні та фізико-технічні характеристики оптоволокна	6
РОЗДІЛ 2 ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВОЛОКОННО – ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ	12
2.1 Етапи розвитку ВОЛЗ	12
2.2 Розповсюдження світла в оптичних волокнах.....	14
2.3 Технічні особливості волоконно-оптичних ліній зв'язку	15
2.4 Переваги і недоліки ВОЛЗ	18
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ НАСЕЛЕНИМИ ПУНКТАМИ	24
3.1 Вибір траси ВОЛЗ.....	24
3.2 Вибір системи передачі	24
3.3 Вибір марки і ємності кабелю.....	26
ВИСНОВКИ	27
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	28

ВСТУП

Волоконно – оптична лінія зв'язку (ВОЛЗ) – це волоконно – оптична система, яка складається з пасивних та активних елементів і призначена для передачі інформації у оптичному діапазоні. З розвитком електроніки постійно просліджується тенденція використання електромагнітних хвиль усе більш високої частоти. Припущення, що електроніка і радіотехніка досягнуть оптичного діапазону хвиль, стає усе більш достовірним. З'явилася оптоелектроніка – область науки і техніки на стику оптики й електроніки. В другій половині ХХ століття рішення було знайдено – виявилось, що передача сигналу за допомогою світла набагато ефективніше як електричного, так і НВЧ-сигналу.

На сьогоднішній день загасання кварцових оптичних волокон складає менш 0,2 дБ/км. Головною метою розробки оптичних волокон було забезпечення оптичних засобів зв'язку. Для далекого зв'язку найбільш важливі такі властивості волокна, як широкосмужність (теоретично широкосмужність оптичного волокна може складати до декількох десятків терагерц) і малі втрати. Для внутрішньо-міських мереж особливе значення мають малий діаметр, відсутність взаємного впливу і безіндукційність. Оптичне волокно вважається найкращим середовищем для передачі інформації та перспективним для обробки великих потоків інформації і передачі їх на значні відстані.

Мета кваліфікаційної роботи полягала у вивченні фізичних основ функціонування оптоволоконних ліній та проведення розрахунку конструктивних і технологічних параметрів ВОЛЗ.

Результати роботи були представлені на Міжнародній науково-технічній конференції студентів і молодих вчених «Фізика, електроніка, електротехніка», м.Суми, 2020 рік.

РОЗДІЛ 1

ОПТОВОЛОКОННІ ЛІНІЇ ЯК СУЧАСНІ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Історія розвитку оптоволоконних технологій

Перша волоконно-оптична лінія зв'язку для «Deutsche Telekom AG» була побудована АТ «Siemens» у 1977 р. З наступного року весь світ почав застосовувати нову технологію з використанням многомодового оптичного кабелю. На даний момент щороку прокладається більше 7 мільйонів кілометрів одномодового оптичного кабелю.

Оптоволоконне з'єднання забезпечує мінімум шумів і високу безпеку. Пластикові волокна використовуються при довжинах з'єднань не більше 100 метрів і при обмеженій швидкодії (<50 МГц). Останнім часом (2006-2007рік) розроблені пластикові волокна, придатні для передачі зі швидкістю 40 Гбіт/с при довжині кабелю 30 м і зі швидкістю 5,35 Гбіт/с при довжині кабелю 220 м (Lightware N4 2007). Помилка під час передачі по оптичному волокну не суттєво, що в багатьох випадках робить непотрібним контроль цілісності повідомлень. Будуючи мережу застосовують багатожильні кабелі (рис.1.1), але існують й інші різновиди кабелю: наприклад, двох-або чотирьохжильного, а також плоскі. У верхній частині рисунка [А] показано окреме оптоволоконно, а в нижній [Б] перетин восьмижильного оптичного кабелю. Світло (довжина хвилі 1350 або 1500 нм) вводиться в оптоволоконно за допомогою світлодіода або напівпровідникового лазера. Центральне волокно покривається шаром (кледінг, 1А), коефіцієнт заломлення якого менше ніж у центрального ядра (стрілками умовно показаний хід променів світла в волокну). Для забезпечення механічної міцності ззовні волокно покривається полімерним шаром (2А). У кабелі може знаходитися багато волокон, наприклад 8 (1Б). Під час прокладання кабелю застосовують сталевий трос (3Б), який зображено по центру. Зовнішня оболонка захищається сталевий оплітком (2Б) і забезпечує міцність кабелю, а також його стійкість до зовнішніх впливів.

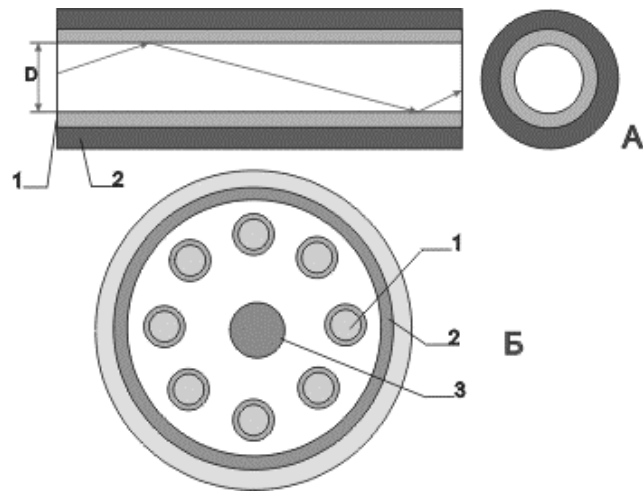


Рис.1.1. Перетин оптоволоконного кабеля. Із роботи [1]

1.2 Загальні та фізико-технічні характеристики оптоволоконна

Передавання світла по волоконно-оптичних світловодах ґрунтується на використанні ефекту повного внутрішнього відбивання, що проявляється коефіцієнт заломлення осердя, який вище коефіцієнта заломлення оболонки [2, 3]. Основна частина оптичного волокна складається з сердечника і оболонки. Матеріалом серцевини служить надчисте кварцове скло, потім покривається одним або двома шарами захисного пластикового покриття, практичним матеріалом для якого є акрилат, адже від покриття залежить міцність волокна.

Під час входження у волоконно-оптичний тракт джерело світла перетворює вхідні електричні сигнали в модульоване світло, яке прямує по волокну. З іншого кінця, оптичні сигнали, перетворюються фотодетектором назад в електричні сигнали. Іноді регенератори використовують на лініях великої довжини, що складається з приймача, підсилювача і передавача.

Оптичне волокно представляє собою циліндр з легованого кварцового скла [4, 5]. Для передачі сигналів найчастіше застосовуються два види волокна: одномодове і багатомодове. Назва волокна залежить, яким способом розповсюджується випромінювання в них. У багатомодовому волокні розмір світлопровідної жили порядку 50 – 60 мкм, яке змушує поширюватися одночасно велику кількість мод - променів введених в світловод під різними кутами (рис.1.2).

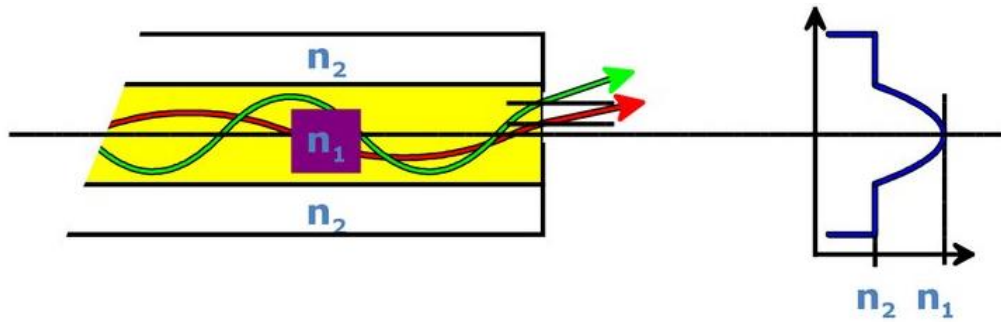


Рис.1.2. Схема багатомодового оптичного волокна. Адаптовано із роботи [10]

Багатомодове оптоволокно володіє відносно великим діаметром серцевини (стандартні значення 50 і 62,5 мкм), а також великою числовою апертурою, що полегшує монтаж і експлуатацію в цілому. Головний недолік цього волокна є межмодова дисперсія [6, 7] для зменшення впливу якої було розроблено багатомодове волокно з градієнтним профілем показника заломлення. Однак повністю усунути межмодову дисперсію все ж не вдається, що пояснюється як недосконалістю профілю показника заломлення, так і наявністю так званих спіральних мод, що виникають внаслідок осьової симетрії оптоволокна, позбутися яких в принципі неможливо.

Градієнтне волокно характеризується профілем показника заломлення. Тобто, цей тип оптоволокна характеризується меншою дисперсією часу поширення, що в свою чергу приводить до менших спотворень форми сигналу.

Застосування цього профілю показника заломлення призведе до зменшення дисперсії до 1 нс/км і навіть менше. Відомо, що, надаючи світловим імпульсам деяку форму (зворотний гіперболічний косинус), нехтуючи дисперсійними ефектами. Зокрема, маємо, змогу без спотворення форми передавати імпульси на відстань у тисячі кілометрів, що мають назву – солітони. У 1990 році Лінн Моллінар, співробітник Bellcore, показав можливість передачі даних без регенерації зі швидкістю 2,5 Гбіт/с на відстань 7500 км. У системі Моллінара лазер працював у солітоновому режимі і застосовувалося волокно з добавками ербію, що підтримувало посилення сигналу.

На даний момент необхідно використовувати повторювачі через кожні 30 км (проти 5 км для мідних проводів). Якщо порівнювати з мідними проводами оптоволоконні кабелі на порядок легші. Наприклад, одна тисяча скручених пар при довжині 1 км важить 8 тон, а два волокна тієї ж довжини, що володіють більшою пропускною здатністю, мають вагу 100 кг. Ця обставина відкриває можливість укладання оптичних кабелів уздовж високовольтних ліній зв'язку, підвішуючи або обвиваючи їх навколо провідників. На рис. 1.4 зображений одномодовий вид волокна (поняття мода характеризує розповсюдження електромагнітних хвиль). У ньому відбувається поширення тільки одного світлового променя (одна мода) (рис.1.5). Чим більше мод, тим більше дисперсійне перекручування форми сигналу. Одномодове волокно дозволяє отримати смугу пропускання в діапазоні 50-100 ГГц/км. Типове значення модової дисперсії лежить в межах від 15 до 30 нс/км. Ефективність різних мод різна. У деяких модах світло взагалі не переноситься, а енергія може перетікати з однієї моди в іншу. Це пов'язано з вигинами волокна і варіаціями коефіцієнта заломлення. В залежності від руху світла, воно буде переходити з однієї моди в іншу, поки не досягне рівноважний розподіл мод [8, 9].

Даний різновид волокна приймає меншу частку світла на вході, але підтримує мінімальне спотворення сигналу і мінімальні втрати амплітуди. Центральна частина одномодового волокна має діаметр 3-10 нм, а діаметр кледінга становить 30-125 нм. Число мод, що допускаються волокном, певною мірою визначає його інформаційну ємність. Модова дисперсія призводить до розпливання імпульсів і їх перекривання один на одного. На поляризаційну модову дисперсію впливають порушення кругової симетрії, механічне напруження, здавлювання, вигин і скручування волокна. Особливо, це важливо при переході на швидкості передачі порядку 10 Гбіт/с або вище.

На відміну від багатомодового кабелю, даний тип дозволяє передавати сигнали на багато більшу відстань, а дисперсія і втрати сигнали незначні. У одномодового кабелю використовуються лазерні приймачі, які застосовують світло, тільки з потрібною довжиною хвилі, але вони дорогі і не довговічні. Але в майбутньому

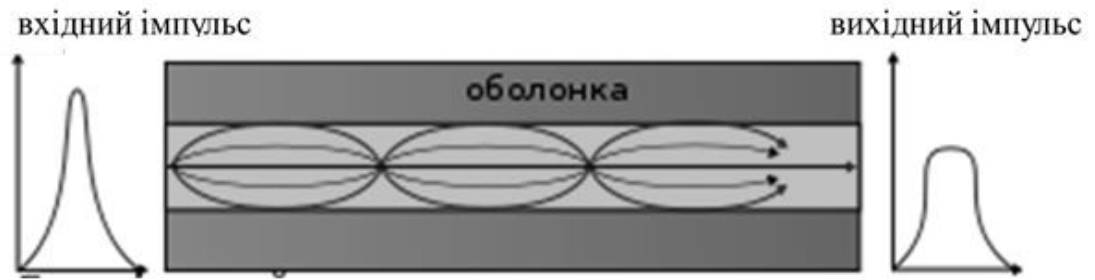


Рис.1.3. Схематична будова і принцип роботи градієнтного оптичного волокна. Із роботи [3]

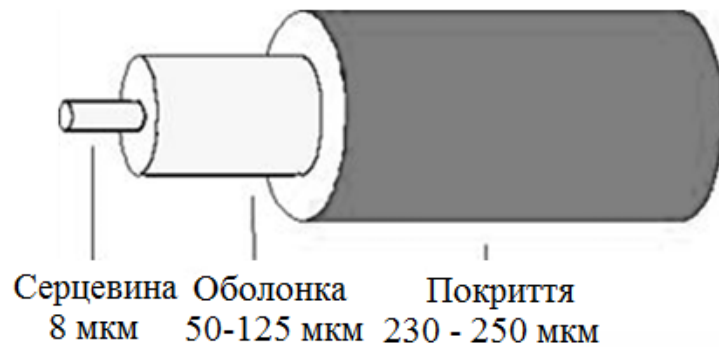


Рис 1.4. Схематичне зображення одномодового оптичного волокна. Із роботи [1]

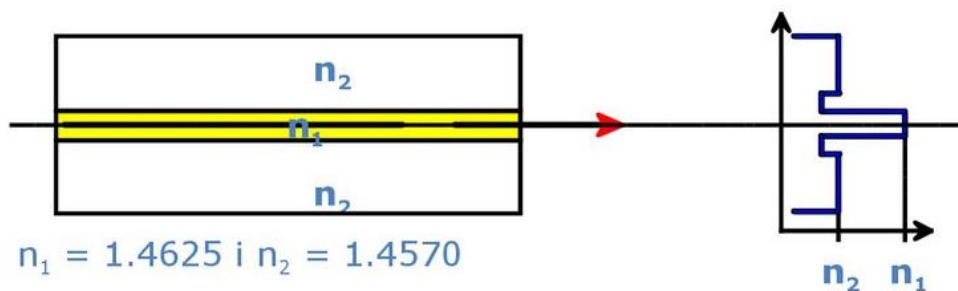


Рис.1.5. Хід променя в одномодовому оптичному волокні: n_0 і n_1 – коефіцієнт заломлення серцевини і оболонки. Адаптовано із роботи [10]

одномодовий кабель, напевно буде основним з огляду на його прекрасні характеристики. Одним з факторів, сильно впливають на якість передачі сигналів є дисперсія. У загальному випадку, дисперсія - це «розмивання» або розтягування світлового імпульсу, що відбувається під час передачі його в оптичному волокні.

Дисперсія сильно обмежує швидкість роботи оптичних систем, помітно знижуючи граничну смугу пропускання. Вона залежить від діаметра центральної частини волокна і довжини хвилі світла. Число мод N для багатомодового волокна (рис.1.2) визначається як:

$$N = \frac{2\pi^2 d^2 A}{\lambda^2}$$

де d – діаметр центральної частини (ядра); A – чисельна апертура волокна;
 λ – довжина хвилі.

РОЗДІЛ 2

ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВОЛОКОННО – ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

2.1 Етапи розвитку ВОЛЗ

З розвитком техніки з початку ХХ століття постійно просліджується тенденція використання електромагнітних хвиль усе більш високої частоти. Характерною особливістю інформаційної ери був стрімкий розвиток комунікацій – однієї з головних інфраструктур інформаційних технологій. В умовах зростаючої потреби в забезпеченні надійного каналу зв'язку як в сфері побудови глобальних інформаційних мереж, так і в області промислової автоматизації з'явилася необхідність пошуку альтернативних технологій передачі даних замість традиційних, заснованої на мідному кабелі.

Альтернатива – волоконооптичній лінії зв'язку (ВОЛЗ), яка дозволяє передавати інформацію з істотно більшими швидкостями в порівнянні з мідним кабелем, несприйнятлива до електромагнітного випромінювання. Припущення, що електроніка і радіотехніка досягнуть оптичного діапазону хвиль, стає усе більш достовірним. З'явилася оптоелектроніка – область науки і техніки на стику оптики й електроніки. У другій половині ХХ століття виявилось, що передача сигналу за допомогою світла набагато ефективніше як електричного, так і НВЧ-сигналу [5, 6]. Роком виникнення оптоелектроніки можна вважати 1955-й рік, коли Е. Лоебнер описав потенційні параметри різних оптоелектронних пристроїв зв'язку, названих оптронами, тобто коли були обґрунтовані основні характеристики з'єднання оптичного й електронного пристрою.



Рис. 2.1. Жмут оптичних волокон. Із роботи [6]

Поява на початку 1960-х років лазерів сприяла прискоренню розвитку оптоелектроніки. Напівпровідникові лазери стали випускатися серійно в 1970 р. Видатний вклад в розробку гетеролазерних структур вніс російський академік Ж.І. Алфьоров. У 1970 році американська фірма «Corning» розробила технологію виготовлення кварцового волокна із загасанням 20 дб/км. Ця подія стала епохальною і послужила стимулом для подальших наукових досліджень і практичних розробок [4, 5]. На сьогоднішній день загасання кварцових оптичних волокон складає менш 0,2 дб/км. Головною метою розробки оптичних волокон було забезпечення оптичних засобів зв'язку. Для далекого зв'язку найбільш важливі такі властивості волокна, як широкосмужність (теоретично широкосмужність оптичного волокна може складати до декількох десятків терагерц) і малі втрати. Для внутрішньо-міських мереж особливе значення мають малий діаметр, відсутність взаємного впливу і безіндукційність. Після інтенсивних досліджень в період з 1975 до 1980 року з'явилася перша комерційна волоконно-оптична система, що оперувала світлом з довжиною хвилі 0,8 мкм і використала напівпровідниковий лазер на основі арсеніду галію (GaAs). Бітрейт систем першого покоління становив 45 Мбіт/с, відстань між повторювачами – 10 км. 22 квітня 1977 в Лонг-Біч, штат Каліфорнія, компанія «General Telephone and Electronics» вперше використала оптичний канал для передачі телефонного трафіку на швидкості 6 Мбіт/с [6, 11]. Друге покоління волоконно-оптичних систем було розроблено для комерційного використання на початку 1980-х. Вони оперували світлом з довжиною хвилі 1,3 мкм від InGaAsP-лазерів. Проте такі системи все ще були обмежені через розсіювання, що виникає в каналі. Проте вже в 1987 році ці системи працювали на швидкості до 1,7 Гбіт/с при відстані між повторювачами 50 км.

Перший трансатлантичний телефонний оптичний кабель – ТАТ-8 – був введений в експлуатацію в 1988 році. В його основі лежала оптимізована технологія «Desurvire» посилення лазера. ТАТ-8 розроблявся як перший підводний волоконно-оптичний кабель між США та Європою. Розробка систем хвильового мультиплексування дозволила у декілька разів збільшити швидкість передачі

даних по одному волокну і до 2003 року при застосуванні технології спектрального ущільнення була досягнута швидкість передачі 10,92 Тбіт/с (273 оптичних канали по 40 Гбіт/с) [3, 11]. У 2009 році лабораторії Белла за допомогою мультиплексування 155 каналів по 100 Гбіт/с вдалося передати дані зі швидкістю 15,5 Тбіт/с на відстань 7000 кілометрів.

2.2 Переваги і недоліки ВОЛЗ

Низькі втрати при передачі. Волоконно-оптичні кабелі з малими втратами дозволяють передавати сигнали зображення на великі відстані без використання маршрутних підсилювачів або репітерів. Це особливо зручно для схем передачі на далекі відстані - наприклад, системи спостереження за автострадами або залізницею, де нерідкі безрепітерні ділянки по 20 км.

Широкосмугова передача сигналу. Широка смуга передачі оптичного волокна дозволяє одночасно передавати по одному волоконно-оптичному кабелю високоякісне відео, звук і цифрові дані.

Несприйнятливість до перешкод і наведень. Повна нечутливість оптоволоконного кабелю до зовнішніх електричних перешкод і наведень забезпечує стійку роботу систем навіть у тих випадках, коли монтажники не приділили достатню увагу розташуванню довколишніх мереж живлення.

Електрична ізоляція. Відсутність електропровідності для оптоволоконного кабелю означає, що йдуть проблеми, пов'язані із змінами потенціалу землі, характерні, наприклад, для електростанцій або залізниць. Це ж їх властивість усуває небезпеку пошкодження обладнання, викликаного стрибками струму від блискавок та ін.

Нестаріюча лінія зв'язку. Простою заміною кінцевого обладнання, а не самих кабелів, волоконно-оптичні мережі можна модернізувати для передачі більшого обсягу інформації. З іншого боку, частина або навіть всю мережу можна використовувати для зовсім іншої задачі, наприклад, об'єднання в одному кабелі локальної обчислювальної мережі і замкнутою ТВ системи.

Вибухо- та пожежобезпечність. Через відсутність іскроутворення оптичне волокно підвищує безпеку мережі на хімічних, нафтопереробних підприємствах, при обслуговуванні технологічних процесів підвищеного ризику.

Економічність і тривалий термін експлуатації. Волокно виготовлено з кварцу, основу якого складає двоокис кремнію, широко поширеної, а тому недорогого матеріалу, на відміну від міді. З часом волокно зазнає деградації. Це означає, що затухання в прокладеному кабелі поступово зростає, але завдяки досконалості сучасних технологій виробництва ОВ, термін служби становить приблизно 25 років.

До недоліків ВОЛЗ можна віднести високу складність монтажу і спеціальні інструменти для цього. Оптичне волокно менш міцне і гнучке, ніж електричне. Типова величина допустимого радіуса вигину становить близько 10-20 см, при менших радіусах вигину центральне волокно може зламатися. Оптичне волокно чутливе до іонізуючого випромінювання, через яке знижується прозорість скловолокна та збільшується загасання сигналу.

2.3 Структура і конструктивні елементи ВОЛЗ

У загальному вигляді ВОЛЗ містить вхідний кодувальний пристрій (КП), передавач, оптичний кабель, ретранслятор (Р), приймач і декодувальний пристрій (ДКП). Інформація надходить на передавач, що складається з джерела випромінювання (ДВ) і модулятора (М). Як ДВ в системах оптичного зв'язку використовуються твердотілі і напівпровідникові лазери, а також світлодіоди. Модулятор управляє інтенсивністю випромінювання, що надходить від ДВ. При великій довжині ВОЛЗ спостерігається сильне ослаблення світлового променя, тому для відновлення його інтенсивності використовується ретранслятор. В приймачі оптичне випромінювання знову перетворюється в електричний сигнал і посилюється за потужністю з допомогою підсилювача П. Декодувальний пристрій дозволяє розшифрувати передану інформацію.

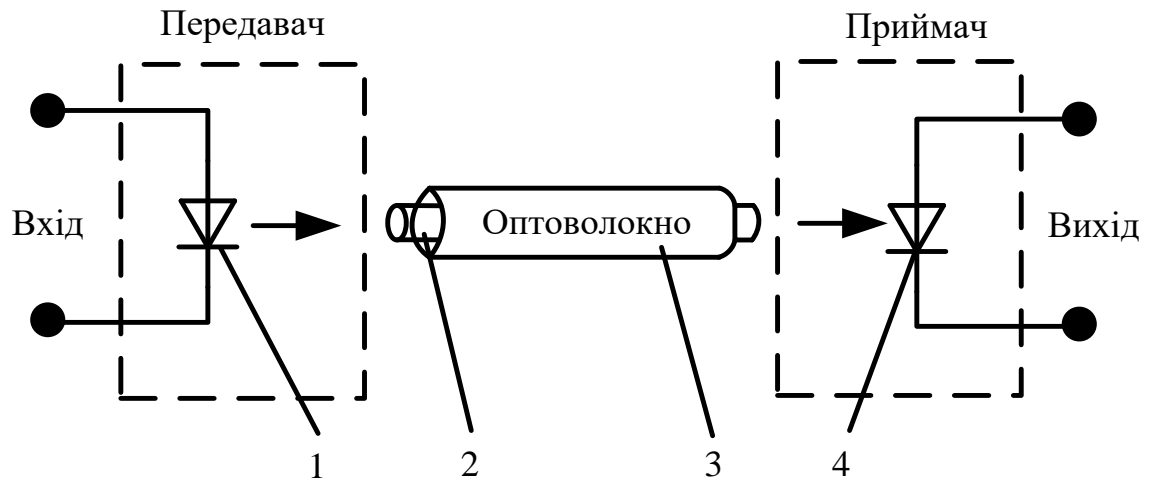


Рис. 2.2. Структурна схема волоконно-оптичної лінії зв'язку: 1 – світлодіод; 2 – серцевина; 3 – оболонка; 4 – фотодіод. Із роботи [3]

Реальна схема ВОЛЗ інколи містить не всі названі елементи. При невеликій довжині ліній відпадає необхідність в застосуванні ретранслятора. При використанні в якості ДВ напівпровідникових лазерів і світлодіодів управління інтенсивністю випромінювання здійснюється в самих приладах, тому додатковий зовнішній модулятор не потрібний [3].

Основу ВОЛЗ складають волоконні світловоди, передача оптичної енергії якими здійснюється за рахунок ефекту повного внутрішнього відбивання. Це явище спостерігається при падінні променя світла на межу розділу двох середовищ з показниками заломлення n_1 і n_2 , коли випромінювання розповсюджується в оптично більш щільному матеріалі.

При розповсюдженні оптичного сигналу ВОЛЗ відбувається «розмивання» його в часі. Це пов'язане з тим, що, по-перше, промені світла проходять різний шлях, по-друге, всі джерела мають кінцеву ширину спектра випромінювання і, по-третє, спостерігається дисперсія світла в матеріалі волокна. Очевидно, що повне розширення імпульсу при передачі оптичним кабелем визначається трьома перерахованими чинниками і пропорційно довжині ВОЛЗ. У залежності від призначення і відстані між передавачем і приймачем ВОЛЗ поділяють на

лінії великої довжини, або магістральні; середні, або внутрішньоміські, і короткі, або внутрішньооб'єктні.

Магістральні лінії призначені для далекого зв'язку (відстань більш 50 км). До них високі вимоги по пропускній спроможності (не менше 108 біт/с) і малому затуханню ($V = 1,5$ дБ/км). Цим вимогам задовольняють тільки кварцові волокна типу селфоків. В якості джерел випромінювання застосовують твердотільні лазери, а приймачів – лавинні фотодіоди. Для відновлення потужності сигналу через 10-20 км розміщують ретранслятори.

Внутрішньоміські лінії забезпечують зв'язок високопродуктивних центральних ЕОМ з віддаленими приладами збору і первинної обробки даних і терміналами, передачу інформації між різноманітними обчислювальними центрами, телефонний зв'язок між абонентами і кабельні системи телебачення і радіомовлення. Ці ВОЛЗ характеризуються середньою довжиною (1-10 км), меншою швидкістю передачі інформації (до 107 біт/с), більшим допустимим згасанням (до 20 дБ/км). В якості оптичних ліній використовуються кварцеві двошарові волокна, джерел випромінювання – напівпровідникові лазери, фотоприймачів – р-і-п-фотодіоди [3, 8].

Внутрішньооб'єктні ВОЛЗ служать для організації зв'язку між окремими процесорами обчислювальних комплексів, зовнішніми приладами і ЕОМ, окремими блоками електронної апаратури і т. д. Подібні лінії потрібні для монтажу контрольно-вимірювальних приладів, систем промислового телебачення, місцевого телефонного і радіозв'язку, приладів автоматичного управління різноманітними об'єктами і технологічними процесами.

Невелика довжина (до сотень метрів) дозволяє використати прості скляні волокна з більшим згасанням (50-100 дБ/км), GaAlAs – світловоди, PIN – фотодіоди і інші напівпровідникові оптоелектронні елементи.

Останні досягнення в області технології оптичних матеріалів і оптоелектронних пристроїв дозволяють прогнозувати широке застосування ВОЛЗ в системах управління, переробки і передачі інформації.

2.4 Загальні принципи проектування ВОЛЗ

Міжміські оптоволоконні системи призначені для передачі інформації на великі відстані і розраховані на велике число каналів. Вони повинні мати мале затухання і дисперсію, велику інформаційно – пропускну здатність. Оптичні системи міського зв'язку використовуються в якості з'єднувальних між міськими АТС і вузлами зв'язку.

Об'єктові системи служать для передачі інформації всередині об'єкта. До них відносяться: внутрішній установчий зв'язок, відеотелефонний зв'язок, внутрішня мережа кабельного телебачення, бортові інформаційні системи рухомих об'єктів .

Підводні системи передачі призначені для здійснення зв'язку через великі водні завади.

Монтажні оптичні кабелі призначені для внутрішнього та міжблокового монтажу апаратури. Будівництво ВОЛЗ здійснюється наступними етапами [13]: розробка технічного завдання; розробка проектної документації; прокладка та монтаж кабелю, встановлення обладнання для ВОЛЗ; прийом лінії в експлуатацію [3, 13]. Розробка технічного завдання здійснюється після отримання замовлення на будівництво ВОЛЗ. Під час створення технічного завдання визначаються із базовими принципами побудови ВОЛЗ, здійснюється вибір системи передачі, вибір траси, вибір типу кабелю, визначення загальної вартості будівництва.

При будівництві ВОЛЗ виділяють наступні ділянки прокладання волоконно-оптичного кабелю:

- прокладання кабелю в ґрунт. (за допомогою кабелеукладачів, екскаваторів, траншеєкопачів або вручну);
- прокладання кабелю по дну водоймищ та через водні перешкоди (за допомогою морських або річкових кабелеукладачів);

– прокладання кабелю з підвішуванням його на опорах ліній електропередачі (ЛЕП), на опорах електрифікованих залізниць, на опорах повітряних ліній зв'язку;

– прокладання кабелю в кабельну каналізацію, тунелі метрополітену, колектори; прокладання кабелю в будинках, де міститься прикінцеве обладнання.

Прокладання оптичного кабелю в ґрунт здійснюється бетраншейним способом за допомогою кабелеукладача або у заздалегідь приготовану траншею, викопану вручну чи механізованим способом (траншеєкопачем, екскаватором). Глибина прокладки підземних оптичних кабелів (броньованих та неброньованих) в ґрунтах 1–4 групи повинна бути 1,2 м – для оптичних кабелів магістральної первинної мережі, внутрішньозонових оптичних кабелів, для оптичних кабелів, що прокладаються поза населеними пунктами, та оптичних кабелів, що прокладаються на з'єднувальних кабельних лініях. Приклад конструкцій оптичного кабелю зв'язку для прокладання в ґрунт, в тому числі з використанням прокладання всередині пластикових трубок показано на рис. 2.3. Для прокладання кабелів по дну морів використовують спеціальні кабелі з високоміцною конструкцією. Прокладання здійснюється з допомогою морських кабелеукладачів (спеціалізоване судно).

Кабельні переходи через водні перешкоди, залежно від призначення кабельних ліній і місцевих умов, можуть виконуватися: під водою (із заглибленням у дно і без заглиблення); по мостах; на штучних спорудах (опори і т. ін.).

При прокладанні оптичного кабелю в кабельну каналізацію потрібно контролювати тягове зусилля, котре не повинне перевищувати нормованого значення на кабель [10-12]. При прокладанні оптичного кабелю в кабельну каналізацію використовують направляючі пристрої (ролики, коліна та інші), що забезпечує оптичний кабель від пошкоджень при вводі в кабельну каналізацію.

Підвішувати ОК доцільно в тих випадках, коли з якоїсь причини неможливе прокладання кабелів в ґрунті або в кабельній каналізації: в умовах вічної мерзлоти, скельного ґрунту, при прокладанні через ріки, глибокі болота та ін.

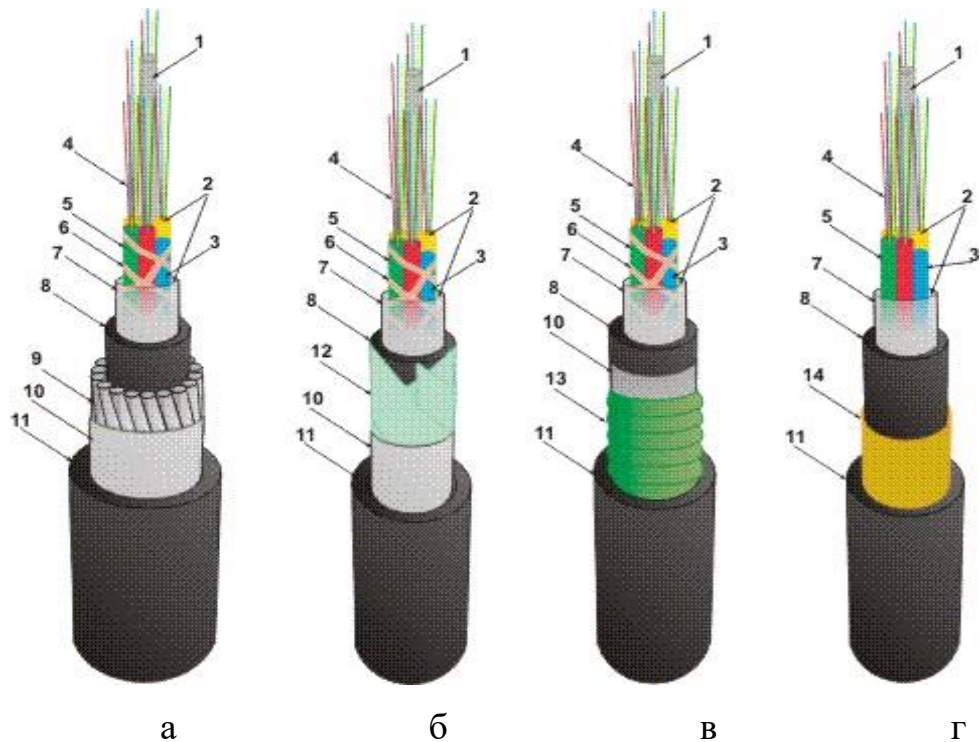


Рис. 2.3. Конструкції оптичного кабелю зв'язку для прокладання в ґрунт [8]: а – кабель з бронею з круглих (пласких) сталевих дротів; б – кабель з бронею з двох сталевих стрічок; в – кабель з використанням гофрованої оболонки; г – повністю діелектричний кабель:

- 1 – центральний силовий елемент ;
- 2 – гідрофобний наповнювач;
- 3 – кордель заповнення (для щільного укладання елементів в осерді ОК);
- 4 – оптичне волокно (основний елемент конструкції оптичного кабелю);
- 5 – оптичний модуль ; 6 - зкріплюючі нитки;
- 7 – гідроізоляція осердя - водо-блокуюча стрічка (папір);
- 8 – внутрішня (проміжна) поліетиленова оболонка;
- 9 – броня з круглих сталевих дротів;
- 10 – гідроізоляція бронепокрову - водоблокуюча стрічка (папір);
- 11 – зовнішня захисна поліетиленова або полімерна оболонка, що не розповсюджує горіння;
- 12 – броня з двох сталевих стрічок накладених перехресно одна на іншу;
- 13 – гофрована оболонка;
- 14 – нитки СВМ (мають високу стійкість на розрив)

Крім того, ОК, що підвішуються, мають експлуатаційні переваги: порівняно швидке будівництво ВОЛЗ; відсутність труднощів при пошуку пошкодженої ділянки ОК; мала вірогідність пошкоджень кабелів (менше одного пошкодження на рік на 1000 км, це набагато вища надійність, ніж підземних ВОЛЗ).

Підводний оптичний кабель стоїть осторонь від усіх інших, так як прокладається в принципово інших умовах. Майже всі типи підводних кабелів, так чи інакше, броньовані, а ступінь бронювання вже залежить від рельєфу дна і глибини залягання. Розрізняють наступні основні типи підводних кабелів (за типом бронювання): не броньований; одинарне (одноповивное) бронювання; посилене (одноповивное) бронювання; посилене скельне (двухповивное) бронювання.

Прямої кореляції бронювання кабелю з глибиною залягання немає, так як армування захищає оптику не від високих тисків на глибині, а від діяльності морських мешканців, мереж, тралів і якорів риболовецьких суден. Така перевага ВОЛЗ, як неприйнятність до індукційних завад, часто розглядається при побудові інформаційних систем в енергетичних комплексах як більш важлива, ніж вартість. Висока надійність ВОЛЗ у безпосередній близькості до потужних електропристроїв та високовольтних проводів викликає великий попит на них не тільки електротехнічних компаній, а й інших відомств [2, 20]. Вибір варіанту прокладання оптичного кабелю залежить від природних умов проходження траси волоконно – оптичної лінії зв'язку.

При виборі траси для підвішування ОК на опорах слід, за можливості, уникати ділянок із ґрунтами, агресивними щодо матеріалу цих опор [5, 22]. У місцях, де телефонна кабельна каналізація перенавантажена, або взагалі відсутня, а також при заводі волокна на які-небудь віддалені об'єкти використовують міні - і мікро траншейне прокладання кабелю, або поліетиленової трубки, в котру пізніше методом пневмопрокладання задувається кабель.

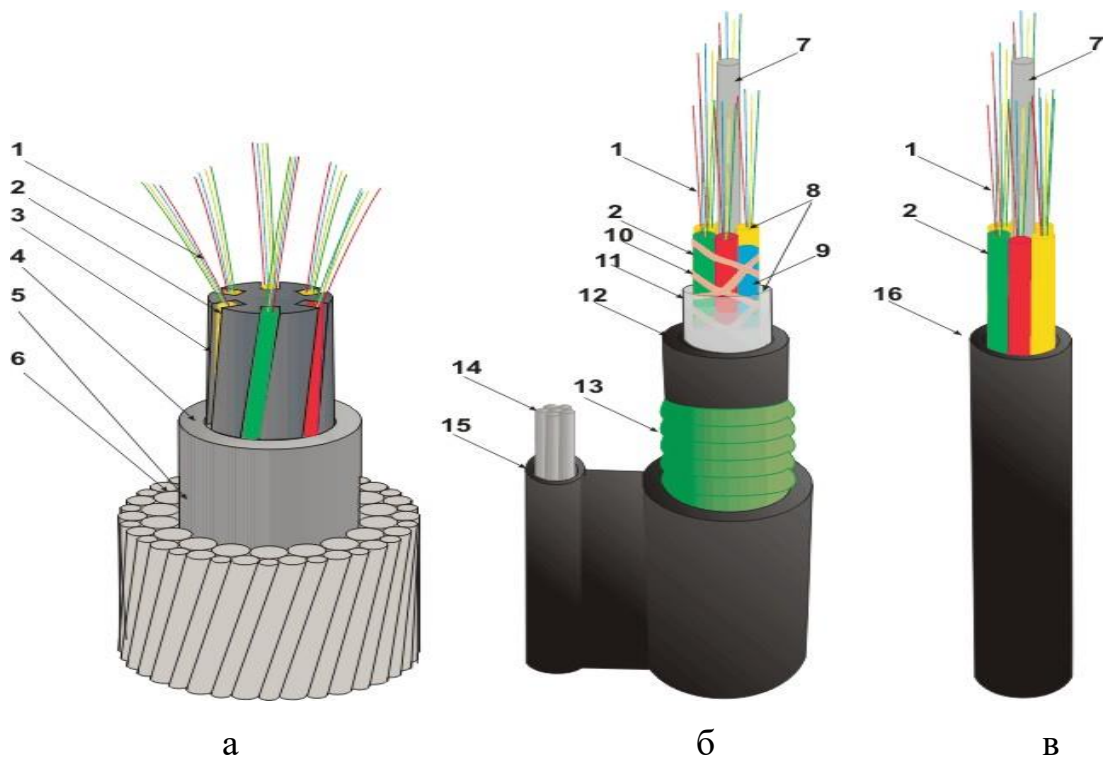


Рис. 2.4. Конструкції кабелю: а - вбудованого в грозозахисний трос; б - самонесівного кабелю; в - навивного кабелю [8]:

- 1 – оптичне волокно (основний елемент конструкції оптичного кабелю);
- 2 – профільований алюмінієвий стержень;
- 3 – оптичні модулі;
- 4 – алюмінієва трубка;
- 5; 6 – навиви зі сталевих і алюмінієвих дротів проводу ЛЕП;
- 7 – центральний силовий елемент;
- 8 – гідрофобний заповнювач;
- 9 – кордель заповнення (для щільного укладання елементів в осерді ОК);
- 10 – навив зі скріплюючих осердя синтетичних ниток;
- 11 – гідроізоляція осердя - водо-блокуюча стрічка (папір);
- 12 – внутрішня (проміжна) поліетиленова оболонка;
- 13 – гофрована оболонка;
- 14 – сталевий несівний трос;
- 15 – зовнішня поліетиленова оболонка з включеним у неї несівним сталевим тросом;
- 16 – зовнішня поліетиленова оболонка.

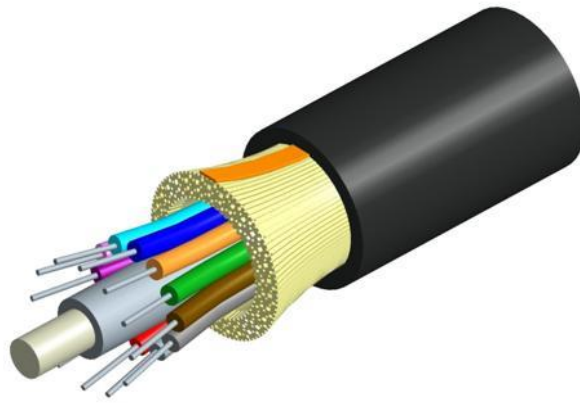


Рис. 2.5. Зовнішній вигляд оптоволоконного кабелю для прокладання під водою

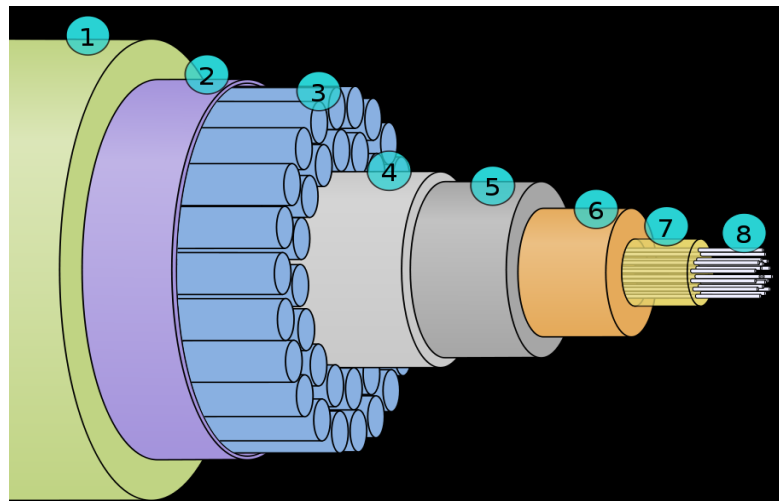


Рис 2.6. Конструкція підводного кабелю:

- 1 – поліетиленова ізоляція;
- 2 – майларовое покриття;
- 3 – двохповивное бронювання сталевий дротом;
- 4 – алюмінієва гідроізоляційна трубка;
- 5 – полікарбонат;
- 6 – центральна мідна або алюмінієва трубка;
- 7 – внутримодульний гідрофобний заповнювач;
- 8 – оптичні волокна

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ НАСЕЛЕНИМИ ПУНКТАМИ

3.1 Вибір траси ВОЛЗ

Сумська область розташована у північно – східній частині Лівобережної України. Областю проходять декілька транспортних коридорів. На півдні, сході та заході Сумщина межує із Харківською, Полтавською та Чернігівською областями України. Відстань від обласного центра до Києва 350 км. Північна частина області лежить у межах Новгород-Сіверського Полісся, південна – належить до лісостепової зони. Річки Сумської області належать до басейну Дніпра і здебільшого є його лівими притоками. Найзначніші з них: Десна, Сейм, Сула, Псел, Ворскла. У долинах річок – численні озера-стариці і болота; багато штучних ставків. Проведемо аналіз існуючих автодоріг між пунктами Недригайлів – Суми по атласу автомобільних доріг України. Вибираємо трасу поряд із автодорогою Недригайлів – Суми з урахуванням можливості застосування механізмів при будівництві, з урахуванням джерел блукаючих токів і ліній електропередач. У заміській частині траса повинна проходити паралельно шосейним і ґрунтовим дорогам, мати мінімум перетинів з ріками, водоймами, шосейними і залізничними дорогами.

3.2. Вибір системи передачі

Необхідна кількість КТЧ можна організувати, застосовуючи різного типу апаратуру. При застосуванні аналогової апаратури ущільнення типу К-300 (система передачі однополосна, однокабельна), що призначена для роботи з малогабаритному коаксіальному кабелю МКТП-4, організувавши два 300 – каналних лінійних тракти, можна одержати 600 КТЧ. Цифрова система передачі ІКМ-480 при використанні того ж типу кабелю і тієї ж кількості необслуго-

вуємих пунктів, має високу завадостійкість, і дальність практично не впливає на якість зв'язку, так само ЦСП має високу стабільність електричних параметрів, високу ефективність використання каналів для передачі сигналів дискретної інформації, високі експлуатаційні і технічні показники. Цифрова система передачі ІКМ-480 по числу КТЧ цілком задовольняє усім вимогам, але доцільніше застосувати ВОСП тому що тут довжини регенераційних ділянок значно більше, ніж у ІКМ-480. Тому потребує меншу кількість НРП, а значить вартість лінійних споруджень буде нижче. Для організації заданої кількості КТЧ застосуємо апаратуру ВОСП Сопка-3М, яка працює по одномодовому волокну, та здатну організувати 480 каналів між двома кінцевими пунктами. Буде потрібно по одному комплекті даної апаратури в кожному ОП. Наведемо характеристики волоконно-оптичних систем передачі у вигляді таблиці 3.1. Сопка-3М працює на довжині хвилі $L = 1,55$ і $1,3$ мкм. Довжина хвилі $1,55$ мкм володіє самим малим загасанням.

Таблиця 3.1

Параметри апаратури для одномодового волокна

Тип ВОСП	Сопка - 3	Сопка - 3М
Кількість каналів	480	480
Швидкість передачі, Мбіт/с:		
– в електронному тракті	34,368	34,368
– в оптичному тракті	41,242	68,736
Довжина хвилі оптичної несучої, мкм	1,30	1,30/1,55

Комплект апаратури ВОСП Сопка-3М забезпечує можливість незалежного і роздільного введення трактів системи передачі в міру необхідності нарощування магістральних і внутрішньозонових кабельних ліній зв'язку. В устаткуванні ВОСП, установлюваному як у ОП, передбачені стаціонарні типові цифрові стійки, що дозволяє при необхідності здійснити виділення цифрових чи потоків окремих каналів у транзитних пунктах.

3.3 Вибір марки і ємності кабелю

Одномодові оптичні кабелі марок ОКЛ-01, ОКЛ-02, ОКЛС-01, ОКЛС-03, ОКЛК-01, ОКЛБ-01, ОКЛАК-01 призначені для прокладки в трубах, блоках, колекторах, помостах і в шахтах, ґрунтах усіх категорій ручним і механізованим способами й експлуатації на внутрішньозонових і магістральних лініях зв'язку.

Кабелі мають наступну конструкцію: ОКЛ-01 – має ЦСЕ зі склопластикового стрижня, навколо якого убудовані ОМ з одномодовими ОВ, заповнені гідروفобним заповнювачем, поверх сердечника накладена поліетиленова захисна оболонка. ОКЛ-02 – тієї ж конструкції, але з ЦСЕ зі сталевих тросу. ОКЛБ-01 – має ЦСЕ зі склопластикового стержня, навколо якого скручені ОМ. Поверх сердечника накладена проміжна поліетиленова оболонка, броня зі сталевих стрічок і захисна поліетиленова оболонка. ОКЛАК-01 – має ЦСЕ зі склопластикового стрижня, навколо якого скручені ОМ.

Розраховуємо необхідну кількість ОК для прокладки по трасі ВОЛС з урахуванням запасів. Запаси на прокладку в ґрунт – 2%, на прокладку в кабельній каналізації 5,7%, на прокладку через водяні перешкоди 14%.

Введення кабелю виконують в пунктах: Суми – 6,6 км; Недригайлів – 2,8 км.

Необхідна кількість оптичного кабелю визначається:

$$N = (48 \cdot 1,25) + (9,5 \cdot 1,06) + (0,5 \cdot 1,19) = 71 \text{ км}$$

За результатами розрахунку видно, що між пунктами Суми і Недригайлів необхідно прокласти 71 км оптичного кабелю типу ОКЛБ-01-0,3/2,0-4.

ВИСНОВКИ

1. У ході виконання кваліфікаційної роботи розглянуті питання стосовно фізичних принципів функціонування волоконно-оптичних ліній зв'язку, параметрів оптичного волокна, основ розрахунку параметрів волоконно-оптичних ліній.

2. Установлено, що як джерела світла оптичні волокна мають ряд переваг: не проводять електрику, ультрафіолетові та інфрачервоні промені; мають здатність проводити великі світлові потоки при мінімальному діаметрі кабелю; легкий контроль зміни кольору і світлоєфектів; рівномірне освітлення; мале споживання енергії; великий термін експлуатації кабелю (понад 10 років).

3. Показано, що в процесі експлуатації і зберігання оптичні кабелі повинні забезпечувати стабільність характеристик, захист від механічних, кліматичних та інших видів зовнішніх впливів, зручність використання, монтажу і ремонту.

4. Розрахунок параметрів волоконно-оптичної лінії зв'язку Суми – Недригайлів показав, що найбільш ефективним для використання в даних кліматичних і транспортних умовах є оптичний кабель типу ОКЛБ-01-0,3/2,0-4, який складається із серцевини SiO_2 і оболонки 3,1% GeO_2 +96,9% SiO_2 довжиною 71 км.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Розорінов Г. М. Високошвидкісні волоконно – оптичні лінії зв’язку: навч. посіб./ Г. М. Розорінов , Д. О. Соловійов. – Київ: Ліра – К, 2007. – 198 с.
2. Осадчук В.С., Осадчук В.В. Волоконно-оптичні системи передачі. - Вінниця: ВНТУ, 2005. – 225 с.
3. Однодворець Л.В. Основи оптоелектроніки: конспект лекцій. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010.– 44 с.
4. КНД 45-136-99. Інструкція по захисту ОК зв’язку від ударів блискавки та електромагнітних впливів. – К.: Держкомзв’язок, 2003. – 130 с.
5. <http://оскс.ua/?p=3612> – з’єднання оптичних волокон - зварювання і механічний сплайс; дата доступу 01.05.17.
6. Омельчук В.В., Гладич І.К. Електроніка та мікросхемотехніка: Навч. посібник. – Житомир: ЖРІВЕ, 2004. – 356 с.
7. Khan M., Shah S. Data and information visualization methods and interactive mechanisms: a survey // Inter. J. Comp. Appl. – V.34(1). – 2011. – P. 1–14.
8. Болю В.Ф., Данько В.Г. Основи електроніки і мікропроцесорної техніки.– Харків: НТУ «ХП», 2011. – 257 с.
9. Якименко Ю.І. Мікропроцесорна техніка: Підручник. – К.: ІВЦ Політехніка-Кондор, 2004. – 235 с.
10. Матвієнко М.П. Основи електроніки: підручник. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2017. – 364 с.
11. Матвійків М.Д., Когут В.М., Матвійків О.В. Елементна база електронних апаратів – Львів: Вид-во НТУ «Львівська політехніка», 2018. – 428 с.
12. Методика вимірювання робочих характеристик світловипромінюючих діодів / Лободюк О.С., Пушкар С.О., Скубак Р.М. // Матеріали і програма Міжнародної науково-технічної конференції студентів та молодих вчених «Фізика, електроніка, електротехніка. ФЕЕ-2020». – Суми: СумДУ, 2020. – 91 с.