

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ**

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім. О.С. ПОПОВА**

**Кафедра волоконно-оптичних ліній зв'язку**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
З КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ**

за темою:

**«ПРОЕКТ ОДНОХВИЛЬОВОЇ  
ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ»**

з дисципліни

**«НАПРЯМНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ОПТИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ»**

для студентів заочної форми навчання за напрямом

**6.050903 – ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ**

**Укладачі:**

д.т.н., проф. Бондаренко О.В.,  
доц. Петрович В.С.,  
к.т.н., ст. викл. Степанов Д.М.

**Відп. редактор – проф. Одінцов М.М.**

У методичних вказівках викладені основні положення щодо виконання курсового проекту з курсу «Напрямні системи електричного та оптичного зв'язку». Ці положення можуть бути використані студентами при дипломному проектуванні.

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

методичною радою академії зв'язку  
Протокол № 16 від 23.03.2012 р.

**УХВАЛЕНО**

на засіданні кафедри ВОЛЗ  
та рекомендовано до друку.  
Протокол № 2 від 25.09.2012 р.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ .....                                                                                                           | 5  |
| 1 ВИМОГИ ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ ТА ЙОГО ОФОРМЛЕННЯ ..5                                                                               |    |
| 2 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ<br>ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ.....                                                | 6  |
| 3 ВИХІДНІ ДАНІ ДО ПРОЕКТУВАННЯ ВОЛП.....                                                                                           | 6  |
| 4 ВИБІР ТРАСИ, ТИПУ КАБЕЛЮ ТА СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ.....                                                                                | 10 |
| 4.1 Вибір траси волоконно-оптичної лінії передачі .....                                                                            | 10 |
| 4.2 Вибір і обґрунтування типу оптичного волокна .....                                                                             | 13 |
| 4.3 Вибір і обґрунтування типу оптичного кабелю .....                                                                              | 13 |
| 4.4 Вибір і обґрунтування апаратури ВОСП.....                                                                                      | 17 |
| 5 РОЗРАХУНОК ОПТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВОЛОКОН І<br>ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕДАЧІ КАБЕЛІВ .....                                                    | 18 |
| 5.1 Визначення оптичних параметрів волокон .....                                                                                   | 18 |
| 5.2 Визначення втрат у оптичному волокні .....                                                                                     | 19 |
| 5.3 Розрахунок погонної дисперсії сигналу в одномодовому<br>оптичному волокні .....                                                | 20 |
| 6 РОЗРАХУНОК ДОВЖИНИ ДІЛЯНКИ РЕГЕНЕРАЦІЇ ВОЛОКОННО-<br>ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ, ДІАГРАМА ЕНЕРГЕТИЧНИХ<br>РІВНІВ .....              | 20 |
| 6.1 Розрахунок довжини ділянки регенерації за загасанням.....                                                                      | 21 |
| 6.2 Розрахунок довжини ділянки регенерації за дисперсією .....                                                                     | 22 |
| 6.3 Розміщення регенераційних пунктів трасою ВОЛП.....                                                                             | 23 |
| 6.4 Побудова діаграми рівнів ВОСП на довжині однієї ділянки<br>регенерації.....                                                    | 23 |
| 7 ЗАХИСТ ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ ВІД ВПЛИВУ<br>ЗОВНІШНІХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ.....                                                      | 24 |
| 7.1 Захист оптичних кабелів від удару блискавки.....                                                                               | 24 |
| 7.2 Розрахунок небезпечних магнітних впливів .....                                                                                 | 29 |
| 8 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ ЛІНІЙНИХ СПОРУД<br>ВОСП .....                                                                   | 33 |
| 9 ОРГАНІЗАЦІЯ РОБІТ ІЗ БУДІВНИЦТВА ТА МОНТАЖУ<br>ПРОЕКТОВАНОЇ ЛІНІЇ. КОШТОРИСНО-ФІНАНСОВИЙ<br>РОЗРАХУНОК ЛІНІЙНИХ СПОРУД ВОЛП..... | 35 |
| 9.1 Організація будівельно-монтажних робіт.....                                                                                    | 35 |
| 9.2 Кошторисно-фінансовий розрахунок.....                                                                                          | 38 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....                                                                                                              | 40 |
| ДОДАТОК 1 – Основні правила оформлення курсового проекту.....                                                                      | 41 |
| ДОДАТОК 2 – Приклад оформлення титульного листа та рецензії на<br>курсний проект.....                                              | 43 |
| ДОДАТОК 3 – Приклад оформлення заголовків, тексту, формул,<br>таблиць і рисунків.....                                              | 45 |

## **ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ**

Цей посібник з курсового проектування за темою «Проект однохвильової волоконно-оптичної лінії передачі» призначений для студентів заочної форми навчання за напрямом 6.050903 – «Телекомунікації».

Волоконно-оптичні лінії передачі (ВОЛП) проектуються з урахуванням потреби та перспективи розвитку господарства в даному районі країни.

Лінії повинні бути технічно досконалими та економічно доцільними. Тому при розробці учбового проекту необхідно враховувати нові, більш досконалі конструкції ліній. На практиці, проекти споруд зв'язку розробляються проектною організацією по завданню на проектування (від організацій-замовників) та матеріалам вишукування.

Проектувальна організація розробляє проектну документацію, яка складається з проектного завдання та робочих креслень. При розробці проектного завдання складаються: пояснювальна записка, в якій приводяться основні вихідні дані, прийняті для складання проекту, завдання на проектування, обґрунтування вибору траси, типу та конструкції кабелів, способи їх прокладання, захист кабелів від небезпечних електромагнітних впливів.

Учбовий проект виконується за завданням, приведеним у табл. 3.1 – 3.4.

### **1 ВИМОГИ ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ ТА ЙОГО ОФОРМЛЕННЯ**

Курсовий проект (КП) виконується за одним із варіантів індивідуального завдання, який визначається двома останніми цифрами номера залікової книжки, та оформляється у вигляді пояснювальної записки (ПЗ), що відповідає вимогам ДСТУ 3008-95 та ДСТУ 3008:20 (проект). У ПЗ не повинно бути викладу загальних положень і норм проектування, текстовий матеріал слід висловлювати конкретно та чітко, при цьому не допускається довільне скорочення слів. При використанні загальноприйнятих скорочень необхідно спочатку вказати повне найменування слова. Пояснювальна записка повинна бути ілюстрована необхідними схемами, рисунками та кресленнями, що пояснюють вибір тих або інших проектних рішень. При цьому обов'язкові посилання на літературу, з якої запозичені вибрані рішення. Такі посилання виконуються вказівкою в дужках номера, під яким значиться в загальному списку літератури дане джерело. Схеми, рисунки та креслення оформляються на листах формату А4.

При виконанні розрахунків у ПЗ повинна бути подана в загальному вигляді розрахункова формула з розшифруванням усіх вхідних у неї позначень та посиланнями на літературу, з якої взяті ці розрахункові формули або вихідні дані. Один варіант розрахунку за формулою подається детально, решта результатів подається у вигляді таблиці. При використанні засобів обчислювальної техніки подаються розрахункові формули, посилання на назву програми розрахунку та детальні вихідні дані до розрахунку з результатами у вигляді таблиць та графіків. Всі результати розрахунків повинні

супроводжуватися їх аналізом і висновками.

Курсовий проект повинен мати титульний лист, лист рецензії, зміст, індивідуальне завдання, вступ, пояснювальну записку, висновок і закінчуватися переліком посилань, підписом автора та датою виконання.

У вступі необхідно привести сучасний стан ВОЛП, завдання, які намічені за планом розвитку кабельних ліній країни, суть та мета даного проекту, значущість для мереж зв'язку, підстави для розробки та їх обґрунтування.

Вступ до проекту виділяється в окремому підрозділі.

Користуючись енциклопедією, географічними картами та довідниками, ознайомитися та дати коротку характеристику пунктів, між якими будується лінія зв'язку. Вказати адміністративно-господарське значення міста, чисельність населення (орієнтовне по умовним позначенням на карті або в довіднику), напрям промисловості, підземного господарства (наявність каналізації, водопроводів та інше), наявність трамваїв, вид замощення мостових та тротуарів, ґрунтові умови.

Вказати основну мету, яка повинна досягатися організацією ВОЛП та роль магістралі в загальній мережі України.

Всі розділи курсового проекту повинні містити обґрунтовані рішення та висновки, при необхідності мати посилання на використані матеріали (довідники, підручники, інструкції, правила та ін.).

Креслення повинні бути виконані з використанням умовних позначень та у відповідності до ДСТУ 3008-95. Креслення, рисунки, відомості, таблиці повинні бути пронумеровані, пояснювальна записка – переплетена. На титульному листі проекту вказується назва навчального закладу, назва курсового проекту, група та прізвище виконавця, прізвище консультанта, рік виконання (Додаток 1).

## **2 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ**

Основною метою курсового проектування волоконно-оптичної лінії передачі (ВОЛП) є закріплення та поглиблення знань, отриманих студентами при вивченні курсу «Напрямні системи електричного та оптичного зв'язку», розв'язання конкретних завдань з проектування ВОЛП. Вихідні дані до курсового проекту складені таким чином, що кожному студентові необхідно провести проектування лінії, що буде будуватися, з використанням оптичних кабелів (ОК). Ця ВОЛП буде складовим елементом нової телекомунікаційної мережі на базі технології SDH.

У процесі курсового проектування необхідно виконати наступні завдання:

1. Вибрати та обґрунтувати найбільш доцільний варіант траси ВОЛП між заданими пунктами, при необхідності передбачити можливість підвіски ОК на окремих ділянках траси з метою зниження витрат на будівництво.

2. Вибрати та обґрунтувати застосування схеми організації зв'язку, оптичного

волокна (ОВ), конструкції ОК, волоконно-оптичної системи передачі (ВОСП), виходячи з числа первинних цифрових потоків (ПЦП) і відстані між кінцевими пунктами. Накреслити поперечний переріз ОК в масштабі 5:1 з вказівкою типу, марки кабелю, його складових елементів та матеріалів їх виконання.

3. Розрахувати довжину ділянки регенерації (ДР) за характеристиками ВОСП (загасання ОК і дисперсії). Провести розміщення необслуговуваних регенераційних пунктів (НРП) і обслуговуваних регенераційних пунктів (ОРП) трасою ВОЛП.

4. Розрахувати небезпечний магнітний вплив ліній електропередачі (ЛЕП) на ОК, дати рекомендації щодо підвищення ефективності захисту.

5. Оцінити грозостійкість лінії, дати рекомендації щодо підвищення ефективності грозозахисту ОК.

6. Розрахувати показники надійності кабельної магістралі.

7. Скласти план організації робіт з будівництва ВОЛП та відомості витрат основних матеріалів і устаткування при будівництві, зробити кошторисно-фінансовий розрахунок лінійних споруд лінії передачі.

### 3 ВИХІДНІ ДАНІ ДО ПРОЕКТУВАННЯ ВОЛП

**Таблиця 3.1 – Траси проектованої ВОЛП**

| Номер варіанта завдання до курсового проекту | Найменування населених пунктів, між якими проектується ВОЛП | Кількість первинних цифрових потоків |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>1</b>                                     | <b>2</b>                                                    | <b>3</b>                             |
| 00                                           | Вінниця – Ізмаїл                                            | 1450                                 |
| 01                                           | Вінниця – Одеса                                             | 1230                                 |
| 02                                           | Вінниця – Херсон                                            | 1500                                 |
| 03                                           | Вінниця – Миколаїв                                          | 1600                                 |
| 04                                           | Вінниця – Сімферополь                                       | 50                                   |
| 05                                           | Вінниця – Севастополь                                       | 60                                   |
| 06                                           | Вінниця – Джанкой                                           | 100                                  |
| 07                                           | Вінниця – Бердянськ                                         | 120                                  |
| 08                                           | Вінниця – Маріуполь                                         | 450                                  |
| 09                                           | Вінниця – Мелітополь                                        | 650                                  |
| 10                                           | Дніпропетровськ – Херсон                                    | 400                                  |
| 11                                           | Дніпропетровськ – Сімферополь                               | 500                                  |
| 12                                           | Дніпропетровськ – Джанкой                                   | 600                                  |
| 13                                           | Дніпропетровськ – Севастополь                               | 95                                   |
| 14                                           | Дніпропетровськ – Маріуполь                                 | 165                                  |
| 15                                           | Дніпропетровськ – Бердянськ                                 | 485                                  |
| 16                                           | Дніпропетровськ – Новоазовськ                               | 328                                  |
| 17                                           | Дніпропетровськ – Миколаїв                                  | 1230                                 |
| 18                                           | Дніпропетровськ – Одеса                                     | 1500                                 |
| 19                                           | Донецьк – Джанкой                                           | 3000                                 |
| 20                                           | Донецьк – Сімферополь                                       | 200                                  |
| 21                                           | Донецьк – Севастополь                                       | 65                                   |
| 22                                           | Донецьк – Маріуполь                                         | 90                                   |
| 23                                           | Житомир – Одеса                                             | 500                                  |

Продовження табл. 3.1

| 1  | 2                        | 3    |
|----|--------------------------|------|
| 24 | Житомир – Миколаїв       | 1000 |
| 25 | Запоріжжя – Сімферополь  | 485  |
| 26 | Запоріжжя – Севастополь  | 328  |
| 27 | Запоріжжя – Джанкой      | 1450 |
| 28 | Київ – Одеса             | 450  |
| 29 | Київ – Миколаїв          | 650  |
| 30 | Київ – Херсон            | 87   |
| 31 | Кіровоград – Одеса       | 200  |
| 32 | Кіровоград – Миколаїв    | 65   |
| 33 | Кіровоград – Херсон      | 90   |
| 34 | Кіровоград – Ізмаїл      | 300  |
| 35 | Кіровоград – Севастополь | 400  |
| 36 | Кіровоград – Сімферополь | 500  |
| 37 | Кіровоград – Джанкой     | 600  |
| 38 | Кіровоград – Маріуполь   | 95   |
| 39 | Кіровоград – Бердянськ   | 165  |
| 40 | Кіровоград – Мелітополь  | 485  |
| 41 | Луганськ – Маріуполь     | 600  |
| 42 | Луганськ – Бердянськ     | 95   |
| 43 | Луганськ – Мелітополь    | 165  |
| 44 | Полтава – Маріуполь      | 300  |
| 45 | Полтава – Бердянськ      | 400  |
| 46 | Полтава – Мелітополь     | 500  |
| 47 | Полтава – Херсон         | 2000 |
| 48 | Полтава – Сімферополь    | 640  |
| 49 | Полтава – Севастополь    | 250  |
| 50 | Суми – Одеса             | 328  |
| 51 | Суми – Миколаїв          | 1450 |
| 52 | Суми – Херсон            | 1230 |
| 53 | Суми – Ізмаїл            | 1500 |
| 54 | Суми – Севастополь       | 1600 |
| 55 | Суми – Сімферополь       | 50   |
| 56 | Суми – Джанкой           | 60   |
| 57 | Суми – Маріуполь         | 100  |
| 58 | Суми – Мелітополь        | 1600 |
| 59 | Суми – Бердянськ         | 120  |
| 60 | Харків – Одеса           | 640  |
| 61 | Харків – Миколаїв        | 250  |
| 62 | Харків – Херсон          | 3000 |
| 63 | Харків – Ізмаїл          | 200  |
| 64 | Харків – Севастополь     | 65   |
| 65 | Харків – Сімферополь     | 90   |
| 66 | Харків – Джанкой         | 300  |
| 67 | Харків – Маріуполь       | 500  |
| 68 | Харків – Бердянськ       | 740  |
| 69 | Харків – Мелітополь      | 2500 |
| 70 | Хмельницький – Маріуполь | 50   |
| 71 | Хмельницький – Бердянськ | 60   |

Закінчення табл. 3.1

| 1  | 2                          | 3    |
|----|----------------------------|------|
| 72 | Хмельницький – Мелітополь  | 100  |
| 73 | Хмельницький – Одеса       | 87   |
| 74 | Хмельницький – Миколаїв    | 95   |
| 75 | Хмельницький – Херсон      | 670  |
| 76 | Хмельницький – Ізмаїл      | 1800 |
| 77 | Хмельницький – Севастополь | 1630 |
| 78 | Хмельницький – Сімферополь | 1100 |
| 79 | Хмельницький – Джанкой     | 900  |
| 80 | Черкаси – Одеса            | 120  |
| 81 | Черкаси – Миколаїв         | 450  |
| 82 | Черкаси – Херсон           | 650  |
| 83 | Черкаси – Ізмаїл           | 87   |
| 84 | Черкаси – Севастополь      | 500  |
| 85 | Черкаси – Сімферополь      | 1000 |
| 86 | Черкаси – Джанкой          | 2000 |
| 87 | Черкаси – Маріуполь        | 640  |
| 88 | Черкаси – Бердянськ        | 250  |
| 89 | Черкаси – Мелітополь       | 3000 |
| 90 | Чернігів – Одеса           | 50   |
| 91 | Чернігів – Миколаїв        | 60   |
| 92 | Чернігів – Херсон          | 100  |
| 93 | Чернігів – Ізмаїл          | 120  |
| 94 | Чернігів – Севастополь     | 450  |
| 95 | Чернігів – Сімферополь     | 650  |
| 96 | Чернігів – Джанкой         | 87   |
| 97 | Чернігів – Маріуполь       | 500  |
| 98 | Чернігів – Бердянськ       | 1000 |
| 99 | Чернігів – Мелітополь      | 2000 |

Таблиця 3.2 – Вихідні дані з проектування ВОЛП

| Параметр         | Остання цифра номера залікової книжки |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                  | 0                                     | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| 1                | 2                                     | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  |
| $a_1$ , м        | 80                                    | 65  | 102 | 75  | 90  | 75  | 55  | 95  | 80  | 80  |
| $a_2$ , м        | 52                                    | 45  | 50  | 65  | 50  | 65  | 45  | 105 | 60  | 80  |
| $a_3$ , м        | 46                                    | 87  | 40  | 55  | 60  | 85  | 80  | 65  | 100 | 95  |
| $a_4$ , м        | 71                                    | 95  | 100 | 45  | 75  | 90  | 120 | 74  | 110 | 125 |
| $L_1$ , км       | 0,9                                   | 2   | 1,5 | 5,1 | 5   | 4   | 2,3 | 5   | 5,6 | 2,6 |
| $L_2$ , км       | 4                                     | 5   | 0,9 | 2   | 6   | 2   | 2,1 | 3,7 | 4,5 | 4,5 |
| $L_3$ , км       | 5                                     | 6   | 5   | 3,1 | 1   | 3   | 4   | 1,2 | 3,5 | 3,4 |
| $I_{кзтах}$ , кА | 7,2                                   | 7,3 | 7,4 | 6,9 | 6,5 | 5,9 | 6,2 | 7,1 | 6,6 | 6,3 |
| $I_{кзmin}$ , кА | 1,2                                   | 1,3 | 1,1 | 1   | 1,5 | 0,9 | 1,1 | 1,6 | 1,9 | 1   |
| $I_p$ , А        | 250                                   | 240 | 230 | 220 | 210 | 350 | 320 | 300 | 280 | 290 |

Закінчення табл. 3.2

| 1                 | 2                                          | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
|-------------------|--------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                   | Передостання цифра номера залікової книжки |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                   | 0                                          | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
| $T$ , год/рік     | 50                                         | 45    | 40    | 36    | 30    | 25    | 20    | 35    | 32    | 28    |
| $\rho$ , Ом·м     | 100                                        | 200   | 150   | 250   | 80    | 90    | 78    | 220   | 95    | 500   |
| $K_{\Pi}$         | 1,2                                        | 1,5   | 1,8   | 2,2   | 2,6   | 3,0   | 3,3   | 3,7   | 4,1   | 4,4   |
| $n_1$             | 1,470                                      | 1,471 | 1,472 | 1,473 | 1,474 | 1,475 | 1,476 | 1,477 | 1,478 | 1,479 |
| $\Delta$          | 0,01                                       | 0,009 | 0,008 | 0,007 | 0,006 | 0,005 | 0,01  | 0,009 | 0,008 | 0,007 |
| $\lambda_p$ , мкм | 1,31                                       | 1,30  | 1,55  | 1,54  | 1,29  | 1,32  | 1,53  | 1,56  | 1,31  | 1,30  |

**Таблиця 3.3 – Значення коефіцієнта верхньої межі залежно від довірчої вірогідності  $\gamma$** 

| Остання цифра номера залікової книжки | Кількість відмов | Значення коефіцієнта $\alpha_1$ при довірчій вірогідності $\gamma$ |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                       |                  | 0,999                                                              | 0,990 | 0,975 | 0,950 | 0,900 | 0,800 |
| 0                                     | 1                | 1000                                                               | 100   | 40    | 19,50 | 9,50  | 4,48  |
| 1                                     | 2                | 44,0                                                               | 13,5  | 8,26  | 5,68  | 3,77  | 2,42  |
| 2                                     | 3                | 15,7                                                               | 6,88  | 4,84  | 3,66  | 2,73  | 1,95  |
| 3                                     | 4                | 9,33                                                               | 4,85  | 3,67  | 2,93  | 2,29  | 1,74  |
| 4                                     | 5                | 6,76                                                               | 3,91  | 3,08  | 2,54  | 2,05  | 1,62  |
| 5                                     | 6                | 5,43                                                               | 3,36  | 2,73  | 2,29  | 1,90  | 1,54  |
| 6                                     | 8                | 4,06                                                               | 2,75  | 2,31  | 2,01  | 1,72  | 1,43  |
| 7                                     | 10               | 3,38                                                               | 2,42  | 2,08  | 1,83  | 1,61  | 1,37  |
| 8                                     | 15               | 2,59                                                               | 2,01  | 1,78  | 1,62  | 1,46  | 1,28  |
| 9                                     | 20               | 2,23                                                               | 1,81  | 1,64  | 1,51  | 1,37  | 1,24  |

**Таблиця 3.4 – Значення коефіцієнта нижньої межі залежно від довірчої вірогідності  $\gamma$** 

| Передостання цифра номера залікової книжки | Кількість відмов | Значення коефіцієнта $\alpha_2$ при довірчій вірогідності $\gamma$ |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                            |                  | 0,999                                                              | 0,990 | 0,975 | 0,950 | 0,900 | 0,800 |
| 0                                          | 1                | 0,14                                                               | 0,22  | 0,27  | 0,33  | 0,43  | 0,62  |
| 1                                          | 2                | 0,22                                                               | 0,30  | 0,36  | 0,42  | 0,51  | 0,67  |
| 2                                          | 3                | 0,21                                                               | 0,36  | 0,42  | 0,48  | 0,57  | 0,70  |
| 3                                          | 4                | 0,31                                                               | 0,40  | 0,46  | 0,52  | 0,60  | 0,73  |
| 4                                          | 5                | 0,34                                                               | 0,43  | 0,49  | 0,55  | 0,62  | 0,75  |
| 5                                          | 6                | 0,36                                                               | 0,46  | 0,52  | 0,57  | 0,65  | 0,76  |
| 6                                          | 8                | 0,41                                                               | 0,50  | 0,56  | 0,61  | 0,68  | 0,78  |
| 7                                          | 10               | 0,44                                                               | 0,53  | 0,58  | 0,64  | 0,70  | 0,80  |
| 8                                          | 15               | 0,50                                                               | 0,59  | 0,64  | 0,68  | 0,74  | 0,83  |
| 9                                          | 20               | 0,54                                                               | 0,63  | 0,67  | 0,72  | 0,77  | 0,85  |

Вихідні дані, наприклад, для варіанта № 39 будуть:

- траса ВОЛП: Кіровоград – Бердянськ, кількість ПЦП – 165;
- показник заломлення  $n_1 = 1,473$ , відносна різниця показників заломлення  $\Delta = 0,007$ ; робоча довжина хвилі  $\lambda_p = 1,54$  мкм;

– середня тривалість гроз  $T = 36$  год/рік, питомий опір ґрунту  $\rho = 250$  Ом·м, поверхневий коефіцієнт  $K_{\text{н}} = 2,2$ ;

– умова зближення ЛЕП та ВОЛП: довжина ділянки зближення  $L_1 = 2,6$  км,  $L_2 = 4,5$  км,  $L_3 = 3,4$  км, ширина зближення між ЛЕП і ВОЛП на ділянках зближення  $a_1 = 80$  м,  $a_2 = 80$  м,  $a_3 = 95$  м,  $a_4 = 125$  м, струм короткого замикання на початку зближення  $I_{\text{кзmax}} = 6,3$  кА, в кінці зближення  $I_{\text{кзmin}} = 1$  кА; нормальний робочий струм ЛЕП  $I_{\text{р}} = 290$  А.

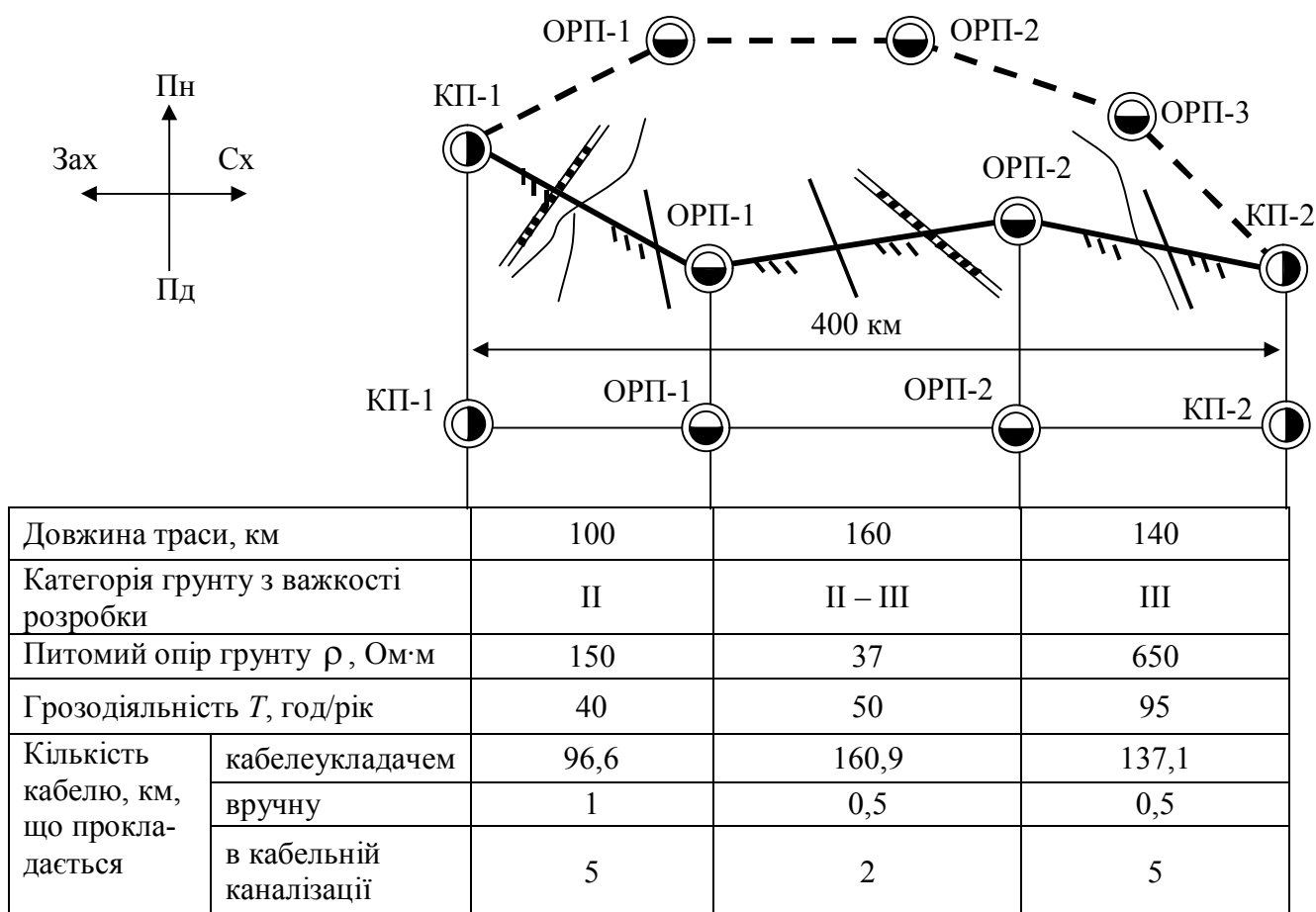
## **4 ВИБІР ТРАСИ, ТИПУ КАБЕЛЮ ТА СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ**

### **4.1 Вибір траси волоконно-оптичної лінії передачі**

На підставі вивчення карти [1, 2] намітити два можливі варіанти траси ВОЛП. Провести порівняння можливих варіантів траси та вибрати найбільш доцільний та економічно-вигідний варіант. При виборі траси можна користуватися картою будь-якого масштабу з нанесеними шосейними та ґрунтовими дорогами. Зручно користуватися атласом автомобільних шляхів. Порівняти варіанти за такими показниками: довжина траси, кількість переходів через перешкоди, ґрунтові умови, зручність будівництва та експлуатації. Подати креслення варіантів траси. На креслення вибраного варіанта наноситься спрямлення траси кабелю з вказівкою кінцевих і проміжних пунктів, через які проходить траса.

Виконати креслення скелетної схеми кабельної магістралі (без масштабу). На кресленні вказати загальну довжину траси і кабелю, довжину траси і кабелю на ділянках, переходи через шосейні та залізничні дороги, водойми, категорію ґрунту, питомий опір ґрунту на ділянках, число грозових годин на рік, об'єм робіт із прокладання кабелю кабелеукладачем (КУ), вручну, в кабельну каналізацію (КК). Приклад скелетної схеми варіантів траси ВОЛП показані на рис. 4.1.

Траса лінії вибирається оптимальною за довжиною та числом переходів з урахуванням найменшого об'єму робіт, можливості застосування механізмів, максимально можливої віддаленості від джерел блукаючих струмів (ліній електропередачі, електрифікованих залізниць та трамваю) і несиметричних високовольтних ліній. У замиській частині траса повинна проходити паралельно шосейних і ґрунтових доріг (резерв, узбіччя), мати найменше число перетинів з річками, шосейними, залізничними дорогами, з трамвайними коліями. На переходах через річки траса повинна розташовуватися на відстані не менше 1000 м від залізничних мостів і мостів магістральних шосейних доріг, на відстані 200 м від мостів, шосейних і ґрунтових доріг місцевого значення. Траса повинна проходити від мостів нижче за течією річки.



Умовні позначення:

- кінцевий пункт (КП); – проміжний пункт (ОРП, НРП);  
 ОРП – обслуговуваний регенераційний пункт;  
 – перший варіант траси ВОЛП (обраний).  
 – другий варіант траси ВОЛП;  
 – автодороги; – річки;  
 – залізничні дороги.

Рисунок 4.1 – Скелетна схема вибраного варіанта волоконно-оптичної лінії передачі

На території міст кабель повинен прокладатися в телефонну каналізацію, причому прагнути до максимального використання існуючої каналізації та резервних каналів. Орієнтовний об'єм прокладання кабелю в каналізацію встановлюється в межах (3 – 4) км на кожне місто з населенням до 500 тис. жителів, розташоване вздовж траси. Із загальної протяжності каналізації (40 – 50) % приймається як існуюча. Від всієї протяжності траси (5 – 10) % передбачається на прокладання кабелю вручну, а решта частини прокладається кабелеукладачем.

У пояснювальній записці необхідно дати коротку характеристику вибраної траси, кінцевих і проміжних населених пунктів.

В залежності від категорії ґрунту та умов прокладання необхідно проектувати застосування наступних типів кабелів, наприклад, виробництва ПАТ «Завод «Південкабель»:

а) броньованих гофрованою стрічкою або двома сталевими стрічками (ОАрБґП, ОБґП, ОАрБП, ОБП) для підземного прокладання в ґрунтах всіх категорій та через несудохідні несплавні річки з незаболоченими та стійкими берегами;

б) броньованих круглими сталевими дротами (ОАрКП, ОКП) для прокладання через судноплавні і сплавні річки та озера, а також в ґрунтах, схильних до явищ мерзлоти, наприклад, випучування, на крутих схилах в сейсмічних районах.

При визначенні необхідної кількості кабелю згідно з [3] враховується запас на його укладання в траншеї та монтаж у наступних розмірах:

а) для броньованого підземного кабелю на відходи при спаювальних роботах, на укладання в траншеї і котловани – 2,4 % (при прокладанні кабелю в ґрунтах, схильних до зсуву або випучування, запас на укладання в траншеї може бути збільшений до 4 %);

б) для підводного кабелю (річковому й озерному) на укладання по рельєфу дна – визначається проектом (для розрахунку можна використати значення 14 %);

в) для кабелю, що прокладаються: в каналізації, на спайку та укладку – не менше 8 м від кришки люка кожного колодязя, а на кожну муфту в котловані – не менше 10 м.

До курсового проекту додаються ситуаційні креслення траси проекрованої лінії, причому для проекрованої ВОЛП в пояснювальній записці приводиться порівняння й обґрунтування вибраного варіанта з не менше ніж двох, що розглядаються. Основні показники порівнюваних варіантів ВОЛП зводяться до табл. 4.1.

**Таблиця 4.1 – Загальна характеристика варіантів траси ВОЛП**

| № зп | Найменування                                                                         | Од. вимір.                 | Кількість одиниць |            | Примітка |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------|------------|----------|
|      |                                                                                      |                            | I варіант         | II варіант |          |
| 1    | 2                                                                                    | 3                          | 4                 | 5          | 6        |
| 1    | Довжина траси                                                                        | км                         |                   |            |          |
| 2    | Місцевість:<br>– населена;<br>– відкрита;<br>– ліс;<br>– пересічна;<br>– заболочена. | км<br>км<br>км<br>км<br>км |                   |            |          |
| 3    | Ґрунти:<br>– 2 – 3 категорії;<br>– 4 категорії;<br>– 5 – 6 категорії.                | км<br>км<br>км             |                   |            |          |

| 1  | 2                                                                                                                   | 3                    | 4 | 5 | 6                      |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---|---|------------------------|
| 4  | Автомобільні дороги:<br>– з асфальтовим покриттям;<br>– з щебеним покриттям;<br>– ґрунтові дороги;<br>– бездоріжжя. | км<br>км<br>км<br>км |   |   | Паралельне проходження |
| 5  | Залізничні дороги:                                                                                                  | км                   |   |   | Паралельне проходження |
| 6  | Пересічення з:<br>– автодорогами;<br>– залізничними дорогами.                                                       | пер.<br>пер.         |   |   |                        |
| 7  | Водні перешкоди:<br>– річки судноходні;<br>– річки несудноходні;                                                    | пер/м<br>пер/м       |   |   | Ширина (м)             |
| 8  | Прокладання ОК                                                                                                      | км                   |   |   |                        |
| 9  | Число ОРП                                                                                                           | шт.                  |   |   |                        |
| 10 | Число НРП                                                                                                           | шт.                  |   |   |                        |

## 4.2 Вибір і обґрунтування типу оптичного волокна

Типові характеристики стандартних одномодових оптичних волокон (ОВ) та зі зміщеною і згладженою дисперсією згідно з [4, 5] подані в табл. 4.2. Тип ОВ вибираємо в залежності від кількості ПЦП, швидкості передачі інформації, відстані між кінцевими пунктами і населеними пунктами по трасі ВОЛП, а також принципами побудови мережі зв'язку, завдання якого вирішує дана лінія передачі. У переважній більшості випадків застосовуються стандартні одномодові оптичні волокна зі східчастим профілем показника заломлення. При високих швидкостях передачі інформації, коли довжина елементарної кабельної ділянки (ЕКД) обмежена дисперсією, застосовують волокна із зміщеною дисперсією. Якщо ж при цьому використовуються обладнання спектрального ущільнення (DWDM), то можливе застосування волокон із згладженою дисперсією.

**Таблиця 4.2 – Характеристики оптичного волокна**

| Тип волокна              | Коефіцієнт загасання $\alpha$ , дБ/км, на довжині хвилі |          | Довжина хвилі нульової дисперсії $\lambda_0$ , мкм | Коефіцієнт нахилу дисперсійної кривої $S_0$ , пс/(нм <sup>2</sup> ·км) | Коефіцієнт хроматичної дисперсії $D(\lambda)$ , пс/(нм·км) |          |
|--------------------------|---------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------|
|                          | 1,31 мкм                                                | 1,55 мкм |                                                    |                                                                        | 1,31 мкм                                                   | 1,55 мкм |
| Ступінчасте              | 0,4                                                     | 0,35     | 1,301                                              | 0,092                                                                  | 3,5                                                        | 18       |
| Зі зміщеною дисперсією   | –                                                       | 0,35     | 1,550                                              | 0,085                                                                  | –                                                          | 1 – 10   |
| Зі згладженою дисперсією | 0,34                                                    | 0,22     | –                                                  | –                                                                      | $\leq 3,5$                                                 |          |

### 4.3 Вибір і обґрунтування типу оптичного кабелю

Вибір конструкції оптичного кабелю визначається вибраним числом ОВ, умовами і планованим способом прокладання та експлуатації.

Число оптичних волокон розраховується за виразом:

$$N_{\text{ОВ}} = 2 \cdot \left[ \frac{N_{\text{ПЦП}}}{N_{\text{ПЦПВОСП}}} \right] \cdot [1 + 0,5], \quad (2.1)$$

де  $N_{\text{ПЦП}}$  – задане за варіантом число каналів (ПЦП);

$N_{\text{ПЦПВОСП}}$  – число каналів апаратури ВОСП;

0,5 – враховує 50% запасу від загального числа ОВ, що відводяться на розвиток мережі.

Цей вираз справедливий, крім випадку коли співвідношення  $\frac{N_{\text{ПЦП}}}{N_{\text{ПЦПВОСП}}} = 1$ ,

тоді кількість волокон вибирається рівною 4.

Найбільш поширені кабелі модульної конструкції, осердя яких включає кілька оптичних модулів (з двома, чотирма або з кількістю ОВ до 12), спірально укладених навколо центрального силового елемента, в якості якого використовується склопластиковий стержень (рис. 4.2, а), стальний дріт або трос у поліетиленовому покритті. Проте останнім часом все більш широко використовуються кабелі, осердя яких становить собою один оптичний модуль із товстостінної полімерної трубки (рис. 4.2, б). Тип зовнішніх покриттів [6, 7], як правило, вибирається відповідно до табл. 4.3. Допустиме роздавлювальне зусилля для всіх типів ОК складає, як правило, 1000 Н/см. Мінімально допустимий радіус вигину повинен перевищувати  $20d$ , де  $d$  – діаметр кабелю. Будівельна довжина оптичних кабелів зв'язку складає в середньому (2 – 6) км, але не менше 1 км. В межах міста, як правило, застосовують ОК з будівельною довжиною (1 – 2) км.

Вибравши тип бронепокриттів [7], визначте марку оптичного кабелю у відповідності з вказівками (табл. 4.4). Слід зазначити, що, як правило, способи маркування ОК у різних фірм-виробників відрізняються. Один з типових способів маркування оптичних кабелів, наприклад ПАТ «Завод«Південкабель», поданий в табл. 4.4.

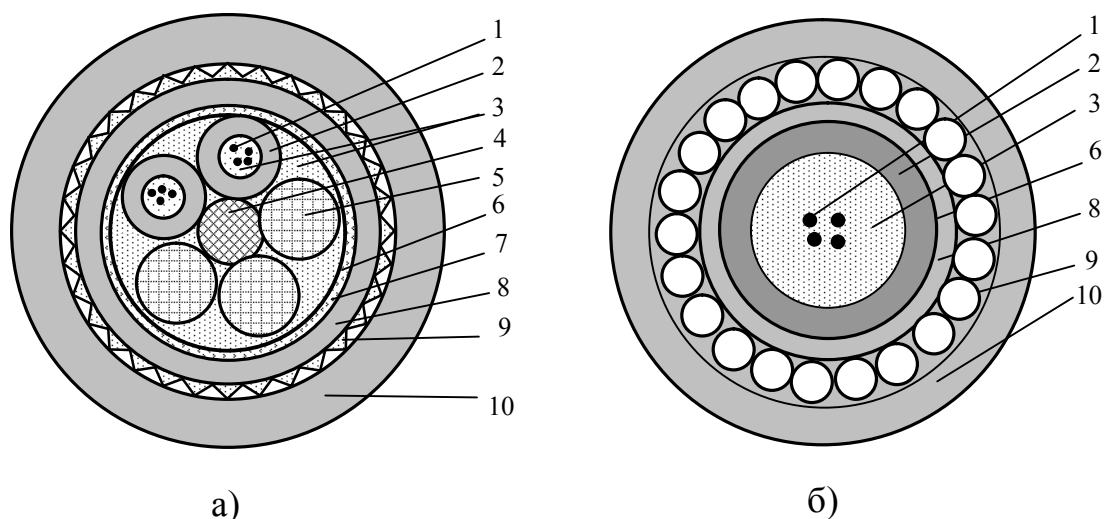


Рисунок 4.2 – а) осердя оптичного кабелю повивної модульної конструкції (ОАрБгП-14Е5(2×7)-1,5); б) осердя оптичного кабелю модульної конструкції (ОЦКП-1×16-3,5): 1 – оптичне волокно; 2 – трубка оптичного модуля; 3 – заповнювальні компаунди; 4 – центральний силовий елемент; 5 – заповнювальний елемент; 6 – скріплювальна стрічка; 7 – арамідні нитки; 8 – внутрішня оболонка; 9 – броня із гофрованої сталевий стрічки або сталевих дротів та гідрофобним заповненням; 10 – захисний шланг.

**Таблиця 4.3 – Типи бронепокривів**

| № з/п | Умови прокладання                                             | Спосіб прокладання                                                                | Допустиме розтягувальне зусилля, кН | Бронепокрови                                              |
|-------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1     | 2                                                             | 3                                                                                 | 4                                   | 5                                                         |
| 1.    | Безпосередньо в канал каналізації                             | Затягування із застосуванням заготовки                                            | 2,0 – 3,5                           | – без броні<br>– сталеві гофрована стрічка<br>– оплетення |
| 2.    | У каналізації у допоміжному полімерному трубопроводі          | Затягування із застосуванням заготовки                                            | 2,0 – 3,5                           | Те ж, що за п.п. 1                                        |
| 3.    | У каналізації або в ґрунтах у трубах із силіконовим покриттям | Затягування із застосуванням заготовки або задування з застосуванням кабель-джета | 2,0 – 3,5                           | Те ж, що за п.п. 1                                        |
| 4.    | Безпосередньо в ґрунтах III-IV категорій                      | Кабелеукладачем або в траншею                                                     | 7 – 8                               | – круглі дроти<br>– сталеві стрічки                       |
| 5.    | Переходи через судноплавні річки, в болотах, скельних ґрунтах | Залежно від умов                                                                  | 20 – 96                             | суцільні металеві оболонки з бронею із круглих дротів     |

| 1  | 2                    | 3                      | 4                                                                                         | 5                                                              |
|----|----------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 6. | На повітряних лініях | Підвішування на опорах | 15 – 25 і більше в залежності від довжини прольоту, ожеледності та вітрового навантаження | – склопруток<br>– синтетичні нитки з високим модулем пружності |

Таблиця 4.4 – Маркоутворення оптичних кабелів

|   |                                             |   |   |   |   |                                       |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                            |   |  |   |  |   |   |    |   |    |   |   |    |  |
|---|---------------------------------------------|---|---|---|---|---------------------------------------|---|---|---|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|--|---|--|---|---|----|---|----|---|---|----|--|
| 1 | -                                           | 2 | - | 3 | - | 4                                     | - | 5 | - | 6 | -                                                                                                                                                                                                          | 7 |  | 8 |  | 9 | ( | 10 | + | 11 | ) | - | 12 |  |
| 1 | 2                                           |   |   |   |   | 3                                     |   |   |   |   | 4                                                                                                                                                                                                          |   |  |   |  |   |   |    |   |    |   |   |    |  |
| 1 | Тип кабелю / Type of cable                  |   |   |   |   | О                                     |   |   |   |   | волоконно-оптичний / fiber optic                                                                                                                                                                           |   |  |   |  |   |   |    |   |    |   |   |    |  |
| 2 | Наявність захисного шару                    |   |   |   |   | а                                     |   |   |   |   | виконання з алюмополімерним захисним шаром with alumopolymer protective layer                                                                                                                              |   |  |   |  |   |   |    |   |    |   |   |    |  |
|   | Protective layer                            |   |   |   |   | Без позначення<br>Without designation |   |   |   |   | без алюмополімерного захисного шару / without alumopolymer protective layer                                                                                                                                |   |  |   |  |   |   |    |   |    |   |   |    |  |
| 3 | Тип броні або армуючих елементів            |   |   |   |   | Ар                                    |   |   |   |   | шар арамідних ниток / layer of aramid threads                                                                                                                                                              |   |  |   |  |   |   |    |   |    |   |   |    |  |
|   | Type of armouring or the armouring elements |   |   |   |   | Би                                    |   |   |   |   | броня з двох сталевих оцинкованих стрічок, накладених спірально / armour of two spirally laid steel galvanized tapes                                                                                       |   |  |   |  |   |   |    |   |    |   |   |    |  |
|   |                                             |   |   |   |   | Бг                                    |   |   |   |   | броня із сталеві гофрованої стрічки, накладеної поздовжньо / armour of longitudinally laid steel zetabon tape                                                                                              |   |  |   |  |   |   |    |   |    |   |   |    |  |
|   |                                             |   |   |   |   | К                                     |   |   |   |   | броня з одного повива круглих сталевих оцинкованих дротів / armour of one layer of circular steel galvanized wires                                                                                         |   |  |   |  |   |   |    |   |    |   |   |    |  |
|   |                                             |   |   |   |   | 2К                                    |   |   |   |   | броня з двох повивів круглих сталевих оцинкованих дротів / armour of two layers of circular steel galvanized wires                                                                                         |   |  |   |  |   |   |    |   |    |   |   |    |  |
|   |                                             |   |   |   |   | Сп                                    |   |   |   |   | броня з повива склопластикових стержнів / armour of fiberplastic rods                                                                                                                                      |   |  |   |  |   |   |    |   |    |   |   |    |  |
|   |                                             |   |   |   |   | Без позначення<br>Without designation |   |   |   |   | без броні і армуючих елементів / without armour and the armouring elements                                                                                                                                 |   |  |   |  |   |   |    |   |    |   |   |    |  |
| 4 | Тип захисного шлангу                        |   |   |   |   | П                                     |   |   |   |   | поліетиленовий шланг / polyethylene sheath                                                                                                                                                                 |   |  |   |  |   |   |    |   |    |   |   |    |  |
|   |                                             |   |   |   |   | Пн                                    |   |   |   |   | Захисний шланг з полімерної композиції, що не розповсюджує горіння / sheath of flame retardant polymer compound                                                                                            |   |  |   |  |   |   |    |   |    |   |   |    |  |
|   | Outer sheath type                           |   |   |   |   | Пп                                    |   |   |   |   | проміжна поліетиленова оболонка між повивами бронепокровів типу 2К і зовнішній захисний шланг / inner polyethylene sheath between the layers of the armouring of 2K type and the outer polyethylene sheath |   |  |   |  |   |   |    |   |    |   |   |    |  |

Закінчення табл. 4.4

| 1  | 2                                                                                                                                                                  | 3                                     | 4                                                                                                                                                                                                                        |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5  | Тип центрального силового елемента                                                                                                                                 | З                                     | сталевий трос або сталевий дріт з поліетиленовим покриттям / steel rope or steel wire with polyethylene coating                                                                                                          |
|    | Central strength element type                                                                                                                                      | Без позначення<br>Without designation | діелектричний ЦСЕ (склопластиковий пруток і тому подібне) / dielectric central strength element (fiberplastic rod and etc.)                                                                                              |
| 6  | Тип температурних виконань                                                                                                                                         | ХЛ                                    | від мінус 60°C до плюс 60°C / From minus 60°C up to 60°C                                                                                                                                                                 |
|    | Temperature type making                                                                                                                                            | Без позначення<br>Without designation | від мінус 40°C до плюс 60°C / from minus 40°C up to 60°C                                                                                                                                                                 |
| 7  | Кількість ОВ в кабелі / Quantity of optical fibers in the cable                                                                                                    |                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
| 8  | Тип ОВ<br><br>Optical fiber type                                                                                                                                   | Е                                     | одномодове, відповідно до рекомендацій ITU-T G.652B / single-mode as per the recommendations of ITU-T G.652B                                                                                                             |
|    |                                                                                                                                                                    | А                                     | одномодове з розширеною робочою смугою довжин хвиль, відповідно до рекомендацій ITU-T G.652D / enhanced single mode optical fibre (ESMF) as per the recommendations of ITU-T G.652D                                      |
|    |                                                                                                                                                                    | С                                     | одномодове з ненульовою зміщеною дисперсією, відповідно до рекомендацій ITU-T G.655 / non zero single mode shifted as per the recommendations of ITU-T G.655                                                             |
|    |                                                                                                                                                                    | М                                     | багатомодове зі співвідношенням діаметрів осердя та оболонки - 50/125 мкм, відповідно до рекомендацій ITU-T G.651 / multimode with core and sheath ratio of 50/125 mkm as per the recommendations of ITU-T G.651         |
|    |                                                                                                                                                                    | В                                     | багатомодове зі співвідношенням діаметрів осердя і оболонки - 62,5/125 мкм, відповідно до рекомендацій МЕК 60793-2 / multimode with with core and sheath ratio of 62,5/125 mkm as per the recommendations of IEC 60793-2 |
| 9  | Кількість елементів у повиві осердя / Number of elements in the core                                                                                               |                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
| 10 | Розподіл оптичних волокон за модулями / Optical fibers distribution in tubes                                                                                       |                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
| 11 | Кількість ізольованих мідних жил в кабелі (при їх відсутності - без позначення) Quantity of copper insulated wires in cable (without designation on their absence) |                                       |                                                                                                                                                                                                                          |
| 12 | Допустиме розтягуюче зусилля кабелю, кН / Permissible pulling stress, kN                                                                                           |                                       |                                                                                                                                                                                                                          |

#### 4.4 Вибір і обґрунтування апаратури ВОСП

Тип і характеристики ВОСП вибираються згідно табл. 4.5 в залежності від необхідного об'єму передачі інформації, який задається числом основних (первинних) цифрових потоків (ОЦП), робочою довжиною хвилі апаратури, відстанню між кінцевими пунктами і населеними пунктами по трасі ВОЛП, а

також принципами побудови мережі зв'язку, завдання якого вирішує дана лінія передачі.

Технічні характеристики ВОСП синхронної цифрової ієрархії згідно до [8] подані в табл. 4.5.

**Таблиця 4.5 – Технічні характеристики ВОСП синхронної цифрової ієрархії**

| ЕКД                                                           | Вкорочена |       | Стандартна |       |
|---------------------------------------------------------------|-----------|-------|------------|-------|
| Довжина хвилі, мкм                                            | 1,31      | 1,55  | 1,31       | 1,55  |
| STM-1                                                         |           |       |            |       |
| Кількість цифрових потоків E1                                 | 63        |       |            |       |
| Швидкість оптичного стику, Мбіт/с                             | 155       |       |            |       |
| Середня вихідна потужність, дБм                               | -8        | 2     | 2          | 2     |
| Мінімальна чутливість приймача, дБм                           | -34       |       |            |       |
| Ширина спектральної лінії випромінювання $\Delta\lambda$ , нм | <0,4      | <0,4  | <0,25      | <0,25 |
| Максимальна хроматична дисперсія $\sigma_k$ , пс/нм, на ЕКД   | 55000     |       |            |       |
| STM-4                                                         |           |       |            |       |
| Кількість цифрових потоків E1                                 | 252       |       |            |       |
| Швидкість оптичного стику, Мбіт/с                             | 622       |       |            |       |
| Середня вихідна потужність, дБм                               | -11       | -0,5  | -0,5       | 4,5   |
| Мінімальна чутливість приймача, дБм                           | -34       | -36   | -39        | -45   |
| Ширина спектральної лінії випромінювання $\Delta\lambda$ , нм | <2,5      | <1,7  | <0,5       | <0,5  |
| Максимальна хроматична дисперсія $\sigma_k$ , пс/нм, на ЕКД   | 15000     |       |            |       |
| STM-16                                                        |           |       |            |       |
| Кількість цифрових потоків E1                                 | 1008      |       |            |       |
| Швидкість оптичного стику, Мбіт/с                             | 2500      |       |            |       |
| Середня вихідна потужність, дБм                               | -3        | 0     | 2          | 2     |
| Мінімальна чутливість приймача, дБм                           | -27       | -28   | -27        | -29,5 |
| Ширина спектральної лінії випромінювання $\Delta\lambda$ , нм | <1        | <0,6  | <1         | <0,6  |
| Максимальна хроматична дисперсія $\sigma_k$ , пс/нм, на ЕКД   | 10500     |       |            |       |
| STM-64                                                        |           |       |            |       |
| Число цифрових потоків E1                                     | 4032      |       |            |       |
| Швидкість оптичного стику, Мбіт/с                             | 10000     |       |            |       |
| Середня вихідна потужність, дБм                               | 2         | 2     | 10         | 13    |
| Мінімальна чутливість приймача, дБм                           | -18       | -18,5 | -14        | -21   |
| Ширина спектральної лінії випромінювання $\Delta\lambda$ , нм | <0,1      |       |            |       |
| Максимальна хроматична дисперсія $\sigma_k$ , пс/нм, на ЕКД   | 10500     |       |            |       |

*Примітка.* При необхідності роботи на подовжених ЕКД на виході передавача мультимплексора встановлюють оптичний підсилювач (бустер, "buster"), що дозволяє збільшити енергетичний потенціал на (7 – 15) дБ.

## 5 РОЗРАХУНОК ОПТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВОЛОКОН І ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕДАЧІ КАБЕЛІВ

### 5.1 Визначення оптичних параметрів волокон

Оптичне волокно є прямою системою для розповсюдження електромагнітних хвиль. Для їх розповсюдження по волокну використовується відоме явище повного внутрішнього відбиття на межах двох діелектричних середовищ осердя з показником заломлення  $n_1$  та оболонки з показником заломлення  $n_2$ , при цьому  $n_1 > n_2$ .

Згідно [6] значення відносної різниці показників заломлення ОВ із східчастим профілем показника заломлення (ППЗ) знаходиться з виразу:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}. \quad (5.1)$$

Для цих ОВ числова апертура визначається співвідношенням:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \approx n_1 \sqrt{2\Delta}. \quad (5.2)$$

Для визначення режиму роботи ОВ нормована частота виражається:

$$V = \frac{\pi d}{\lambda_p} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (5.3)$$

де  $\lambda_p$  – робоча довжина хвилі, мкм;

$d$  – діаметр осердя ОВ, мкм (для стандартного ОВ  $d = (8,6 \dots 9,5)$  мкм).

Якщо  $V < 2,405$ , то режим роботи ОВ одномодовий, в іншому випадку – багатомодовий.

Критична частота ОВ, при якій розповсюджується тільки один тип хвилі –  $HE_{11}$  визначається за виразом:

$$f_0 = \frac{P_{nm} \cdot c}{\pi d \sqrt{n_1^2 - n_2^2}},$$

де  $P_{nm}$  – власне значення моди  $HE_{11} - 2,405$ ;

$c$  – швидкість світла ( $c = 3 \cdot 10^8$  м/с).

Критична довжина хвилі в ОВ визначається за виразом:

$$\lambda_{кр} = \frac{\pi d \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{P_{nm} \cdot n_1}. \quad (5.4)$$

## 5.2 Визначення втрат у оптичному волокні

Коефіцієнт загасання сигналу в ОВ обумовлений власними і додатковими втратами [6], що виникають в результаті виробництва оптичного волокна, збирання і прокладання ОК:

$$\alpha = \alpha_{\text{в}} + \alpha_{\text{д}}, \quad (5.5)$$

де  $\alpha_{\text{в}}$  – сумарні власні втрати в ОВ, дБ/км;

$\alpha_{\text{д}}$  – додаткові втрати в ОВ, дБ/км.

Сумарні власні втрати в ОВ визначаються у вигляді [6]:

$$\alpha_{\text{в}} = \alpha_{\text{pp}} + \alpha_{\text{вм}} + \alpha_{\text{іч}} + \alpha_{\text{ОН}}, \quad (5.6)$$

де  $\alpha_{\text{pp}}$  – втрати на релеевське розсіяння в ОВ, дБ/км;

$\alpha_{\text{вм}}$  – втрати в матеріалі, пов'язані з втратами на поляризацію, дБ/км;

$\alpha_{\text{іч}}$  – втрати сигналів, пов'язані з поглинанням в інфрачервоній області спектра, дБ/км;

$\alpha_{\text{ОН}}$  – втрати в ОВ на гідроксильному залишку води ОН, дБ/км.

Релеевські втрати можуть бути визначені за формулою [6]:

$$\alpha_{\text{pp}} = \left( \frac{6,3 \cdot 10^{11}}{\lambda_p^4} \right) (1 + 215\Delta), \quad (5.7)$$

де  $\lambda_p$  – довжина хвилі, нм.

При розрахунках релеевських втрат в одномодовому ОВ складову у виразі (5.7)  $215\Delta$  слід приймати приблизно рівною 0.

Втрати в матеріалі, пов'язані з втратами на поляризацію, лінійно зростають зі зростанням частоти згідно виразу [6]:

$$\alpha_{\text{вм}} = \frac{8,69\pi n_1 \text{tg}\delta}{\lambda_p}. \quad (5.8)$$

де  $\text{tg}\delta$  – тангенс кута діелектричних втрат в осерді ОВ.

Ці втрати можна знайти за виразом [5]:

$$\alpha_{\text{ім}} = 2,55 \cdot 10^{-3} \cdot e^{4,63 \cdot 10^3 / \lambda_p}. \quad (5.9)$$

Втрати сигналів, пов'язані з поглинанням в інфрачервоній області спектра, обумовлені хвостами резонансних поглинань іонів (атомів). Вони визначаються за виразом [6]:

$$\alpha_{\text{ич}} = 7,81 \cdot 10^{11} \cdot e^{-4,85 \cdot 10^4 / \lambda_p}. \quad (5.10)$$

Втрати в ОВ на гідроксильному залишку води  $OH$  рівні [6]:

$$\alpha_{OH} = \begin{cases} 0,10 \text{ дБ/км} & \text{при } \lambda_p = 850 \text{ нм} \\ 0,05 \text{ дБ/км} & \text{при } \lambda_p = 1300 \text{ нм} \\ 0,03 \text{ дБ/км} & \text{при } \lambda_p = 1550 \text{ нм} \end{cases} \quad (5.11)$$

Експериментально встановлено, що додаткові втрати в ОК приблизно складають (20 – 40) % від власних втрат і розраховуються за формулою [6]:

$$\alpha_d = \frac{1}{3} \alpha_v. \quad (5.12)$$

### 5.3 Розрахунок погонної дисперсії сигналу в одномодовому оптичному волокні

Середньоквадратичне значення погонної дисперсії одномодового волокна дорівнює:

$$\sigma = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda, \quad (5.13)$$

де  $\lambda$  – робоча довжина хвилі, нм;

$\Delta\lambda$  – діапазон довжин хвиль випромінювання лазера, який береться з табл. 4.5 в залежності від типу апаратури ВОСП;

$D(\lambda)$  – коефіцієнт хроматичної дисперсії ОВ, пс/(км·нм).

Коефіцієнт хроматичної дисперсії  $D(\lambda)$  для ступінчастих волокон і волокон зі зміщеною дисперсією розраховується за формулою [9]

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left[ \lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right], \quad (5.14)$$

## 6 РОЗРАХУНОК ДОВЖИНИ ДІЛЯНКИ РЕГЕНЕРАЦІЇ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ, ДІАГРАМА ЕНЕРГЕТИЧНИХ РІВНІВ

*Вибір та обґрунтування схеми організації зв'язку.* На транспортних телекомунікаційних волоконно-оптичних лініях передачі, як правило, застосовуються однокабельна двоволоконна схема організації зв'язку на одній оптичній несучій. Разом з тим, при необхідності передачі великого об'єму інформації на великі відстані, коли мають місце обмеження довжини елементарної кабельної ділянки за дисперсією, застосовують DWDM (пристрої спектрального ущільнення). У цьому випадку використовують двоволоконну схему організації зв'язків на декількох оптичних несучих. При цьому, на двох

волокнах працюють декілька систем передачі, кожна – на своїй оптичній несучій.

### 6.1 Розрахунок довжини ділянки регенерації за загасанням

Довжина ділянки регенерації ВОСП з організацією зв'язку на одній несучій ( $\lambda_p$ ) обмежується двома чинниками: загасанням і розширенням імпульсу в лінійному тракті. При проектуванні необхідно виконати два розрахунки та в якості довжини ділянки регенерації  $L_p$  вибрати найменше з отриманих значень.

Енергетичний потенціал (ЕП) апаратури ВОСП дорівнює різниці рівнів потужності оптичного сигналу на передачі  $P_{\text{пер}}$  (дБм) та мінімальній чутливості за потужністю сигналу на прийомі  $P_{\text{пр}}$  (дБм), при якому забезпечується задана якість передачі інформації [6]:

$$\text{ЕП} = P_{\text{пер}} - P_{\text{пр}}. \quad (6.1)$$

Максимальна довжина ділянки регенерації за загасанням визначається за формулою [6]:

$$L_{p1\text{max}} = \frac{\text{ЕП} - p_z - 2 \cdot \alpha_{\text{дв}} + \alpha_{\text{н}} - 2 \cdot \alpha_{\text{вп}}}{\alpha + \frac{\alpha_{\text{н}}}{l_{\text{буд}}}}, \quad (6.2)$$

де ЕП – енергетичний потенціал апаратури ВОСП, дБ;

$p_z$  – енергетичний запас системи за потужністю, дБ;

$\alpha_{\text{дв}}$  – втрати потужності в рознімному з'єднанні «джерело випромінювання-волокно», дБ;

$\alpha_{\text{вп}}$  – втрати в рознімному з'єднанні «волокно-приймач», дБ;

$\alpha_{\text{н}}$  – втрати в нерознімному з'єднанні волокон між собою, дБ;

$l_{\text{буд}}$  – будівельна довжина кабелю, км;

$\alpha$  – коефіцієнт загасання ОК, дБ/км (визначається за даними розрахунків, або за табл. 4.2).

Енергетичний запас за потужністю (6 дБ) є запасом системи на втрати сигналу за рахунок експлуатаційних негараздів (старіння ОК і обладнання ВОСП, кабельних вставок та інше).

Мінімальна довжина ділянки регенерації за загасанням визначається за формулою [6]:

$$L_{p1\text{min}} = \frac{\text{ЕП} - \alpha_{\text{АРП}} - p_z - 2 \cdot \alpha_{\text{дв}} + \alpha_{\text{н}} - 2 \cdot \alpha_{\text{вп}}}{\alpha + \frac{\alpha_{\text{н}}}{l_{\text{буд}}}}, \quad (6.3)$$

де  $\alpha_{\text{АРП}}$  – діапазон АРП приймальної частини апаратури (ПРОМ).

Втрати в різних з'єднаннях типу РС/РС, SC/РС, що застосовуються сьогодні на мережах зв'язку не перевищують 0,5 дБ. Число різних з'єднань на ділянці між регенераторами, як правило, рівне чотирьом. Два на ближньому кінці (мультиплексор і оптичний крос) та два на дальньому кінці (оптичний крос і мультиплексор). У випадку використання системи передачі СТМ-1 загальна кількість різних з'єднань рівна двом, тому у виразах (6.2) та (6.3) у  $\alpha_{\text{дв}}$  та  $\alpha_{\text{вп}}$  замість коефіцієнта 2 ставиться коефіцієнт 1.

Як правило, в розрахунках  $L_{\text{p1max}}$  та  $L_{\text{p1min}}$  приймаються втрати  $\alpha_{\text{дв}} = \alpha_{\text{вп}} = \alpha_{\text{р}}$  ( $\alpha_{\text{р}}$  – втрати в рознімному з'єднанні).

Втрати в нерознімному з'єднанні не повинні перевищувати допустимих значень, що визначаються нормативно-технічною документацією. Згідно норм на параметри ЕКД ВОЛП для одномодових волокон загасання на стику волокон не повинне перевищувати 0,1 дБ для 100 % всіх з'єднань, і 0,05 дБ для 50 % всіх з'єднань [3].

Межі регулювання АРП визначаються конкретним типом апаратури. У курсовому проєкті величину  $\alpha_{\text{АРП}}$  слід прийняти рівну (10 – 20) дБ.

Якщо умови вимагають розміщення регенератора так, що умова  $L_{\text{min}} \leq L_{\text{ЕКД}}$  не виконується, необхідно на приймальному кінці включати атенюатори з необхідним загасанням.

## 6.2 Розрахунок довжини ділянки регенерації за дисперсією

Разом із вказаними вище умовами довжина ЕКД повинна задовольняти вимогам за дисперсією [6].

$$L_{\text{р2}} \leq \frac{0,25}{\sigma \cdot B}, \quad (6.4)$$

де  $B$  – швидкість передачі на оптичному стику, біт/с;

$\sigma$  – середньоквадратичне значення погонної дисперсії ОВ, с/км.

Значення  $L_{\text{ЕКД}} = L_{\text{р}}$  вибирається як найменше з розрахованих за формулами (6.2) і (6.4).

Швидкість передачі на оптичному стику визначається за даними табл. 4.5 або зі співвідношення

$$B = B_{\text{цсп}} \frac{m}{n}, \quad (6.5)$$

де  $m$ ,  $n$  – параметри блочного лінійного коду ВОСП  $mBnB$ .

## 6.3 Розміщення регенераційних пунктів трасою ВОЛП

Значна протяжність ЕКД ВОЛП дозволяє розміщувати регенератори в населених пунктах, де є не менше двох незалежних джерел електроживлення. Розміщення регенераторів проводиться, виходячи з бюджету потужності та

допустимої дисперсії на ЕКД.

З урахуванням бюджету потужності між регенераторами ВОЛП  $L_{\text{ЕКД}}$  повинна лежати в межах  $L_{\min} \leq L_{\text{ЕКД}} \leq L_{\max}$ .

Розмістивши регенератори на трасі з урахуванням вказаних вище умов, необхідно визначити довжину кожної ЕКД. Розрахувати запас потужності і дисперсію для кожного ЕКД за формулами.

$$\alpha_3 = \text{ЕП} - \alpha_n n_n - \alpha_p n_p - \alpha L. \quad (6.6)$$

$$n_n = \left( \frac{L_{\max}}{l_{\text{буд}}} \right)_{\text{б}} - 1. \quad (6.7)$$

$$\sigma_{\text{ЕКД}} = \sigma L_{\text{ЕКД}}, \quad (6.8)$$

$$\sigma_{\text{макс}} = \sigma_k \Delta \lambda. \quad (6.9)$$

Отримане значення  $\alpha_3$  слід порівняти з допустимим значенням  $p_3$ , а  $\sigma_{\text{ЕКД}}$  – зі значенням  $\sigma_{\text{макс}}$  [10].

В результаті розрахунку та уточнення довжин ЕКД складається структурна схема ВОЛП, на якій вказуються не обслуговувані регенераційні пункти, довжини ЕКД, тип кабелю та нумерація НРП (рис. 4.1).

#### 6.4 Побудова діаграми рівнів енергетичного потенціалу ВОСП на довжині однієї ділянки регенерації

Енергетичний потенціал ВОСП визначає енергетичні можливості апаратури, що використовується, для перекриття втрат у лінійному тракті. Чим вище значення ЕП, тим на більшу відстань можна передавати інформацію, або при колишній відстані використовувати ОК з більшим значенням коефіцієнта загасання (ОК з меншою вартістю). Величина ЕП залежить перш за все від потужності випромінювання передавального оптичного модуля (ПОМ) і чутливості приймального оптичного модуля (ПРОМ). Збільшити значення ЕП можна наступними способами:

- 1) використовувати в ПОМ лазерні діоди (ЛД) замість суперлюмінісцентних діодів (СД);
- 2) застосувати ПРОМ з кращою чутливістю (наприклад, замінити  $p-i-n$  фотодіод (ФД) на лавинний фотодіод (ЛФД));
- 3) зменшити втрати енергії при введенні її в ОВ (використання мікролінз та інше).

Наочне уявлення про ЕП і розподіл втрат потужності випромінювання в лінійному тракті дає діаграма рівнів енергетичного потенціалу ВОСП. Діаграма будується для ділянки регенерації (рис. 6.1) в координатах: рівень оптичної потужності  $P$  (дБм); відстань  $L_p$  (км). По вертикальних вісях А і Б відкладають рівні потужності ПОМ (у пункті А) і чутливість ПРОМ (у пункті Б) відповідно. На осі А відкладаються відрізки  $(P_{\text{пер}} + \eta)$ , а на осі Б –  $(P_{\text{пр}} + p_3 + 2\alpha_{\text{вп}})$ . Уздовж

вісі абсцис відкладається загасання ОК у вигляді лінії з нахилом  $\alpha l_{\text{буд}}$  (дБ) для кожної будівельною  $l_{\text{буд}}$ , в місцях стику будівельних довжин наносяться відрізки, рівні загасанню в нерознімних з'єднаннях ОК –  $\alpha_n$ .

Можна вважати, що ВОСП спроектована правильно, якщо побудована таким чином діаграма енергетичних рівнів перетне вісь Б в точці приблизно рівній (або трохи вище), ніж значення  $p_3 + P_{\text{пр}}$ .

Діаграма рівнів енергетичного потенціалу (рис. 6.1) побудована для ВОСП STM-4 при довжині  $L_p = 70$  км.

## **7 ЗАХИСТ ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ ВІД ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ**

### **7.1 Захист оптичних кабелів від ударів блискавки**

Методика розрахунку вірогідності річної частоти пошкодження ВОЛП базується на допустимому струмі блискавки в металевих покриттях ОК, при якому не виникає пошкодження кабелю з переривом зв'язку, а пробій зовнішнього шлангу не вважається пошкодженням ОК. Величина цього струму залежить від конструкції ОК, знаходиться, як правило, експериментальним методом [10].

Очікувана вірогідна кількість пошкоджень за рік залежить від кількості ударів блискавки, яка доводиться на ділянку поверхні, що безпосередньо підлягає дії удару блискавки або дуги, яка виникає між місцем удару і кабелем. Вірогідність виникнення в підземному кабелі струму, який може викликати його пошкодження в загальному випадку знаходити за формулою [11]:

$$N_n = N_0 \cdot K_p \cdot K_{\text{п}}, \quad (7.1)$$

де  $N_0$  – загальне ймовірнісне середньорічне число всіх ударів блискавки величиною від 1 до 250 кА в кабель ВОЛП, що проектується;

$K_p$  – коефіцієнт ризику пошкоджень оптичного кабелю з металевими елементами [11], який визначається з рис. 7.1;

$K_{\text{п}}$  – поверхневий коефіцієнт (заданий в табл. 3.2), який враховується при ширині зближення ОК з наземним об'єктами менше за  $2r_{0\text{max}}$ ;

$r_{0\text{max}}$  – максимальний радіус іскрової зони, м.

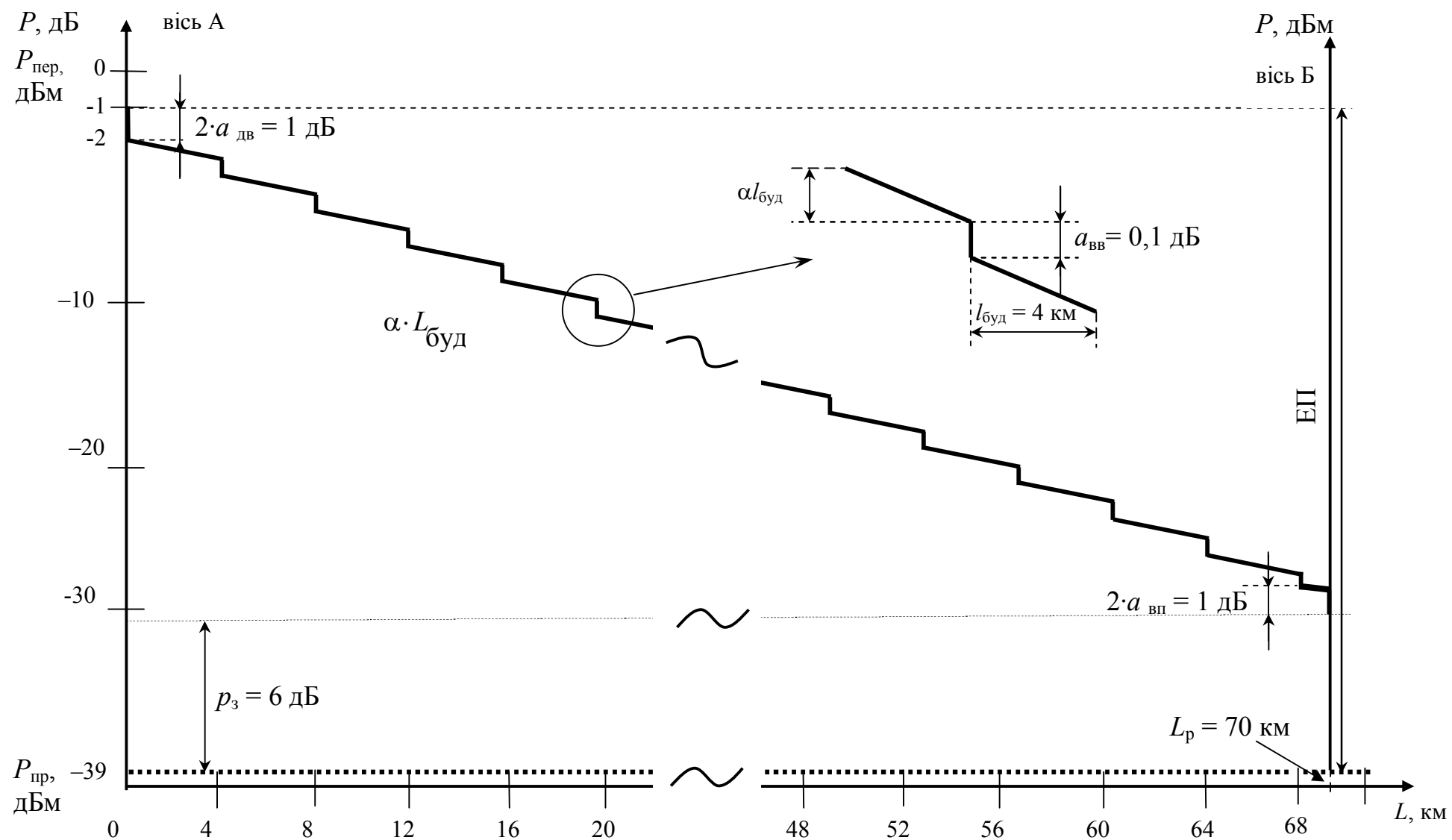


Рисунок 6.1 – Діаграма рівнів енергетичних потенціалів на одній ділянці регенерації для ВОСП STM-4

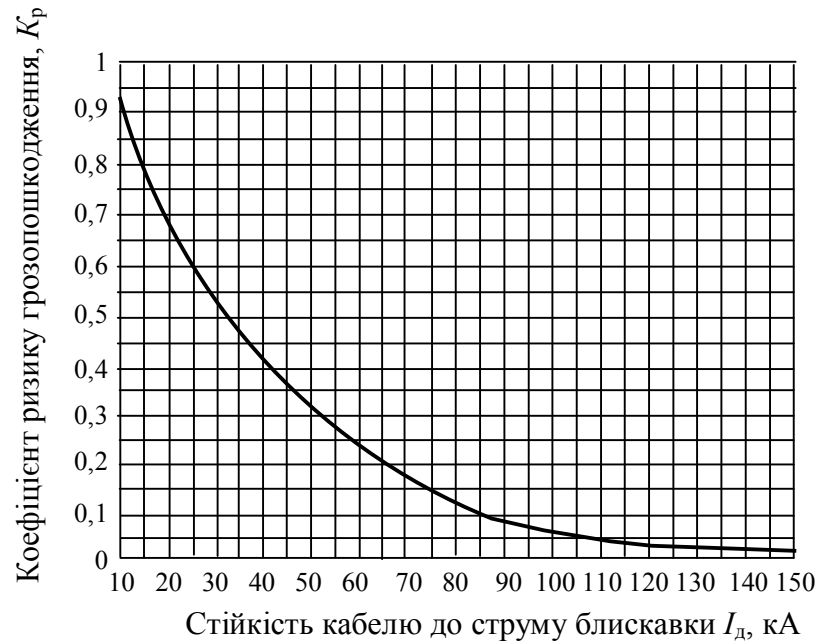


Рисунок 7.1 – Коефіцієнт ризику грозопошкодження ОК залежно від його стійкості до струму блискавки

Значення  $N_0$  розраховується за формулою:

$$N_0 = \frac{q \cdot 2 \cdot r_{\text{по}} \cdot L}{1000}, \quad (7.2)$$

де  $q$  – питома щільність ударів блискавки в рік на  $\text{км}^2$  земної поверхні,  $1 \cdot \text{рік}/\text{км}^2$ ;

$r_{\text{по}}$  – умовний радіус іскрової зони, м;

$L$  – довжина лінії, км.

У розрахунках припустимо  $L = 100$  км.

Величина  $q$  розраховується за виразом:

$$q = C \cdot T, \quad (7.3)$$

де  $C = 0,067$  – середня кількість ударів блискавки на  $1 \text{ км}^2$  поверхні землі за одну грозовогодину;

$T$  – середньорічна тривалість гроз у годинах.

Умовний радіус іскрової зони  $r_{\text{по}}$  визначається за формулою:

$$r_{\text{по}} = \sqrt{\frac{20,66 \cdot \rho}{2\pi \cdot E_{\text{пр}}}}, \quad (7.4)$$

де  $\rho$  – питомий опір ґрунту на довжині  $L$  траси ВОЛП,  $\text{Ом} \cdot \text{м}$ ;

$E_{\text{пр}}$  – пробивна напруга електричного поля в ґрунті,  $\text{кВ}/\text{м}$ .

Значення  $E_{\text{пр}}$  змінюється від 250 кВ/м при  $\rho = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  і до 500 кВ/м при  $\rho \geq 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

Для порівняння отриманого результату з допустимою нормою на очікувану вірогідність пошкодження ОК з металевими елементами, необхідно розрахувати  $N_l^{\text{н}}$  для  $L \neq 100 \text{ км}$  за формулою:

$$N_l^{\text{н}} = N^{\text{н}} \cdot \frac{L}{100}, \quad (7.5)$$

де  $N^{\text{н}}$  – норма на вірогідне число пошкоджень кабелю на 100 км траси, для транспортної ВОЛП  $N^{\text{н}} = 0,1$ .

Якщо  $N_n \leq N^{\text{н}}$ , то захист кабелю не потрібний, якщо ця нерівність не виконується, то застосовують способи захисту, такі як:

- використання одного або двох грозозахисних тросів типу ПС-70, або інших типів;
- заміна кабелю на повністю діелектричний або з вищою категорією грозостійкості.

Розрахунок захисту ОК тросом проводиться таким чином. Для оцінки ефективності дії одного троса використовується коефіцієнт екранування  $\eta$  [11].

$$\eta = \frac{I_{\text{доп}}}{I_{\text{доп}} + I_{\text{т}}}, \quad (7.6)$$

де  $I_{\text{доп}}$  – допустимий випробувальний імпульсний струм, кА;

$I_{\text{т}}$  – струм в колі «захисний трос-земля», кА.

За величиною  $\eta$  оцінюється вірогідне число пошкоджень кабелю ( $N_n$ ) після прокладання захисного троса, при цьому замість  $I_{\text{д}}$  при визначенні  $K_p$

береться величина  $I'_{\text{д}} = \frac{I_{\text{д}}}{\eta}$ . Якщо  $N'_n \geq N^{\text{н}}$  то потрібно використовувати два

троси. Значення коефіцієнта екранування для різних типів згідно з [11] тросів подано в табл. 7.1...7.4.

**Таблиця 7.1 – Коефіцієнт екранування одного мідного або біметалевого проводу діаметром 4 мм**

| Відстань між захисним проводом і кабелем, мм | Коефіцієнт екранування одного мідного або біметалевого проводу діаметром 4 мм |       |       |       |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                                              | Діаметр оболонки кабелю, мм                                                   |       |       |       |
|                                              | 15                                                                            | 20    | 25    | 30    |
| 300                                          | 0,576                                                                         | 0,596 | 0,612 | 0,626 |
| 400                                          | 0,571                                                                         | 0,590 | 0,605 | 0,617 |
| 600                                          | 0,566                                                                         | 0,582 | 0,596 | 0,607 |

**Таблиця 7.2 – Коефіцієнт екранування двох мідних або біметалевих проводів діаметром 4 мм**

| Коефіцієнт екранування двох мідних або біметалевих дротів діаметром 4 мм на глибині прокладання кабелю 1,2 м і глибині прокладання тросів 0,4 м |                             |       |       |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| Відстань між захисними проводами $b$ , мм                                                                                                       | Діаметр оболонки кабелю, мм |       |       |       |
|                                                                                                                                                 | 15                          | 20    | 25    | 30    |
| 300                                                                                                                                             | 0,428                       | 0,443 | 0,456 | 0,467 |
| 400                                                                                                                                             | 0,418                       | 0,433 | 0,446 | 0,457 |
| 600                                                                                                                                             | 0,404                       | 0,419 | 0,431 | 0,442 |
| 800                                                                                                                                             | 0,394                       | 0,409 | 0,421 | 0,432 |
| 1000                                                                                                                                            | 0,387                       | 0,401 | 0,414 | 0,424 |
| 1500                                                                                                                                            | 0,675                       | 0,389 | 0,401 | 0,411 |
| 2000                                                                                                                                            | 0,369                       | 0,383 | 0,394 | 0,403 |
| 3000                                                                                                                                            | 0,363                       | 0,376 | 0,386 | 0,395 |
| 4000                                                                                                                                            | 0,360                       | 0,372 | 0,382 | 0,390 |

**Таблиця 7.3 – Коефіцієнт екранування одного сталевго оцинкованого проводу ПС-70**

| Відстань між захисним проводом і кабелем, мм | Коефіцієнт екранування одного сталевго оцинкованого троса ПС-70 |       |       |       |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                                              | Діаметр оболонки кабелю, мм                                     |       |       |       |
|                                              | 15                                                              | 20    | 25    | 30    |
| 300                                          | 0,662                                                           | 0,685 | 0,704 | 0,720 |
| 400                                          | 0,657                                                           | 0,678 | 0,695 | 0,710 |

**Таблиця 7.4 – Коефіцієнт екранування двох сталевих оцинкованих проводів ПС-70**

| Коефіцієнт екранування двох сталевих оцинкованих проводів ПС-70 діаметром 9,4 мм на глибині прокладання кабелю 1,2 м і глибині прокладання тросів 0,4 м |                             |       |       |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| Відстань між захисними проводами, мм                                                                                                                    | Діаметр оболонки кабелю, мм |       |       |       |
|                                                                                                                                                         | 15                          | 20    | 25    | 30    |
| 300                                                                                                                                                     | 0,518                       | 0,536 | 0,552 | 0,565 |
| 400                                                                                                                                                     | 0,506                       | 0,524 | 0,540 | 0,553 |
| 600                                                                                                                                                     | 0,488                       | 0,507 | 0,522 | 0,535 |
| 800                                                                                                                                                     | 0,477                       | 0,495 | 0,510 | 0,523 |
| 1000                                                                                                                                                    | 0,468                       | 0,486 | 0,500 | 0,513 |
| 1500                                                                                                                                                    | 0,454                       | 0,471 | 0,485 | 0,497 |
| 2000                                                                                                                                                    | 0,447                       | 0,463 | 0,477 | 0,488 |
| 3000                                                                                                                                                    | 0,439                       | 0,454 | 0,467 | 0,478 |
| 4000                                                                                                                                                    | 0,435                       | 0,450 | 0,462 | 0,472 |

## 7.2 Розрахунок небезпечних магнітних впливів

Одним з основних факторів, що визначають міру впливу ЛЕП на ВОЛП є характер їх зближення. Під зближенням розуміється взаємне розташування ВОЛП і лінії високої напруги (ЛВН) (ЛЕП або контактних мереж електрифікованої залізниці (ЕЗД)), при якій в ОК можуть виникати небезпечна напруга та струми. Зближення може бути паралельним, скісним і складним.

Ділянка зближення вважається паралельною, якщо найкоротша відстань між лініями (ширина зближення)  $a$  змінюється за довжиною зближення не більше ніж на 10 % від середнього значення. Якщо ця умова не виконується, то ділянка зближення буде скісною. Таке зближення замінюється ступінчастим паралельним, при цьому вибирають довжину паралельних еквівалентних ділянок так, щоб відношення максимального значення ширини зближення до мінімального на кінцях ділянки було не більше трьох. Тоді еквівалентна ширина зближення  $a_{\text{екв}}$  визначається співвідношенням  $\alpha_{\text{екв}} = \sqrt{a_i \cdot a_{i+1}}$ .

Небезпечний магнітний вплив може виникнути при нормальному режимі роботи ЛВН, або при її аварійному режимі при обриві і заземленні фазового дроту ЛЕП або контактного дроту ЕЗД. Велика величина струму короткого замикання створює інтенсивне магнітне поле. Внаслідок чого в жилах кабелю індукується ЕРС, яка може перевищувати допустимі значення. Ця ЕРС називається поздовжньою оскільки індуковане електричне поле направлене уздовж дроту зв'язку.

*Поздовжня ЕРС* – це різниця потенціалів на початку і на кінці металевій оболонки ОК на довжині ділянки зближення.

Абсолютне значення поздовжньою ЕРС, яка наведена в металевій оболонці ОК, від магнітного впливу ЛВН на складній ділянці зближення (рис. 7.2) розраховується на частоті 50 Гц за формулою:

$$E = \omega \sum_{i=1}^n M_{1ai} I_i L_i, \quad (7.7)$$

де  $E$  – поздовжня ЕРС, В;

$n$  – кількість ділянок зближення;

$I_i$  – впливаючий струм, А;

$M_{1ai}$  – коефіцієнт взаємної індукції між однопроводовими колами ЛВН і «оболонка ОК-земля» на  $i$ -й ділянці зближення, Гн/км;

$L_i$  – довжина  $i$ -ї ділянки зближення, км.

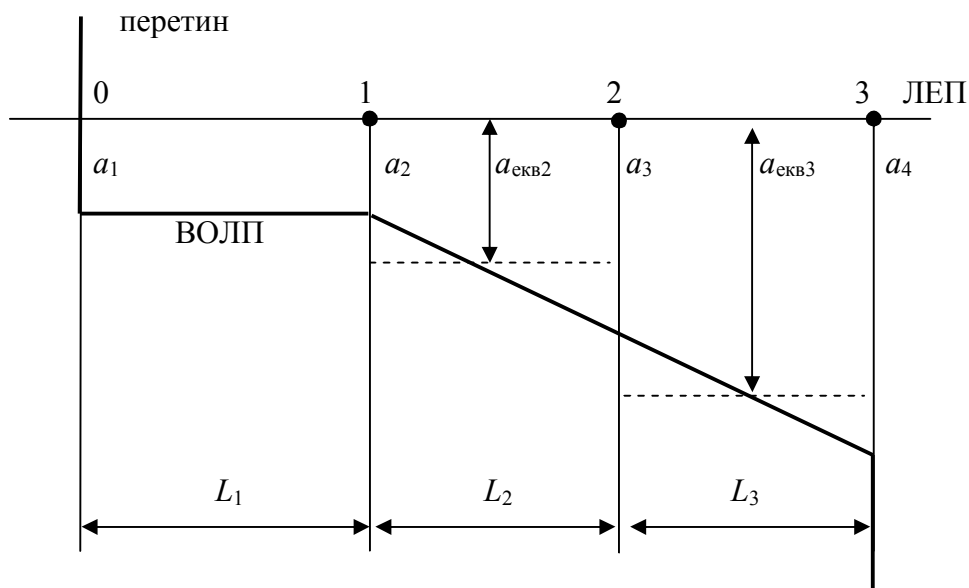


Рисунок 7.2 – Схема зближення ВОЛП з ЛЕП

Коефіцієнт взаємної індукції точно визначити теоретично достатньо складно, оскільки він залежить від провідності землі на ділянці зближення, а провідність землі із-за неоднорідності структури побудови міняється в широких межах. В практиці коефіцієнт взаємної індукції в залежності від ширини зближення і провідності землі визначається за номограмами М.І. Михайлова (рис. 7.3) в припущенні, що структура землі на ділянці зближення однорідна [12]. Можна визначити коефіцієнт взаємної індукції за наближеною формулою, яка справедлива в діапазоні тональних частот:

$$M_{1a} = \ln \left| 1 + \frac{6 \cdot 10^5}{a_{\text{екв}}^2 \sigma_3 f} \right| \cdot 10^{-4}, \quad (7.8)$$

де  $a_{\text{екв}}$  – еквівалентна ширина зближення, м;

$f$  – частота впливаючого струму, Гц.

$\sigma_3$  – провідність землі, См/м.

Розрахунок поздовжньої ЕРС наведеної на металевій оболонці ОК виконується в 2 режимах роботи ЛВН (аварійному і нормальному). Для цього у виразі (7.7) замість  $I_i$  підставляється значення  $I_{\text{кз}i}$  (струму короткого замикання в кінці  $i$ -ї ділянки зближення), а в другому – значення  $I_p$  (робочого струму ЛВН).

Визначивши коефіцієнт взаємної індукції  $M_{1a}$  для кожної ділянки проводиться розрахунок поздовжньою ЕРС, наприклад, в аварійному режимі роботи ЛВН.

$$E_a = \omega (M_{1a1} L_1 I_{\text{кз}1} + M_{1a2} L_2 I_{\text{кз}2} + M_{1a3} L_3 I_{\text{кз}3}). \quad (7.9)$$

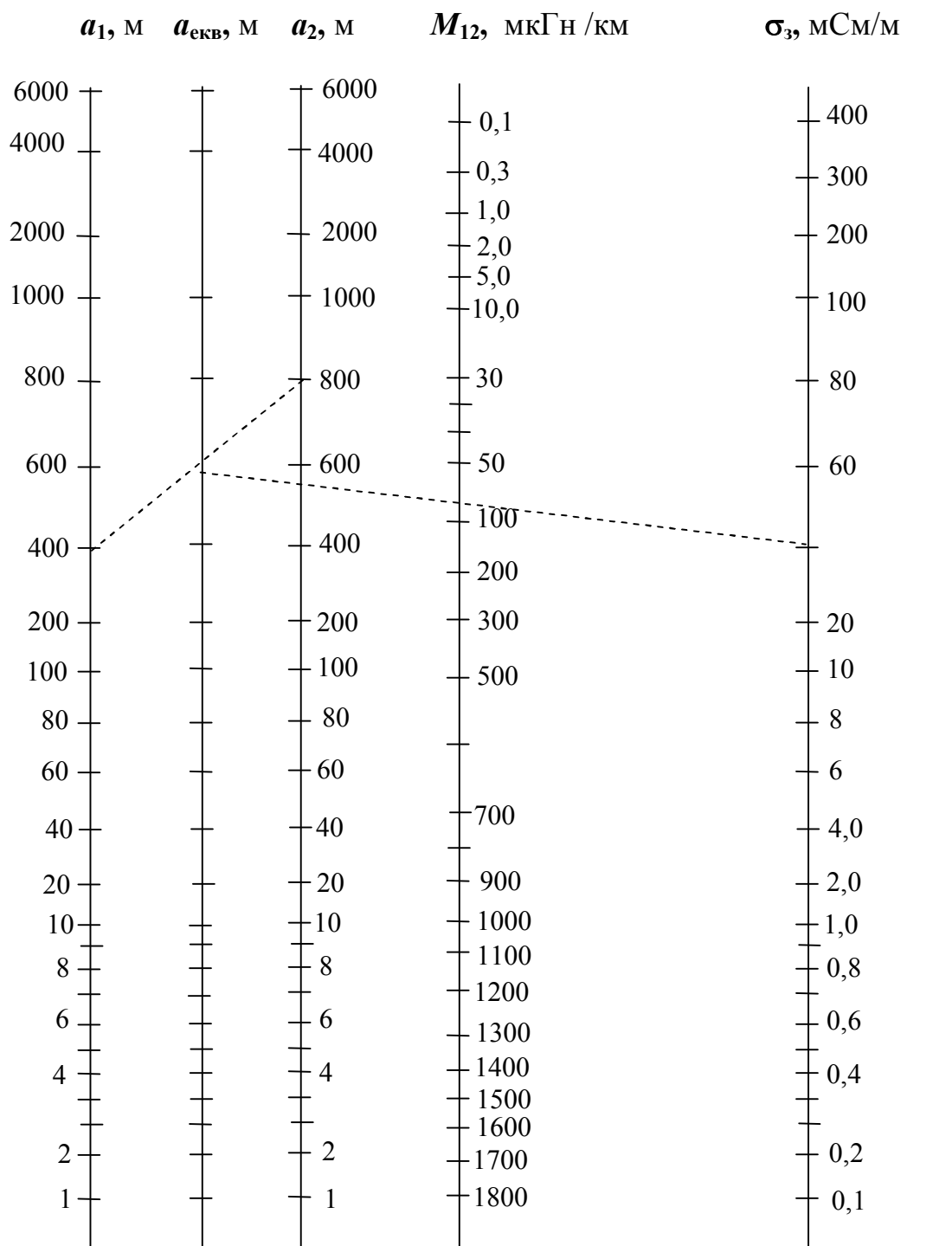


Рисунок 7.3 – Номограма М.І. Михайлова для частоти 50 Гц

У нормальному режимі роботи ЛВН розрахунок поздовжньою ЕРС виконується за виразом:

$$E_{\text{н}} = \omega I_{\text{п}} (M_{1a1} L_1 + M_{1a2} L_2 + M_{1a3} L_3). \quad (7.10)$$

Результати розрахунку наприклад  $E_a$  зводиться до табл. 7.5 а, та 7.5 б.

**Таблиця 7.5, а – Результати розрахунку поздовжньої ЕРС в аварійному режимі роботи ЛЕП**

| № зп | $a_1$ , м | $a_2$ , м | $a_{\text{екв}}$ , м | $M_{\text{ла}}$ ,<br>мкГн/км | $L_i$ ,<br>км | $I_p$ ,<br>А | $E_i = \omega \sum_{i=1}^n M_{\text{лси}} I_{\text{кзи}} L_i$ , В | $E$ , В |
|------|-----------|-----------|----------------------|------------------------------|---------------|--------------|-------------------------------------------------------------------|---------|
| 0    |           |           |                      |                              |               |              |                                                                   |         |
| 1    |           |           |                      |                              |               |              |                                                                   |         |
| 2    |           |           |                      |                              |               |              |                                                                   |         |
| 3    |           |           |                      |                              |               |              |                                                                   |         |

**Таблиця 7.5, б – Результати розрахунку поздовжньої ЕРС в нормальному режимі роботи ЛЕП**

| № зп | $a_1$ , м | $a_2$ , м | $a_{\text{екв}}$ , м | $M_{\text{ла}}$ ,<br>мкГн/км | $L_i$ ,<br>км | $I_p$ ,<br>А | $E_i = \omega I_p \sum_{i=1}^n M_{\text{лси}} L_i$ , В | $E$ , В |
|------|-----------|-----------|----------------------|------------------------------|---------------|--------------|--------------------------------------------------------|---------|
| 0    |           |           |                      |                              |               |              |                                                        |         |
| 1    |           |           |                      |                              |               |              |                                                        |         |
| 2    |           |           |                      |                              |               |              |                                                        |         |
| 3    |           |           |                      |                              |               |              |                                                        |         |

При розрахунку  $E_a$  або  $E_n$  на жилах дистанційного живлення (ДЖ) потрібно враховувати у виразах (7.7), (7.9) та (7.10) величину коефіцієнта захисної дії металевих покриттів ОК ( $S_k$ ) шляхом помноження правої частини цих виразів на цей коефіцієнт.

Якщо значення  $E_a$  або  $E_n$ , які наведені на жилах дистанційного живлення і оболонці ОК, перевищують  $E_{\text{доп}}$ , то необхідно передбачити заходи захисту. В якості захисту можна розглянути застосування екрануючих тросів, наприклад, для ПС-70 з коефіцієнтом екранування  $S_k$  згідно табл. 7.3 і табл. 7.4.

Значення  $E_{\text{доп}}^a$  на жилах ДЖ складає величини, отримані з табл. 7.5 [10, 11]. Значення  $E_{\text{доп}}^n = 42$  В.

Величини небезпечної напруги та струмів у металевих елементах ОК, що обумовлені впливом ЛВН, встановлюються виходячи із забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу, що працює на станційних і лінійних спорудах, а також з умови оберігання цих споруд від пошкодження (пробій ізоляції жил ДЖ, захисного шланга кабелю, пошкодження апаратури та ін.).

Допустимі величини небезпечної напруги та струмів набувають таких значень, при яких не вимагається спеціальних заходів захисту. При цьому береться до уваги час і умова їх дії на людей і споруди зв'язку. Короткочасна небезпечна напруга та струми можуть виникати в ОК на ділянках зближення з ЛЕП і ЕЗД при їх короткому замиканні на землю. Час дії цієї напруги і струмів складає (0,15 – 1,2) с (час спрацювання відключаючих пристроїв), тому для такого аварійного режиму роботи допускається відносно висока напруга. При нормальному та вимушеному режимах роботи ліній високої напруги

небезпечна напруга та струми діють тривало, тому норми для цих режимів роботи істотно нижчі (42 В).

При короткочасному небезпечному впливі ЛЕП і ЕЗД на довжині гальванічно неподіленої ділянки кабельної лінії зв'язку максимально допустимі значення поздовжніх ЕРС на жилах ДЖ можна визначити за даними табл. 7.6.

**Таблиця 7.6 – Допустимі значення поздовжньою ЕРС при короткочасному впливі**

| Схема дистанційного живлення (ДЖ) | Допустимі ЕРС, В, при впливі                        |                                                        |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                                   | ЛЕП                                                 | ЕЗД                                                    |
| Без ДЖ                            | $U_{\text{випр}}$                                   | $0,6U_{\text{випр}}$                                   |
| «Жила-земля» постійним струмом    | $U_{\text{випр}} - \frac{U_{\text{дж}}}{\sqrt{2}}$  | $0,6U_{\text{випр}} - \frac{U_{\text{дж}}}{\sqrt{2}}$  |
| «Жила-жила» постійним струмом     | $U_{\text{випр}} - \frac{U_{\text{дж}}}{2\sqrt{2}}$ | $0,6U_{\text{випр}} - \frac{U_{\text{дж}}}{2\sqrt{2}}$ |
| «Жила-жила» змінним струмом       | $U_{\text{випр}} - \frac{U_{\text{дж}}}{2}$         | $0,6U_{\text{випр}} - \frac{U_{\text{дж}}}{2}$         |

Величина випробувальної напруги  $U_{\text{дж}}$  залежить від типу кабелю, а величина напруги дистанційного живлення лінійних регенераторів  $U_{\text{дж}}$ , що живить по жилах дистанційного живлення ОК, – від типу системи передачі.

Згідно ТУ на ОК, що намотаний на барабані, норма  $E_{\text{доп}}^a$  для захисного шланга складає 10000 В [13], а на прокладеному кабелі – 2000 В [3].

## 8 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ ЛІНІЙНИХ СПОРУД ВОСП

Для ВОЛП довжиною  $L$  параметр потоку відмов визначається за виразом [14]:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i L_i, \quad (8.1)$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов  $i$ -ї однорідної ділянки лінії, 1/час;

$L_i$  – довжина  $i$ -ї ділянки ВОЛП з відповідною інтенсивністю відмов.

Інтенсивність відмов залежить від місцевості прокладання ОК (табл. 8.1), згідно [14] Україна розбита на 3-и райони (гірські Карпати, рівнинна частина, узбережжя Чорного і Азовського морів).

В табл. 8.1 подані середньостатистичні характеристики надійності (інтенсивність відмов ( $\lambda$ ) та час відновлення зв'язку ( $t_{\text{св}}$ ) на кабельних лініях),

отримані за результатами спостережень на транспортній телекомунікаційній мережі України з 2001 по 2005 рік.

**Таблиця 8.1 – Значення інтенсивності відмов на один кілометр траси і середнього часу відновлення зв'язку для броньованих і неброньованих підземних ОК**

| Район України                        | Інтенсивність відмов на один кілометр траси ( $\lambda \cdot 10^{-7}$ , 1/год) і середній час відновлення зв'язку, год |                         |                        |                 |                                                      |                         |                        |                 |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|
|                                      | броньований кабель в ґрунті                                                                                            |                         |                        |                 | неброньований кабель в полімерній трубці (субканалі) |                         |                        |                 |
|                                      | $\lambda_{\text{ср}}$                                                                                                  | $\lambda_{\text{макс}}$ | $\lambda_{\text{мін}}$ | $t_{\text{св}}$ | $\lambda_{\text{ср}}$                                | $\lambda_{\text{макс}}$ | $\lambda_{\text{мін}}$ | $t_{\text{св}}$ |
| гірські Карпати                      | —                                                                                                                      | —                       | —                      | —               | —                                                    | —                       | —                      | —               |
| рівнинна частина                     | 18,90                                                                                                                  | 32,30                   | 5,49                   | 3,520           | 15,30                                                | 26,8                    | 3,68                   | 3,71            |
| узбережжя Чорного і Азовського морів | 9,22                                                                                                                   | 13,90                   | 4,54                   | 3,850           | 7,45                                                 | 11,40                   | 3,52                   | 4,93            |

Середній час напрацювання на відмову (год) на ВОЛП розраховується за виразом [14, 15]:

$$T_0 \approx \frac{1}{\Lambda}. \quad (8.2)$$

Середній час відновлення зв'язку (год), як середнє значення для різних районів України (наприклад, рівнинного і чорноморського) знаходиться за виразом:

$$t_{\text{св}} = \frac{\Lambda_{\text{р}} t_{\text{вр}} + \Lambda_{\text{ч}} t_{\text{вч}}}{\Lambda_{\text{р}} + \Lambda_{\text{ч}}}, \quad (8.3)$$

де  $t_{\text{вр}}, t_{\text{вч}}$  – середній час відновлення зв'язку в рівнинному і Чорноморському районах відповідно, год.

Коефіцієнт готовності ВОЛП визначається за виразом [14, 15]:

$$K_{\text{г}} = \frac{T_0}{T_0 + t_{\text{св}}}, \quad (8.4)$$

В даному разі має місце випадок, коли за статистичними матеріалами дуже обмеженого об'єму немає можливості знайти завчасно невідомий закон розподілу випадкової величини  $T_0$  та  $t_{\text{св}}$ .

Для характеристики точності оцінки цих випадкових величин використовують поняття довірчої вірогідності  $\gamma$ .

Якщо припустити, що дані статистичних досліджень за питомою вагою відмов ВОЛЗ відповідають на практиці експоненціальному закону розподілу напрацювання на відмову  $T_0$ , що широко використовується, то довірчі межі середніх значень  $T_0$  та  $t_{\text{св}}$  необхідно визначати за виразами:

$$\left. \begin{aligned} \chi_{\text{в}} &= a_1 \chi_{\text{ср}} \\ \chi_{\text{н}} &= a_2 \chi_{\text{ср}} \end{aligned} \right\}, \quad (8.5)$$

де  $\chi_{\text{в}}$ ,  $\chi_{\text{н}}$  – верхня і нижня межі середніх значень статистичних характеристик;  
 $a_1$ ,  $a_2$  – коефіцієнти відповідно верхньої і нижньої меж при заданій довірчій вірогідності;

$\chi_{\text{ср}}$  – середнє значення кількісної характеристики надійності.

У даному розділі  $\chi_{\text{ср}}$  дорівнює:

$$\chi_{\text{ср}} = T_0, \quad \text{або} \quad \chi_{\text{ср}} = t_{\text{св}} \quad (8.6)$$

Отримані значення показників надійності  $T_0$  та  $t_{\text{св}}$ , наприклад, за виразами (8.1) – (8.3) вказують на те, що на основі статистичних даних можна очікувати, що  $T_0$ ,  $t_{\text{св}}$  ВОЛЗ буде знаходитися в межах  $T_{0\text{в}} \dots T_{0\text{н}}$  та  $t_{\text{свв}} \dots t_{\text{свн}}$ .

Порівняємо отримані значення коефіцієнта готовності кабельної магістралі із значенням, яке потребується ( $K_{\text{гпотр}}$ ).

Для визначення  $K_{\text{гпотр}}$  згідно [14, 15] необхідно розрахувати середній час напрацювання на відмову ( $T_{0\text{потр}}$ ) на довжині кабельної магістралі, виходячи з норм середнього часу між відмовами  $T_{0\text{норм}} = 340,5$  годин на довжині еталонного гіпотетичного кола довжиною  $L = 2500$  км і норми середнього часу відновлення зв'язку  $t_{\text{свнорм}} = 5,2$  год за виразом:

$$T_{0\text{потр}}(L_{\text{км}}) = T_{0\text{норм}} \frac{L}{L_{\text{км}}}, \quad (8.7)$$

$$t_{\text{свпотр}}(L_{\text{км}}) = t_{\text{свнорм}} \frac{L}{L_{\text{км}}}, \quad (8.8)$$

$$\text{Тоді} \quad K_{\text{гпотр}} = \frac{T_{0\text{потр}}}{T_{0\text{потр}} + t_{\text{свнорм}}}. \quad (8.9)$$

Якщо  $K_{\text{гпотр}} \leq K_{\text{г}}$ , то це означає, що показники надійності ВОЛП відповідають нормі.

## **9 ОРГАНІЗАЦІЯ РОБІТ ІЗ БУДІВНИЦТВА ТА МОНТАЖУ ПРОЕКТОВАНОЇ ЛІНІЇ. КОШТОРИСНО-ФІНАНСОВИЙ РОЗРАХУНОК ЛІНІЙНИХ СПОРУД ВОЛП**

### **9.1 Організація будівельно-монтажних робіт**

Інвестиційна політика передбачає підвищення ефективності використання капітальних вкладень та їх економічне регулювання. Неабиякою мірою цьому сприяє не тільки висока якість підготовлених проектних матеріалів і документів, але і організація будівельно-монтажних робіт на проєктованій кабельній лінії при мінімально можливих термінах будівництва.

Початку будівництва кабельних ліній передують проведення низки підготовчих заходів щодо вивчення проєктно-кошторисної документації, траси лінії, особливо на складних ділянках і перетини. При цьому складається проєкт виробництва робіт із вказівкою термінів і послідовності виконання окремих видів робіт. У підготовчий період уточнюються місця розташування будівельних підрозділів, кабельних майданчиків, проводиться підготовка автотранспорту і механізмів, інструментів, вимірювальної апаратури і тому подібне.

Будівництво ВОЛП здійснюють будівельно-монтажні організації, що підрозділяються на загальнобудівельні і спеціалізовані. Загальнобудівельні виконують роботи по зведенню і реконструкції будівель і споруд. Роботи по будівництву та монтажу інженерних мереж і комунікацій виконуються спеціалізованими організаціями галузі зв'язку, до яких відносяться будівельно-монтажні управління (БМУ), пересувні механізовані колони (ПМК) і будівельно-монтажні поїзди (БМП). У їх складі створюються виробничі підрозділи: будівельно-монтажні ділянки, механізовані колони і спеціалізовані бригади з організації переходів, будівництва каналізації, вимірювальні та ін.

При будівництві лінійно-кабельних споруд (ЛКС) кабельних ліній зв'язку виконуються наступні основні роботи:

- розбиття та підготовка траси;
- прокладання кабелю;
- монтаж кабелю;
- організація переходів через річки й інші перешкоди;
- спорудження телефонної каналізації і прокладання кабелю в каналізації;
- установка НРП й устаткування введень в них;
- організація введення в кінцеві та обслуговувані підсилювальні пункти;
- організація захисту кабельної лінії від зовнішніх електромагнітних полів;
- проведення випробувань та робіт електровимірювань у процесі будівництва і монтажу.

Будівництво лінійних споруд пов'язане з необхідністю виконання великих

об'ємів земляних робіт, тобто робіт, пов'язаних з розробкою і переміщенням ґрунтів. До них відносяться: риття траншей і котлованів, їх засипання, планування поверхні землі, розтин і відновлення вуличних покривів. Трудомісткість виконання земляних робіт залежить від групи ґрунту та можливості застосування спеціальних машин і механізмів.

На заміських ділянках прокладання кабелю здійснюється кабелеукладачем, за винятком тих місць, де його застосування неможливе.

Проведення робіт здійснюється відповідно до проекту організації будівництва (ПОБ), що представляє невід'ємну частину технічного проекту. В ньому відображені короткі положення технічної частини проекту про системи зв'язку, види споруд, тип кабелів, протяжність траси, кількості регенераційних пунктів та ін. Проект організації будівництва містить метеорологічні відомості про трасу, характеристику місцевості, ґрунтів, шляхів, річок і водоймищ на ділянках, дані про об'єми основних робіт і способи їх виробництва, глибину прокладання. У ПОБ є відомості потрібної кількості механізованих колон, механізмів і транспортних засобів, основних матеріалів та обладнання.

При складанні ПОБ необхідно врахувати наступні обставини:

- будівництво повинне здійснюватися передовими методами, що забезпечують найвищу продуктивність робіт та їх якість;
- скорочення термінів будівництва;
- технологічну послідовність виконання будівельно-монтажних робіт.

У проекті необхідно скласти відомість об'єму робіт і витрати матеріалів на будівництво ВОЛП згідно табл. 9.1.

**Таблиця 9.1 – Відомість об'єму робіт на будівництво лінійних споруд ВОЛП**

| № зп | Найменування робіт                                                                | Один. вим.             | К-сть | Примітка                                      |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------|-----------------------------------------------|
| 1    | 2                                                                                 | 3                      | 4     | 5                                             |
| 1    | Протяжність траси                                                                 | км                     |       |                                               |
|      | <b>Будівельні роботи</b>                                                          |                        |       |                                               |
| 2    | Розробка траншей для прокладання кабелю ручним способом у ґрунтах а) 2-3 групи    | км /100 м <sup>3</sup> |       | $\frac{L_{тр(м)} \cdot 0,5м \cdot 1,2м}{100}$ |
| 3    | Розробка траншей для прокладання кабелю екскаватором у ґрунтах 2 – 4 групи        | км /100 м <sup>3</sup> |       | $\frac{L_{тр(м)} \cdot 0,8м \cdot 1,2м}{100}$ |
| 4    | Розробка котлованів для муфт ручним способом у ґрунтах 2 – 3 групи                | шт/100 м <sup>3</sup>  |       | $\frac{4,8м^3 \cdot N(муфт)}{100}$            |
| 5    | Розробка котлованів для замірних стовпчиків ручним способом у ґрунтах 2 – 4 групи | шт/100 м <sup>3</sup>  |       | $\frac{0,06м^3 \cdot N(стовп)}{100}$          |
| 6    | Засипання траншей та котлованів ручним способом, ґрунт 1 – 3 групи                | 100 м <sup>3</sup>     |       |                                               |
| 7    | Засипання траншей та котлованів бульдозером, ґрунт 1 – 3 групи                    | 100 м <sup>3</sup>     |       |                                               |

Закінчення табл. 9.1

| 1  | 2                                                                                                                                                                                                                  | 3                                                 | 4 | 5                                                                                |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------|
| 8  | Кабельні переходи через а/дороги та залізниці:<br>– проколом;<br>– направленим бурінням.                                                                                                                           | пер/м<br>пер/м                                    |   |                                                                                  |
| 9  | Кабельні переходи через водні перешкоди направленим бурінням                                                                                                                                                       | пер/м                                             |   |                                                                                  |
|    | <b>Монтажні роботи</b>                                                                                                                                                                                             |                                                   |   |                                                                                  |
| 10 | Прокладання кабелю (трубки) кабелеукладачем у ґрунтах 2 – 3 групи                                                                                                                                                  | км.каб                                            |   | При прокладанні ОК без металевих елементів, кабель прокладається в трубці ПВТ-40 |
| 11 | Прокладання кабелю (трубки) в готову траншею                                                                                                                                                                       | км.каб                                            |   |                                                                                  |
| 12 | Прокладання кабелю в кабельну каналізацію<br>– існуючу;<br>– проектувану.                                                                                                                                          | км.каб<br>км.каб                                  |   |                                                                                  |
| 13 | Задкування оптичного кабелю в трубку                                                                                                                                                                               | км.каб                                            |   | При прокладанні ОК в трубку                                                      |
| 14 | Монтаж з'єднувальних муфт<br>– в кабельних колодязях;<br>– в котлованах.                                                                                                                                           | шт<br>шт                                          |   |                                                                                  |
| 15 | Установка замірних стовпчиків                                                                                                                                                                                      | шт                                                |   | (5 – 6) шт на 1 км траси                                                         |
| 16 | Комплекс вимірювань оптичного кабелю:<br>– вимірювання на кабельному майданчику перед прокладанням;<br>– вимірювання при прокладанні кожної будівельної довжини;<br>– після прокладання на регенераційній ділянці. | барабан<br>буд.<br>довжина<br>регенер.<br>ділянка |   |                                                                                  |
| 17 | Всього ОК                                                                                                                                                                                                          | км                                                |   | 1,024 L <sub>тр</sub> (км)                                                       |

## 9.2 Кошторисно-фінансовий розрахунок

Кошторисно-фінансовий розрахунок складається з відомості об'єму робіт і самого кошторису (табл. 9.2). Відомість об'єму робіт подана в табл. 9.1.

Таблиця 9.2 – Кошторис на лінійні споруди ВОЛП

| № з/п | Перелік робіт                                                                 | Од. вимір.         | Кіл-сть одиниць | Вартість одиниці, грн. | Загальна вартість, грн. |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------|------------------------|-------------------------|
| 1     | 2                                                                             | 3                  | 4               | 5                      | 6                       |
|       | <b>Будівельні роботи</b>                                                      |                    |                 |                        |                         |
|       | <b>Будівельні роботи на заміській ділянці</b>                                 |                    |                 |                        |                         |
| 1     | Розробка траншей для прокладання кабелю ручним способом в ґрунтах 2 – 3 групи | 100 м <sup>3</sup> |                 | 3470                   |                         |

Закінчення табл. 9.2

| 1  | 2                                                                                                                          | 3                  | 4 | 5    | 6 |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---|------|---|
| 2  | Розробка траншей для прокладання кабелю екскаватором в ґрунтах 2 – 3 групи                                                 | 100 м <sup>3</sup> |   | 5404 |   |
| 3  | Розробка котлованів для муфт ручним способом в ґрунтах 2 – 3 групи                                                         | 100 м <sup>3</sup> |   | 4773 |   |
| 4  | Розробка котлованів для замірних стовпчиків ручним способом в ґрунтах 2 – 4 групи                                          | 100 м <sup>3</sup> |   | 5412 |   |
| 5  | Засипання траншей та котлованів ручним способом ґрунт 1 – 3 групи                                                          | 100 м <sup>3</sup> |   | 1647 |   |
| 6  | Засипання траншей та котлованів бульдозером ґрунтом 1 – 3 групи                                                            | 100 м <sup>3</sup> |   | 898  |   |
| 7  | Кабельні переходи через а/дороги і з/дороги проколом                                                                       | 10м                |   | 1460 |   |
| 8  | Кабельні переходи через а/дороги і з/дороги направленим бурінням                                                           | 10м                |   | 5234 |   |
| 9  | Кабельні переходи через водні перешкоди направленим бурінням                                                               | 10м                |   | 5234 |   |
|    | <b>Монтажні роботи</b>                                                                                                     |                    |   |      |   |
| 10 | Прокладання кабелю (трубки) кабелеукладачем в ґрунтах 2 – 3 групи                                                          | км.каб             |   | 9307 |   |
| 11 | Прокладання кабелю (трубки) в готову траншею                                                                               | км.каб             |   | 1200 |   |
| 12 | Прокладання кабелю в кабельну каналізацію існуючу та проектувану                                                           | км.каб             |   | 3900 |   |
| 13 | Задувка оптичного кабелю в трубку                                                                                          | км.каб             |   | 4500 |   |
| 14 | Встановлення замірних стовпчиків                                                                                           | шт.                |   | 248  |   |
| 15 | Монтаж з'єднувальних муфт у кабельних колодязях та в котлованах                                                            | шт.                |   | 2636 |   |
|    | <b>Монтажно-вимірювальні роботи на ОК</b>                                                                                  |                    |   |      |   |
| 16 | Вимірювання 8-и волоконного кабелю рефлектометром на кабельному майданчику перед прокладанням                              | барабан            |   | 1327 |   |
| 17 | Вимірювання 8-и волоконного кабелю рефлектометром при прокладанні кожної будівельної довжини                               | буд. довжин а      |   | 1682 |   |
| 18 | Монтаж муфт та вимірювання загасання місця стику рефлектометром у двох напрямках                                           | муфта              |   | 2637 |   |
| 19 | Вимірювання оптичних параметрів 8-и волоконного ОК за допомогою оптичних тестерів у двох напрямках на змонтованій дільниці | рег. дільн.        |   | 1400 |   |
| 20 | Кабель ОАрБгП-14Е5(2×7)-1,5                                                                                                | км                 |   | 9100 |   |
|    | Всього                                                                                                                     |                    |   |      |   |
|    | Планові накопичення                                                                                                        | %                  | 8 |      |   |
|    | Разом                                                                                                                      |                    |   |      |   |

Визначимо вартість будівництва на 100 км траси:

$$C_{100\text{км}} = (C/L_{\text{тр}}) \cdot 100, \quad (9.1)$$

де  $C$  – кошторисна вартість будівництва кабельної лінії;

$L_{\text{тр}}$  – довжина кабельної лінії, км.

Визначимо вартість одного ПЦП на 1 км траси:

$$C_{\text{ПЦП км}} = C / (L_{\text{тр}} \cdot N_{\text{ПЦП}}). \quad (9.2)$$

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ковтун В.В. Экономико-географический справочник городов Украины / В.В. Ковтун, А.В. Степаненко. – К., 1990. – 279 с.
2. Схема автомобільних шляхів України. Київська військово-картографічна фабрика, 2006.
3. КНД-141-99. Керівництво щодо будівництва споруд волоконно-оптичного зв'язку. – К.: Держкомзв'язок, 2004. – 120 с.
4. Characteristics of a single-mode optical fibre and cables (Характеристики кабеля с одномодовыми оптическими волокнами). G.652.
5. Characteristics of a nonzero dispersion shifted single-mode optical fibre cable (Характеристики кабеля с одномодовыми оптическими волокнами со смещенной ненулевой дисперсией). G.655.
6. Волоконно-оптические кабели / Иоргачёв Д.В., Бондаренко О.В., Дашенко А.Ф., Усов А.В. – О.: Астропринт, 2000. – 536 с.
7. Каталог кабелів ПАТ «Завод «Південкабель», 2012.
8. Скляров О.К. Современные волоконно-оптические системы передачи, аппаратура и элементы / Скляров О.К. – М.: СОЛОН-Р, 2001. – 237 с.
9. Рекомендация G.957 МСЕ-Т Оптические стыки для аппаратуры и систем передачи, относящихся к синхронной цифровой иерархии.
10. Проектирование кабельных линий связи: Методическая разработка, ПГАТиИ. – Самара, 2000. – 61 с.
11. КНД 45-136-99 Інструкція по захисту волоконно-оптичних ліній зв'язку від ударів блискавки та електромагнітних впливів. – [Вид. офіц.]. – К., 1999.
12. Гроднев И.И. Инженерно-технический справочник по электросвязи / И.И. Гроднев, А.Н. Гумеля, А.Н. Климов. – [изд. 3-е]. – М.: Связь, 1966. – 671 с.
13. Кабелі зв'язку оптичні для магістральних, зонових та міських мереж зв'язку. Технічні умови. ТУ-У 05758730.007-97: 1997. – [Чинні від 1997-12-10]. – Одеса: УРУ Держстандарта Одеський центр стандартизації і метрології, 1997. – 69 с. – (Технічні умови ВАТ «Одескабель»).
14. Бондаренко О.В. Статистичні дані для розрахунку показників надійності підземних волоконно-оптичних ліній зв'язку / О.В. Бондаренко // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2009. – № 1. – С. 64 – 69.
15. Гуревич А.С. Надежность кабелей связи / А.С. Гуревич, Н.Д. Курбатов. – М.: Связь, 1968. – 133 с.

## ДОДАТОК 1

### Основні правила оформлення курсового проекту

#### Правила оформлення текстової та графічної частини

Текстова частина разом з ілюстраціями виконується на одній стороні листа білого паперу формату А4 (297×210 мм) з полями не менше: лівий – 25 мм, верхній і нижній – 20 мм, правий – 10 мм. Текст пишеться (рукопис) чорнилом або пастою темного кольору з інтервалом між рядками за трафаретом № 2 або друкується з використання комп'ютерних технологій – в редакторі Word з використанням шрифту Times New Roman розміром – 14, міжрядковий інтервал – 1,2. Таблиці оформляються шрифтом розміру – 12.

Сторінки КП з додатками нумеруються арабськими цифрами, додержуючись наскрізної нумерації впродовж усього тексту. Номер сторінки проставляється у правому верхньому куті аркуша. Титульний аркуш включається до загальної нумерації сторінок, але номер на ньому не проставляється. Не ставиться номер сторінки також на таких структурних елементах, як «РЕЦЕНЗІЯ», «ЗАВДАННЯ», «ЗМІСТ», «ВСТУП», «ВИСНОВКИ», «ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ».

Титульний аркуш надає відомості про назву КП виконавця, керівника та осіб, що його перевіряли. Тема КП пишеться великими друкованими літерами. Взірці титульного аркуша подано в додатку 2.

Лист рецензії необхідний для внесення туди в подальшому зауважень викладачем, що перевіряє КП.

Завдання на курсовий проект містить початкові дані, терміни виконання.

Зміст подається безпосередньо після завдання, починаючи з нової сторінки. У зміст включаються всі складові частини курсового проекту, зокрема всі застосування з їх назвами. Назви складових частин пишуться на тій мові, якою вони написані в тексті. Нумери сторінок показують початок відміченого матеріалу.

Відстань між заголовком (розділу або підрозділу) і подальшим або попереднім текстом повинна бути не менше, ніж рядок тексту. Не допускається розміщувати назву розділу або підрозділу в нижній частині сторінки, якщо після неї розміщений один рядок тексту.

Абзацний відступ повинен бути однаковим впродовж всього тексту і дорівнювати п'яти знакам.

Формули і рівняння розміщують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині рядка з відступом зверху і знизу не менше одного рядка. Номер формули проставляється на її рівні в круглих дужках в крайньому правому положенні на рядку і складається з номера розділу і порядкового номера формули, відокремлених крапкою, наприклад: (3.2) – друга формула третього розділу.

Пояснення значень символів та числових коефіцієнтів, які входять у

формулу, слід подавати безпосередньо під формулою без абзацного відступу в тій послідовності, в якій вони подані у формулі. У формулах і рівняннях латинські букви друкуються курсивом, окрім математичних функцій:  $\sin$ ,  $\cos$ ,  $\lg$ ,  $\exp$ ,  $\tan$ ,  $\min$  і тому подібне, а грецькі – прямими.

До використаних формул повинні бути подані посилання на джерела, а до використаних числових значень – пояснення щодо їхнього походження. Результати розрахунків супроводжуються зазначенням відповідних одиниць виміру. У курсовому проекті треба використовувати одиниці виміру SI: Вольт, Ампер, Ом, Фарада, Генрі, метр, секунда тощо. Порядок обчислювань: основна формула – підстановка числових даних без їхнього будь-якого перетворювання в послідовності позначень у формулі – остаточний результат із позначенням розмірності. Фрагмент тексту курсового проекту з прикладом написання заголовків розділів та підрозділів, формул та розрахунків за ними подано в додатку 3.

Цифровий матеріал оформляється, як правило, у вигляді таблиці, яка розміщується після тексту, в якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці.

Горизонтальні і вертикальні лінії, які розмежовують рядки таблиці, а також лінії, справа, зліва і знизу, які обмежують таблицю, можна не проводити (окрім головки таблиці), якщо їх відсутність не утрудняє користування таблицею. Діагональне ділення головки таблиці не дозволяється.

Таблиці обов'язково нумерують і дають назву (наприклад, «Таблиця 2.3 - Маркоутворення оптичних кабелів» – третя таблиця другого розділу). Номер і назва розміщуються зверху (над таблицею). Приклад оформлення таблиці поданий в додатку 3.

Рисунки обов'язково нумерують за розділами та їм дають назву (наприклад: «Рисунок 2.1 – Скелетна схема вибраного варіанта волоконно-оптичної лінії передачі»). При цьому скорочення «Рис.» не дозволяється. Номер і назва розміщуються внизу рисунка. Приклад оформлення рисунка поданий в додатку 3.

Висновки розміщуються безпосередньо після основної частини, починаючи з нової сторінки. У висновках проводиться аналіз (оцінка) отриманих результатів.

Список використаної літератури розміщується, починаючи з нової сторінки, і містить в собі тільки ті книги, підручники, навчальні посібники і тому подібне, які були використані під час виконання роботи і на яких є посилання. Посилання в тексті подаються в квадратних дужках, в яких проставляється номер, за яким джерело значиться в переліку посилань. Назва літератури в списку літератури подається на мові оригіналу за бібліографічними правилами.

Повністю підготовлений курсовий проект обов'язково **оправляють** будь-яким способом в твердій або м'якій палітурці. Головні вимоги – естетичність і неможливість оперативної заміни листів.

## ДОДАТОК 2

### Приклад оформлення титульного листа та рецензії на курсовий проект

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ**  
**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім. О.С. ПОПОВА**

**Кафедра волоконно-оптичних ліній зв'язку**

### **КУРСОВИЙ ПРОЕКТ**

НА ТЕМУ:

***ПРОЕКТ ОДНОХВИЛЬОВОЇ  
ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ***

студента ***4-го*** курсу, факультету ***ЗН*** групи ***ІК-1***  
***ІВАНОВА ІВАНА ІВАНОВИЧА***

Студент \_\_\_\_\_ (П.І.Б.)  
(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ (П.І.Б.)  
(підпис)

Перевіряючий \_\_\_\_\_ (П.І.Б.)  
(підпис)

Одеса 20\_\_

## РЕЦЕНЗІЯ

на курсовий проект студента (прізвище, ім'я, по батькові)

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

КП захищено з оцінкою

\_\_\_\_\_ «    » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Викладач \_\_\_\_\_

## ДОДАТОК 3

### Приклад оформлення заголовків, тексту, формул, таблиць і рисунків

## 5 РОЗРАХУНОК ОПТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВОЛОКОН І ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕДАЧІ КАБЕЛІВ

### 5.1 Визначення оптичних параметрів волокон

Оптичне волокно є направляючою системою для розповсюдження електромагнітних хвиль. Для їх розповсюдження по волокну використовується відоме явище повного внутрішнього відбиття на межах двох діелектричних середовищ: осердя з показником заломлення  $n_1$  і оболонки з показником заломлення  $n_2$ , при цьому  $n_1 > n_2$ .

Згідно до [1] значення відносної різниці показників заломлення ОВ із ступінчастим профілем показника заломлення (ППЗ) знаходиться за виразом:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}. \quad (5.1)$$

Для визначення режиму роботи ОВ розраховується нормована частота, яка виражається:

$$V = \frac{\pi d}{\lambda_p} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (5.2)$$

де  $\lambda_p$  – робоча довжина хвилі, мкм;

$d$  – діаметр осердя ОВ, мкм.

За формулами (5.1) і (5.2) розрахуємо відносну різницю показників заломлення ОВ і нормовану частоту:

$$\Delta = \frac{1,475 - 1,471}{1,475} = 0,0027,$$
$$V = \frac{3,14 \cdot 9}{1,55} \sqrt{1,475^2 - 1,471^2} = 1,9.$$

**Таблиця 5.1 – Коефіцієнт екранування одного мідного або біметалевого проводу діаметром 4 мм**

| Відстань між захисним дротом і кабелем, мм | Коефіцієнт екранування одного мідного або біметалевого проводу діаметром 4 мм |       |       |       |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                                            | Діаметр оболонки кабелю, мм                                                   |       |       |       |
|                                            | 15                                                                            | 20    | 25    | 30    |
| 300                                        | 0,576                                                                         | 0,596 | 0,612 | 0,626 |
| 400                                        | 0,571                                                                         | 0,590 | 0,605 | 0,617 |
| 600                                        | 0,566                                                                         | 0,582 | 0,596 | 0,607 |

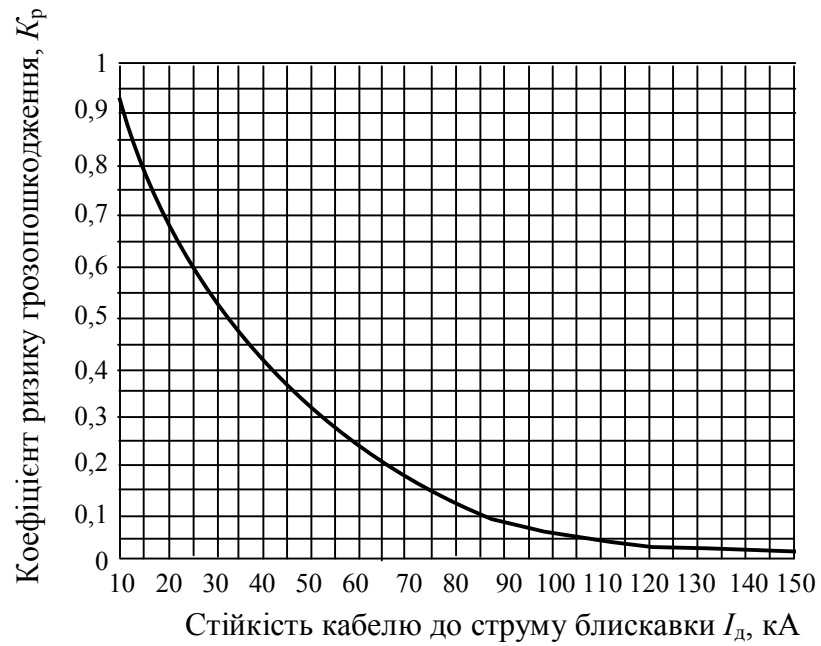


Рисунок 5.1 – Коефіцієнт ризику грозопошкодження ОК залежно від його стійкості до струму блискавки

Здано в набір 17.12.2012. Підписано до друку 24.12.2012.

Формат 60x90/16 Зам. №

Наклад 500 прим. Обсяг 2,85 друк. арк.

Віддруковано на видавничому устаткуванні фірми RISO

у друкарні редакційно-видавничого центру ОНАЗ ім. О.С. Попова

м. Одеса, вул. Ковалевського, 5. Тел. 7050-494

**ОНАЗ, 2011**