

**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

Кафедра транспортного зв'язку

**РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКОННО-
ОПТИЧНИХ НАПРЯМНИХ СИСТЕМ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до практичних занять, самостійної роботи
та контрольних заходів з дисциплін**

***«НАПРЯМНІ СИСТЕМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ»,
«НАПРЯМНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ОПТИЧНОГО
ЗВ'ЯЗКУ», «ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАПРЯМНИХ СИСТЕМ»,
«КАБЕЛЬНІ ЛІНІЇ ТА СИСТЕМИ»,
«ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ ТА АВТОМАТИКИ»***

Харків – 2019

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до

друку на засіданні кафедри транспортного зв'язку 12 березня 2019 р., протокол № 7.

Навчальний матеріал, представлений у даних методичних вказівках, входить до відповідних розділів навчальних дисциплін «Напрявні системи телекомунікацій», «Напрявні системи електричного та оптичного зв'язку», «Основи теорії напрямних систем», «Кабельні лінії та системи», «Лінії зв'язку та автоматики», що викладаються на кафедрі транспортного зв'язку Українського державного університету залізничного транспорту.

Методичні вказівки також можуть бути використані під час самостійної підготовки, при виконанні курсового та дипломного проектування, а також при викладанні певних розділів інших дисциплін відповідно до навчальних програм.

Для студентів, які навчаються за денною, вечірньою, заочною (дистанційною) і поєднаними формами навчання.

Укладачі:

доценти О. С. Жученко,
М. А. Штомпель,
старш. викл. С. В. Індик

Рецензент

проф. В. І. Мойсеєнко

РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКОННО-
ОПТИЧНИХ НАПРЯМНИХ СИСТЕМ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Методичні вказівки
до практичних занять, самостійної роботи
та контрольних заходів з дисциплін

*«НАПРЯМНІ СИСТЕМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ»,
«НАПРЯМНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ОПТИЧНОГО
ЗВ'ЯЗКУ», «ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАПРЯМНИХ СИСТЕМ»,
«КАБЕЛЬНІ ЛІНІЇ ТА СИСТЕМИ»,
«ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ ТА АВТОМАТИКИ»*

Відповідальний за випуск Індик С. В.

Редактор Ібрагімова Н. В.

Підписано до друку 29.03.19 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк. арк. 1,5. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Задачі з теми «Енергетичні характеристики волоконно-оптичних напрямних систем телекомунікацій».....	5
2 Задачі з теми «Фізичні характеристики волоконно-оптичних напрямних систем телекомунікацій».....	27
Список літератури.....	38

ВСТУП

Постійне зростання об'ємів інформації, що передається, формує тенденції розвитку сучасних телекомунікаційних мереж, для забезпечення безперебійної та надійної роботи яких використовуються волоконно-оптичні напрямні системи, що дозволяють організувати високу пропускну здатність, недосяжну для інших видів напрямних систем, мають низький рівень загасання, високу надійність оптичного середовища (не намокають, не окиснюються і не чутливі для електромагнітного впливу), захист від несанкціонованого доступу, відносно малі габарити і масу, пожежо- і вибухобезпечні, характеризуються тривалим строком служби і в перспективі мають достатній запас по параметрах для подальшого забезпечення передачі зростаючих об'ємів трафіка.

1 Задачі з теми

«ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ НАПРЯМНИХ СИСТЕМ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ»

Задача 1.1. Визначити тривалість імпульсу на вході та виході ідеалізованого оптичного волокна, у якому відсутні втрати ($\alpha = 0$ дБ/км), якщо потужність (амплітуда) сигналу на вході оптичного волокна P_1 , мВт, потужність (амплітуда) сигналу на виході оптичного волокна P_2 , мВт, швидкість передачі B , Гбіт/с (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Варіанти завдань для самостійного рішення

Варіант	P_1 , мВт	P_2 , мВт	B , Гбіт/с
0	3,2	2	1
1	3,6	2,2	1,5
2	3	1,8	2
3	2,8	1,5	1,2
4	2,7	1,2	1,6
5	3,4	2,1	2,2
6	3	1,6	2,5

Продовження таблиці 1.1

Варіант	P_1 , мВт	P_2 , мВт	B , Гбіт/с
7	2,2	1,2	2,4
8	2,7	1,8	1,8
9	3,2	1,9	0,5
10	2,5	1,4	1,5
11	3,6	2,4	1,8
12	3,7	2,5	2,2
13	2,4	1,1	2,6
14	3	1,3	2,4
15	2,1	1	3
16	4	2,5	1,5
17	2,8	1,8	1
18	2,5	1,5	0,8
19	3,1	2	1,2
20	2,6	1,7	0,6
21	3,8	2,4	2
22	3,3	1,9	1,6
23	2,6	1,6	1,2
24	2,8	1,8	1,2
25	3,9	2	2
26	2,5	1,4	2,5
27	4,1	2,2	2,8
28	1,9	1,1	0,5
29	4,2	2,3	1,8
30	3,5	1,6	0,8

Приклад розв'язання для варіанта 0

Розширення імпульсу в ідеалізованому оптичному волокні без втрат завжди призводить до зменшення потужності (амплітуди) імпульсу, при цьому в першому наближенні виконується умова $P_1 \cdot \tau_1 = P_2 \cdot \tau_2$, тобто площа імпульсу не змінюється.

Зміну потужності (амплітуди) імпульсів прийнято характеризувати штрафом за потужністю, що дорівнює

$$A = 10 \lg\left(\frac{P_1}{P_2}\right). \quad (1.1)$$

Аналогічно можна представити відносне розширення імпульсу при проходженні через оптичне волокно:

$$A = 10 \lg\left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right). \quad (1.2)$$

1 Розраховуємо тривалість імпульсу на вході оптичного волокна (тривалість бітового інтервалу):

$$\tau_1 = \frac{1}{B} = \frac{1}{1 \cdot 10^9} = 1 \text{ нс.}$$

2 Розраховуємо за формулою (1.1) штраф за потужністю:

$$A = 10 \lg\left(\frac{3,2}{2}\right) = 2 \text{ дБ.}$$

3 Розраховуємо за формулою (1.2) тривалість імпульсу на виході оптичного волокна:

$$\tau_2 = \tau_1 \cdot 10^{\frac{A}{10}} = 1 \cdot 10^{\frac{2}{10}} = 1,6 \text{ нс.}$$

Задача 1.2. Розрахувати питому ширину смуги пропускання багатомодового оптичного волокна з градієнтним профілем показника заломлення, якщо показник заломлення серцевини n_1 , відносна різниця показників заломлення серцевини та відбиваючої оболонки Δ , коефіцієнт хроматичної дисперсії D , пс/нм·км, ширина спектра джерела випромінювання $\Delta\lambda$, нм (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	n_1	Δ	D , пс/нм·км	$\Delta\lambda$, нм
0	1,492	0,01	-100	50
1	1,485	0,018	-96	42
2	1,473	0,015	-92	38
3	1,481	0,016	-98	51
4	1,488	0,014	-97	53
5	1,493	0,02	-120	57
6	1,486	0,011	-104	47
7	1,475	0,009	-94	35
8	1,491	0,017	-112	56
9	1,482	0,012	-108	52
10	1,476	0,008	-95	36
11	1,483	0,01	-107	54
12	1,484	0,011	-109	55
13	1,487	0,013	-114	58
14	1,489	0,009	-118	59
15	1,477	0,015	-93	39
16	1,472	0,016	-91	34
17	1,474	0,014	-92	37
18	1,473	0,012	-99	40
19	1,494	0,02	-119	60
20	1,469	0,007	-100	33
21	1,466	0,009	-96	32
22	1,468	0,018	-101	35
23	1,481	0,01	-113	52
24	1,472	0,013	-102	46
25	1,471	0,008	-111	43
26	1,469	0,011	-98	37
27	1,491	0,017	-122	61
28	1,485	0,15	-115	53
29	1,478	0,007	-105	38
30	1,480	0,009	-117	49

Приклад розв'язання для варіанта 0

1 Розраховуємо питоме розширення імпульсу через міжмодову дисперсію:

$$\tau_{\text{мм}} = \frac{n_1 \cdot \Delta^2}{2 \cdot c} = \frac{1,492 \cdot 0,01^2}{2 \cdot 3 \cdot 10^5} = 249 \text{ пс/км.}$$

2 Розраховуємо питоми розширення імпульсу через хроматичну дисперсію:

$$\tau_{\text{хр}} = \Delta\lambda \cdot D = 50 \cdot (-100) = -5000 \text{ пс/км.}$$

3 Розраховуємо результуюче питоми розширення імпульсу через дисперсію:

$$\tau = \sqrt{\tau_{\text{мм}}^2 + \tau_{\text{хр}}^2} = \sqrt{249^2 + (-5000)^2} = 5006 \text{ пс/км.}$$

4 Розраховуємо питому ширину смуги пропускання оптичного волокна:

$$F = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{5006 \cdot 10^{-12}} = 200 \text{ МГц}\cdot\text{км.}$$

Задача 1.3. Визначити, чи можливо забезпечити ширину смуги пропускання не менш ніж F , МГц, при довжині оптичного сегмента телекомунікаційної мережі L , км, якщо для його побудови передбачається використовувати багатомодове оптичне волокно, що на робочій довжині хвилі має коефіцієнт загасання α , дБ/км, і питому ширину смуги пропускання $F_{\text{пит.}}$, МГц·км (таблиця 1.3). При цьому телекомунікаційне обладнання забезпечує енергетичний потенціал W , дБ, а для його підключення використовуються два рознімні з'єднувачі, кожен з яких вносить втрати за потужністю $a_{\text{рз}}$, дБ, крім того, передбачається енергетичний запас за потужністю $M = 6$ дБ.

У разі неможливості забезпечення умов задачі надайте рекомендації на основі відповідних розрахунків.

Таблиця 1.3 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	F , МГц	L , км	α , дБ/км	$F_{\text{пит.}}$, МГц·км	W , дБ	$a_{\text{рз}}$, дБ
0	625	1,5	2,5	700	20	0,5
1	617	1,4	2,52	695	18	0,4
2	604	1,3	2,6	670	17	0,51
3	587	1,27	2,62	654	19	0,39
4	713	2,38	2,49	800	15	0,54
5	711	2,29	2,68	790	16	0,41
6	588	1,56	2,54	645	18	0,6
7	603	1,62	2,61	665	19	0,45
8	618	1,69	2,48	672	17	0,55
9	604	1,6	2,69	655	16	0,6
10	586	1,37	2,47	640	20	0,42
11	624	1,72	2,53	679	15	0,59
12	605	1,8	2,45	680	17	0,47
13	712	2,2	2,63	813	18	0,54
14	597	1,42	2,55	692	16	0,56
15	591	1,3	2,46	690	21	0,43
16	606	1,33	2,44	678	16	0,52
17	613	1,41	2,64	691	22	0,58
18	622	1,53	2,43	699	25	0,44
19	710	2,19	2,56	817	19	0,57
20	588	1,28	2,42	681	22	0,45
21	709	2,16	24	814	20	0,39
22	623	1,54	2,65	710	23	0,53
23	589	1,38	2,57	686	24	0,46
24	621	1,52	2,41	730	25	0,58
25	590	1,35	2,69	637	18	0,47
26	624	1,49	2,66	681	22	0,36
27	592	1,47	2,58	650	16	0,57
28	620	1,45	2,39	695	25	0,54
29	708	2	2,67	826	17	0,48
30	595	1,29	2,59	687	23	0,5

Приклад розв'язання для варіанта 0

1 Розрахуємо довжину оптичного сегмента телекомунікаційної мережі, що обмежується загасанням.

У даному випадку повинна виконуватися умова

$$A \leq W, \quad (1.3)$$

де A – повні втрати за потужністю в оптичному сегменті з урахуванням енергетичного запасу за потужністю, дБ,

$$A = \alpha \cdot L_1 + n_{pz} \cdot a_{pz} + M, \quad (1.4)$$

де n_{pz} – кількість рознімних з'єднувачів;

L_1 – довжина оптичного сегмента, км.

Тоді, підставивши формулу (1.4) в умову (1.3), знайдемо довжину оптичного сегмента телекомунікаційної мережі, що обмежується загасанням:

$$L_1 \leq \frac{W - n_{pz} \cdot a_{pz} - M}{\alpha} = \frac{20 - 2 \cdot 0,5 - 6}{2,5} = 5,2 \text{ км.}$$

Отримане значення L_1 перевищує необхідну довжину оптичного сегмента ($5,2 \text{ км} > 1,5 \text{ км}$), тобто обмеження через загасання відсутні.

2 Розрахуємо довжину оптичного сегмента телекомунікаційної мережі, що обмежується дисперсією.

У даному випадку повинна виконуватися умова

$$F \leq \frac{F_{\text{пит.}}}{L_2}, \quad (1.5)$$

Тоді з умови (1.5) випливає, що довжина оптичного сегмента телекомунікаційної мережі, що обмежується дисперсією, дорівнює

$$L_2 \leq \frac{F_{\text{пит.}}}{F} = \frac{700}{625} = 1,1 \text{ км.}$$

Отримане значення L_2 менше, ніж необхідна довжина оптичного сегмента ($1,1 \text{ км} < 1,5 \text{ км}$), тому присутні обмеження через дисперсію.

Таким чином, не можна забезпечити необхідну ширину смуги пропускання (не менше 625 МГц) при довжині оптичного сегмента телекомунікаційної мережі 1,5 км у разі використання оптичного волокна і телекомунікаційного обладнання з наведеними в задачі характеристиками.

Для розв'язання поставленої задачі, виходячи з умови (1.5), необхідно використовувати оптичне волокно, питома смуга пропускання якого задовольняє умову

$$F_{\text{пит.}} \geq F \cdot L = 625 \cdot 1,5 = 938 \text{ МГц} \cdot \text{км.}$$

Задача 1.4. Нехай необхідно побудувати волоконно-оптичну лінію зв'язку, яка повинна забезпечувати швидкість передачі інформації 100 Мбіт/с та мати довжину 80 км. При цьому планується використовувати напівпровідниковий лазерний діод з шириною смуги оптичного випромінювання 2 нм, а розширення імпульсу через хроматичну дисперсію не повинно перевищувати 25 % бітового інтервалу вихідного імпульсу.

Визначити максимально допустимий коефіцієнт хроматичної дисперсії оптичного волокна, на основі якого можна побудувати дану волоконно-оптичну лінію зв'язку (таблиця 1.4).

Таблиця 1.4 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	B , Мбіт/с	L , км	$\Delta\lambda$, нм
0	100	80	2
1	100	70	2,02
2	100	65	2,1
3	100	85	2,03
4	100	90	1,93
5	100	60	2,06
6	100	75	1,87

Продовження таблиці 1.4

Варіант	B , Мбіт/с	L , км	$\Delta\lambda$, нм
7	100	95	2,04
8	100	100	1,82
9	100	105	1,88
10	100	55	1,94
11	300	80	2,05
12	300	70	1,89
13	300	65	1,81
14	300	85	1,95
15	300	90	2,06
16	300	60	2,08
17	300	75	1,83
18	300	95	2,09
19	300	100	1,96
20	300	105	2,07
21	500	80	1,9
22	500	70	1,97
23	500	65	1,84
24	500	85	2,11
25	500	90	1,91
26	500	60	1,98
27	500	75	1,85
28	500	95	1,99
29	500	100	1,92
30	500	105	1,86

Приклад розв'язання для варіанта 0

Максимально допустиме розширення імпульсу через хроматичну дисперсію визначається за формулою

$$T_{\text{хр.}} \geq \Delta\lambda D(\lambda)L, \quad (1.6)$$

де $\Delta\lambda$ – ширина смуги оптичного випромінювання напівпровідникового лазерного діода, нм;

$D(\lambda)$ – максимально допустимий коефіцієнт хроматичної дисперсії оптичного волокна, пс/нм·км;

L – довжина волоконно-оптичної лінії зв'язку, км.

Виразимо з формули (1.6) максимально допустимий коефіцієнт хроматичної дисперсії оптичного волокна:

$$\frac{T_{\text{хр.}}}{\Delta\lambda L} \geq D(\lambda),$$

$$D(\lambda) \leq \frac{T_{\text{хр.}}}{\Delta\lambda L}. \quad (1.7)$$

Бітовий інтервал вихідного імпульсу дорівнює

$$T = \frac{1}{B}, \quad (1.8)$$

де B – швидкість передачі інформації, біт/с;

$$T = \frac{1}{100 \cdot 10^6} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ с.}$$

За умовами задачі, розширення імпульсу через хроматичну дисперсію не повинно перевищувати 25 % бітового інтервалу вихідного імпульсу, що визначається за формулою (1.8), тобто

$$T_{\text{хр.}} = 0,25 \cdot T, \quad (1.9)$$

$$T_{\text{хр.}} = 0,25 \cdot 1 \cdot 10^{-8} = 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ с.}$$

Визначимо числове значення максимально допустимого коефіцієнта хроматичної дисперсії оптичного волокна за формулою (1.7) з урахуванням результатів обчислень за формулою (1.9) (при цьому числове значення розширення імпульсу через хроматичну дисперсію необхідно перевести в пікосекунди):

$$D(\lambda) \leq \frac{2,5 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{12}}{2 \cdot 80},$$

$$D(\lambda) \leq 15,6 \text{ пс/нм} \cdot \text{км.}$$

Таким чином, максимально допустимий коефіцієнт хроматичної дисперсії оптичного волокна, на основі якого можна побудувати волоконно-оптичну лінію зв'язку, дорівнює 15,6 пс/нм·км.

Задача 1.5. Яким буде загасання в оптичному волокні, якщо потужність на вході визначається як $P_{\text{вх}}$, а на виході як $P_{\text{вих}}$ (таблиця 1.5)?

Таблиця 1.5 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	$P_{\text{вх}}$, мкВт	$P_{\text{вих}}$, мкВт
0	1000	20
1	980	18
2	760	21,5
3	970	19
4	850	22
5	740	17,5
6	1040	23
7	770	22,5
8	1030	18,5
9	860	24
10	1050	19,5
11	870	25
12	1020	23,5
13	880	21
14	790	20,5
15	900	26
16	920	16,5
17	890	24,5
18	780	15
19	1060	27,5
20	790	28

Продовження таблиці 1.5

Варіант	P_{ex} , мкВт	$P_{\text{вих}}$, мкВт
21	1070	26,5
22	800	27
23	1080	18
24	810	17,5
25	930	20
26	820	24
27	1090	23,5
28	1100	28
29	940	29,5
30	830	19

Приклад розв'язання для варіанта 0

Розраховуємо загасання в оптичному волокні:

$$a = 10 \cdot \lg(P_{\text{ex}} / P_{\text{вих}}) = 10 \cdot \lg(1000 / 20) = 17 \text{ дБ.}$$

Задача 1.6. Оцінити величину модової дисперсії в оптичному волокні з параболічним профілем показника заломлення, якщо показник заломлення в центрі серцевини дорівнює n_1 , оболонки n_2 , довжина світловода дорівнює l (таблиця 1.6).

Таблиця 1.6 – Варіанти завдань для самостійного рішення

Варіант	n_1	n_2	l , км
0	1,4665	1,452	1
1	1,4852	1,449	1,01
2	1,4731	1,44	1,05
3	1,4818	1,452	1,07
4	1,4883	1,456	1,08
5	1,4935	1,46	0,94
6	1,486	1,455	1,09
7	1,4751	1,446	0,98
8	1,4918	1,46	0,96

Продовження таблиці 1.6

Варіант	n_1	n_2	l , км
9	1,4822	1,452	1,04
10	1,4763	1,447	0,97
11	1,483	1,452	1,03
12	1,4849	1,455	0,98
13	1,4871	1,457	0,99
14	1,4897	1,458	1,11
15	1,477	1,447	1,2
16	1,4722	1,442	1,1
17	1,474	1,441	1,21
18	1,4735	1,446	0,98
19	1,4947	1,462	1,13
20	1,469	1,439	1,15
21	1,4661	1,436	1,18
22	1,468	1,438	0,97
23	1,4813	1,45	1,04
24	1,4727	1,432	1,08
25	1,4715	1,43	1,16
26	1,4699	1,438	1,18
27	1,4914	1,463	0,96
28	1,4856	1,455	1,19
29	1,4781	1,447	1,02
30	1,4802	1,451	1

Приклад розв'язання для варіанта 0

1 Розраховуємо відносну різницю показників заломлення:

$$\Delta = (n_1 - n_2) / n_1 = (1,4665 - 1,452) / 1,4665 = 0,01.$$

2 Для оптичного волокна з параболічним профілем показника заломлення визначимо модову дисперсію:

$$\tau_{\text{мод}} = n_1 \cdot \Delta^2 \cdot \frac{1}{2c} = 1,4665 \cdot (0,01)^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot 3 \cdot 10^5} = 244 \text{ пс.}$$

Задача 1.7. Визначити величину модової дисперсії в однорідному двошаровому оптичному волокні з параметрами показника заломлення в центрі серцевини n_1 , оболонки n_2 та довжиною світловода l (таблиця 1.7).

Таблиця 1.7 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	n_1	n_2	l , км
0	1,4665	1,452	1
1	1,4852	1,449	1,01
2	1,4731	1,44	1,05
3	1,4818	1,452	1,07
4	1,4883	1,456	1,08
5	1,4935	1,46	0,94
6	1,486	1,455	1,09
7	1,4751	1,446	0,98
8	1,4918	1,46	0,96
9	1,4822	1,452	1,04
10	1,4763	1,447	0,97
11	1,483	1,452	1,03
12	1,4849	1,455	0,98
13	1,4871	1,457	0,99
14	1,4897	1,458	1,11
15	1,477	1,447	1,2
16	1,4722	1,442	1,1
17	1,474	1,441	1,21
18	1,4735	1,446	0,98
19	1,4947	1,462	1,13
20	1,469	1,439	1,15
21	1,4661	1,436	1,18
22	1,468	1,438	0,97
23	1,4813	1,45	1,04
24	1,4727	1,432	1,08
25	1,4715	1,43	1,16
26	1,4699	1,438	1,18
27	1,4914	1,463	0,96
28	1,4856	1,455	1,19
29	1,4781	1,447	1,02
30	1,4802	1,451	1

Приклад розв'язання для варіанта 0

1 Розраховуємо відносну різницю показників заломлення:

$$\Delta = (n_1 - n_2)/n_1 = (1,4665 - 1,452)/1,4665 = 0,01.$$

2 Для однорідного ступінчастого оптичного волокна модова дисперсія визначається як

$$\tau_{\text{мод}} = n_1 \cdot \Delta \cdot \frac{1}{c} = 1,4665 \cdot 0,01 \cdot \frac{1}{3 \cdot 10^5} = 49 \text{ нс.}$$

Задача 1.8. Визначити повну середньоквадратичну ширину імпульсної характеристики в багатомодовому волоконному світловоді з параболічним показником профілю заломлення, з такими параметрами: довжина світловода l , довжина хвилі λ , спектральна ширина джерела $\Delta\lambda$, показник заломлення в центрі серцевини n_1 , оболонки n_2 та радіус серцевини a (таблиця 1.8).

Таблиця 1.8 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	l , км	λ , мкм	$\Delta\lambda$, нм	n_1	n_2	a , мкм
0	1	0,84	10	1,4665	1,452	25
1	1,4	0,87	12	1,4852	1,449	19
2	1,3	0,83	10,8	1,4731	1,44	26
3	1,27	0,9	10,4	1,4818	1,452	18
4	1,38	1	10,7	1,4883	1,456	20
5	1,29	1,02	10,6	1,4935	1,46	27
6	1,1	1,04	10,2	1,486	1,455	21
7	1,12	1,07	10,3	1,4751	1,446	22
8	1,29	1,17	10,4	1,4918	1,46	28
9	1,16	1,12	10,3	1,4822	1,452	23
10	1,37	1,2	10,5	1,4763	1,447	24
11	1,72	1,55	10,9	1,483	1,452	29
12	1,8	1,51	11,2	1,4849	1,455	17
13	1,2	1,3	11,1	1,4871	1,457	21,5
14	1,42	1,33	11,4	1,4897	1,458	16

Продовження таблиці 1.8

Варіант	l , км	λ , мкм	$\Delta\lambda$, нм	n_1	n_2	a , мкм
15	1,3	1,32	11,7	1,477	1,447	15
16	1,33	1,14	12,1	1,4722	1,442	22
17	1,41	1,22	12,7	1,474	1,441	23
18	1,53	1,27	13	1,4735	1,446	19
19	1,19	1,19	10,8	1,4947	1,462	22,5
20	1,28	0,98	11,5	1,469	1,439	20,5
21	1,06	0,89	10,2	1,4661	1,436	19,5
22	1,54	1,97	13,4	1,468	1,438	20,3
23	1,38	0,92	12,5	1,4813	1,45	21,3
24	1,52	1,44	13,8	1,4727	1,432	19,2
25	1,35	1,27	12,6	1,4715	1,43	20,4
26	1,49	1,45	12,9	1,4699	1,438	21,4
27	1,47	1,42	13,1	1,4914	1,463	19,3
28	1,45	1,39	12,7	1,4856	1,455	21,5
29	2	1,55	14,5	1,4781	1,447	20,5
30	1,29	1,35	12	1,4802	1,451	19,4

Приклад розв'язання для варіанта 0

1 Повна середньоквадратична ширина імпульсної характеристики або повна дисперсія в багатомодовому оптичному волокні визначається як

$$\tau = \sqrt{\tau_{\text{мод}}^2 + \tau_{\text{мат}}^2},$$

де з урахуванням даних задачі 1.12 $\Delta = 0,01$ і $t_{\text{мод}} = 244$ пс.

2 Величина матеріальної дисперсії визначається співвідношенням

$$\tau_{\text{мат}} = \frac{\lambda}{c} \cdot \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} \cdot \Delta\lambda \cdot l = M(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot l$$

Для легованого скла GeO_2 і $\Delta = 0,01$ матеріальна дисперсія $M(\lambda) \cdot \lambda = 80$ пс/км, тоді

$$\tau_{mat} = \lambda \cdot M(\lambda) \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot l = 80 \cdot \frac{10}{0,84} \cdot 1 = 952 \text{ пс.}$$

Отже

$$\tau = \sqrt{\tau_{mod}^2 + \tau_{mat}^2} = \sqrt{244^2 + 952^2} = 983 \text{ пс.}$$

Задача 1.9. Визначити частотну полосу сигналу, яку генерує джерело, що має час наростання потужності $\tau_{нар}$ (таблиця 1.3).

Таблиця 1.9 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	$\tau_{нар}, \text{нс}$
0	7
1	3,5
2	12
3	7,5
4	6,5
5	5,5
6	13
7	12,5
8	6
9	5
10	14
11	9,5
12	13,5
13	4,5
14	9
15	8,5
16	8
17	11
18	4
19	10
20	10,5
21	15
22	11,5
23	14,5

Продовження таблиці 1.9

Варіант	$\tau_{нар}, нс$
24	3
25	15,5
26	16
27	16,5
28	17
29	17,5
30	18

Приклад розв'язання для варіанта 0

Розраховуємо частотну полосу сигналу:

$$\Delta f = \frac{0,35}{\tau_{нар}} = \frac{0,35}{7 \cdot 10^{-9}} = 50 \text{ МГц.}$$

Задача 1.10. Розрахувати струм, що виникає при потраплянні оптичної потужності P на фотодетектор з чутливістю S (таблиця 1.10).

Таблиця 1.10 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	$P, нВт$	$S, А/Вт$
0	750	0,7
1	740	0,55
2	700	0,84
3	720	0,56
4	730	0,83
5	760	0,57
6	770	0,82
7	690	0,58
8	580	0,71
9	680	0,72
10	570	0,59
11	780	0,69
12	590	0,6
13	670	0,68

Продовження таблиці 1.10

Варіант	P , нВт	S , А/Вт
14	580	0,73
15	650	0,61
16	520	0,75
17	660	0,67
18	520	0,74
19	640	0,62
20	630	0,76
21	510	0,77
22	620	0,63
23	590	0,78
24	500	0,79
25	610	0,64
26	570	0,8
27	530	0,82
28	640	0,65
29	510	0,81
30	490	0,66

Приклад розв'язання для варіанта 0

Розраховуємо струм на фотодетекторі:

$$I_{\phi} = S \cdot P = 0,7 \cdot 750 \cdot 10^{-9} = 525 \text{ нА.}$$

Задача 1.11. Оптичний приймач має чутливість $P_{пр}$ і максимально допустиму потужність $P_{пр\max}$ (таблиця 1.11). Розрахувати динамічний діапазон.

Таблиця 1.11 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	$P_{пр}$, дБм	$P_{пр\max}$, дБм
0	-30	-10
1	-22	-3
2	-32	-12
3	-47	-1

Продовження таблиці 1.11

Варіант	$P_{пр}, \text{дБм}$	$P_{пр\text{макс}}, \text{дБм}$
4	-21	-13
5	-23	-9
6	-46	-4
7	-20	-16
8	-33	-5
9	-24	-14
10	-45	-5
11	-48	-4
12	-27	-11
13	-34	-15
14	-25	-6
15	-28	-13
16	-44	-3
17	-35	-10
18	-26	-7
19	-41	-2
20	-36	-4
21	-27	-13
22	-39	8
23	-43	-6
24	-37	-8
25	-28	-12
26	-42	-9
27	-40	-3
28	-29	-13
29	-38	-5
30	-31	-11

Приклад розв'язання для варіанта 0

Розраховуємо динамічний діапазон:

$$D = P_{пр\text{макс}} - P_{пр} = -10 - (-30) = 20 \text{ дБ.}$$

Задача 1.12. Якщо приймач має чутливість P_{np} , то яку мінімальну оптичну потужність він може прийняти (таблиця 1.12)?

Таблиця 1.12 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	P_{np} , дБм
0	-28
1	-22
2	-32
3	-47
4	-21
5	-23
6	-46
7	-20
8	-33
9	-24
10	-45
11	-48
12	-27
13	-34
14	-25
15	-30
16	-44
17	-35
18	-26
19	-41
20	-36
21	-18
22	-39
23	-43
24	-37
25	-19
26	-42
27	-40
28	-29
29	-38
30	-31

Приклад розв'язання для варіанта 0

На основі формули

$$P_{np} = 10 \cdot \lg(P_{np} / P_0), \text{ дБ},$$

де $P_0 = 1 \text{ мВт}$,

визначаємо мінімальну оптичну потужність:

$$P_{np\text{мін}} = P_0 \cdot 10^{P_{np}/10} = 1 \cdot 10^{-28/10} = 1,28 \text{ мкВт}.$$

Задача 1.13. Визначити ширину полоси пропускання одномодового оптичного волокна з параметрами питомої дисперсії τ , спектральної ширини джерела $\Delta\lambda$ і довжиною волокна l (таблиця 1.13).

Таблиця 1.13 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	τ , пс/нм·км	$\Delta\lambda$, нм	l , км
0	3,5	2	25
1	3,6	2,1	24
2	2,8	1,44	31
3	4,1	1,5	23
4	3,7	1,6	30
5	3,5	2	32
6	4,2	2,4	22
7	2,9	2,5	34
8	2,2	1,8	21
9	4,3	1,9	35
10	2,4	1,3	20
11	3,8	1,6	26
12	2,3	1,5	34
13	4,3	2	27
14	3	2,9	24
15	2,9	2,1	28
16	2,4	1,4	18
17	3,6	2,2	19
18	3,9	1,3	29

Продовження таблиці 1.13

Варіант	τ , пс/нм·км	$\Delta\lambda$, нм	l , км
19	2,7	1,5	21
20	2,5	2,3	25
21	3,1	1,8	30
22	2,5	2,1	34
23	4	2,4	20
24	3,4	2	33
25	2,8	1,9	32
26	3,2	1,7	22
27	3,6	2,5	31
28	4,1	1,8	23
29	2,6	2,6	36
30	3,3	1,9	19

Приклад розв'язання для варіанта 0

Розраховуємо ширину полоси пропускання одномодового оптичного волокна:

$$\Delta f = \frac{0,187}{\tau \cdot \Delta\lambda \cdot l} = \frac{0,187}{3,5 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 25} = 1,07 \text{ ГГц.}$$

**2 Задачі з теми
«ФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛОКОННО-
ОПТИЧНИХ НАПРЯМНИХ СИСТЕМ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ»**

Задача 2.1. Визначити максимальний діаметр серцевини двошарового одномодового оптичного волокна з діелектричною проникністю серцевини ϵ_1 і оболонки ϵ_2 на довжині хвилі λ (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Варіанти завдань для самостійного розв’язання

Варіант	ϵ_1	ϵ_2	$\Delta\lambda$, мкм
0	2,25	2,24	1,3
1	2,18	2,16	0,85
2	2,31	2,3	1,5
3	2,38	2,36	1,2
4	2,1	2,09	1,89
5	2,19	2,18	1,55
6	2,26	2,24	0,89
7	2,32	2,31	1,12
8	2,39	2,37	0,82
9	2,11	2,09	1,58
10	2,2	2,19	1,34
11	2,27	2,26	1,05
12	2,12	2,11	0,89
13	2,21	2,19	1,31
14	2,33	2,31	1,57
15	2,13	2,12	1,06
16	2,22	2,2	1,08
17	2,28	2,27	0,83
18	2,23	2,22	1,09
19	2,14	2,13	1,56
20	2,34	2,32	1,07
21	2,29	2,28	0,9
22	2,35	2,34	1,07
23	2,24	2,23	1,44
24	2,15	2,13	1,11

Продовження таблиці 2.1

Варіант	ϵ_1	ϵ_2	$\Delta\lambda$, мкм
25	2,36	2,35	1,41
26	2,4	2,38	0,98
27	2,16	2,15	1,45
28	2,30	2,29	1,39
29	2,37	2,35	1,42
30	2,17	2,16	0,86

Приклад розв'язання для варіанта 0

Розраховуємо максимальний діаметр сердцевини двошарового одномодового оптичного волокна:

$$d_c = \frac{V_{кр} \cdot \lambda}{\pi \sqrt{\epsilon_1 - \epsilon_2}} = \frac{2,405 \cdot 1,3}{3,14 \sqrt{2,25 - 2,24}} = 9,96 \text{ мкм.}$$

Задача 2.2. Визначити оптимальні характеристики оптичного волокна на довжині хвилі λ , мкм, при радіусі сердцевини кварцевого волокна a , мкм з показником заломлення сердцевини n_1 і оболонки n_2 (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	n_1	n_2	a , мкм	λ , мкм
0	1,48	1,45	2,5	1,06
1	1,485	1,449	2,45	1,3
2	1,473	1,44	2,56	0,85
3	1,481	1,452	2,35	1,5
4	1,488	1,456	2,46	1,2
5	1,493	1,46	2,57	1,89
6	1,486	1,455	2,36	1,55
7	1,475	1,446	2,47	0,89
8	1,491	1,46	2,58	1,12
9	1,482	1,452	2,37	0,82
10	1,476	1,447	2,48	1,58
11	1,483	1,452	2,59	1,34
12	1,484	1,455	2,38	1,05
13	1,487	1,457	2,6	0,89

Продовження таблиці 2.2

Варіант	n_1	n_2	a , мкм	λ , мкм
14	1,489	1,458	2,49	1,31
15	1,477	1,447	2,39	1,57
16	1,472	1,442	2,61	1,06
17	1,474	1,441	2,51	1,08
18	1,473	1,446	2,4	0,83
19	1,494	1,462	2,62	1,09
20	1,469	1,439	2,52	1,56
21	1,466	1,436	2,41	1,07
22	1,468	1,438	2,53	0,9
23	1,481	1,45	2,63	1,07
24	1,472	1,432	2,42	1,44
25	1,471	1,43	2,54	1,11
26	1,469	1,438	2,64	1,41
27	1,491	1,463	2,43	0,98
28	1,485	1,455	2,65	1,45
29	1,478	1,447	2,55	1,39
30	1,480	1,451	2,44	1,42

Приклад розв'язання для варіанта 0

1 Розрахуємо нормовану частоту:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5}{1,06} \sqrt{1,48^2 - 1,45^2} = 4,393$$

Таким чином, оптичне волокно працює в багатомодовому режимі ($V > V_{кр} = 2,405$).

2 Розрахуємо межі зміни фазової швидкості:

$$V_{фмін} = \frac{c}{n_1} = \frac{3 \cdot 10^5}{1,48} = 202702,7 \text{ км/с},$$

$$V_{фмакс} = \frac{c}{n_2} = \frac{3 \cdot 10^5}{1,45} = 206896,6 \text{ км/с},$$

$$202702,7 \text{ км/с} < V_{\phi} < 206896,6 \text{ км/с}.$$

3 Розраховуємо межі зміни групової швидкості:

$$\Delta = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} = \frac{(1,48 - 1,45)}{1,48} = 0,02,$$

$$V_{\text{мін}} = \frac{c}{n_1}(1 - \Delta) = \frac{3 \cdot 10^5}{1,48}(1 - 0,02) = 198593,9 \text{ км/с},$$

$$V_{\text{макс}} = \frac{c}{n_2}(1 - \Delta) = \frac{3 \cdot 10^5}{1,45}(1 - 0,02) = 202702,7 \text{ км/с},$$

$$198593,9 \text{ км/с} < V_{\phi} < 202702,7 \text{ км}.$$

Задача 2.3. Розрахувати кількість мод, що направляється однорідним двошаровим волоконним світловодом зі ступінчатим профілем показника заломлення з такими параметрами: показник заломлення серцевини n_1 , показник заломлення оболонки n_2 . Радіус серцевини a , мкм, довжина хвилі λ , мкм (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	n_1	n_2	a , мкм	λ , мкм
0	1,4665	1,452	25	0,84
1	1,4852	1,449	19	1,3
2	1,4731	1,44	26	0,85
3	1,4818	1,452	18	1,5
4	1,4883	1,456	20	1,2
5	1,4935	1,46	27	1,89
6	1,486	1,455	21	1,55
7	1,4751	1,446	22	0,89
8	1,4918	1,46	28	1,12
9	1,4822	1,452	23	0,82
10	1,4763	1,447	24	1,58
11	1,483	1,452	29	1,34
12	1,4849	1,455	17	1,05
13	1,4871	1,457	21,5	0,89
14	1,4897	1,458	16	1,31

Продовження таблиці 2.3

Варіант	n_1	n_2	a , мкм	λ , мкм
15	1,477	1,447	15	1,57
16	1,4722	1,442	22	1,06
17	1,474	1,441	23	1,08
18	1,4735	1,446	19	0,83
19	1,4947	1,462	22,5	1,09
20	1,469	1,439	20,5	1,56
21	1,4661	1,436	19,5	1,07
22	1,468	1,438	20,3	0,9
23	1,4813	1,45	21,3	1,07
24	1,4727	1,432	19,2	1,44
25	1,4715	1,43	20,4	1,11
26	1,4699	1,438	21,4	1,41
27	1,4914	1,463	19,3	0,98
28	1,4856	1,455	21,5	1,45
29	1,4781	1,447	20,5	1,39
30	1,4802	1,451	19,4	1,42

Приклад розв'язання для варіанта 0

1 Розраховуємо нормовану частоту:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 25}{0,84} \sqrt{1,4665^2 - 1,452^2} = 38,47.$$

2 Розраховуємо кількість мод у волоконному світловоді:

$$N = \frac{V^2}{2} = 740.$$

Задача 2.4. Розрахувати кількість мод у градієнтному волоконному світловоді з параболічним показником профілю заломлення, якщо показник заломлення в центрі серцевини n_1 , показник заломлення оболонки n_2 . Радіус серцевини a , мкм, довжина хвилі λ , мкм (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	n_1	n_2	a , мкм	λ , мкм
0	1,4665	1,452	25	0,84
1	1,4852	1,449	19	1,3
2	1,4731	1,44	26	0,85
3	1,4818	1,452	18	1,5
4	1,4883	1,456	20	1,2
5	1,4935	1,46	27	1,89
6	1,486	1,455	21	1,55
7	1,4751	1,446	22	0,89
8	1,4918	1,46	28	1,12
9	1,4822	1,452	23	0,82
10	1,4763	1,447	24	1,58
11	1,483	1,452	29	1,34
12	1,4849	1,455	17	1,05
13	1,4871	1,457	21,5	0,89
14	1,4897	1,458	16	1,31
15	1,477	1,447	15	1,57
16	1,4722	1,442	22	1,06
17	1,474	1,441	23	1,08
18	1,4735	1,446	19	0,83
19	1,4947	1,462	22,5	1,09
20	1,469	1,439	20,5	1,56
21	1,4661	1,436	19,5	1,07
22	1,468	1,438	20,3	0,9
23	1,4813	1,45	21,3	1,07
24	1,4727	1,432	19,2	1,44
25	1,4715	1,43	20,4	1,11
26	1,4699	1,438	21,4	1,41
27	1,4914	1,463	19,3	0,98
28	1,4856	1,455	21,5	1,45
29	1,4781	1,447	20,5	1,39
30	1,4802	1,451	19,4	1,42

Приклад розв'язання для варіанта 0

1 Розраховуємо нормовану частоту:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 25}{0,84} \sqrt{1,4665^2 - 1,452^2} = 38,47.$$

2 Розраховуємо кількість мод у волоконному світловоді з параболічним профілем показника заломлення:

$$N = \frac{V^2}{4} = 370.$$

Задача 2.5. Визначити режим роботи волоконного світловода з параметрами радіуса серцевини a , мкм, показника заломлення в центрі серцевини n_1 , показника заломлення оболонки n_2 та довжини хвилі λ , мкм (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	n_1	n_2	a , мкм	λ , мкм
0	1,45	1,447	8	2,3
1	1,451	1,449	8,2	2,2
2	1,452	1,45	8,1	1,95
3	1,453	1,452	7,9	2,11
4	1,454	1,451	7,95	1,84
5	1,455	1,45	8,15	0,84
6	1,456	1,452	8,22	1,35
7	1,457	1,453	8,16	1,55
8	1,458	1,454	8,24	1,51
9	1,459	1,452	7,97	2,17
10	1,46	1,453	8,05	2,03
11	1,461	1,455	8,12	1,87
12	1,462	1,456	7,98	2,16
13	1,463	1,453	8,02	1,94
14	1,464	1,457	7,93	1,97
15	1,465	1,455	8,07	1,5
16	1,466	1,456	7,97	1,44
17	1,467	1,446	8,1	2,13
18	1,468	1,458	7,99	1,48
19	1,469	1,445	8,11	2,18

Продовження таблиці 2.5

Варіант	n_1	n_2	a , мкм	λ , мкм
20	1,449	1,459	8,23	2,06
21	1,448	1,457	7,96	1,57
22	1,447	1,444	8,2	1,77
23	1,446	1,458	8,24	1,79
24	1,445	1,443	7,91	1,6
25	1,444	1,46	8,17	1,85
26	1,443	1,442	8,02	1,92
27	1,442	1,447	7,89	1,65
28	1,441	1,443	8,16	1,9
29	1,44	1,451	8,21	1,82
30	1,439	1,453	8,05	1,78

Приклад розв'язання для варіанта 0

1 Розраховуємо нормовану частоту:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 8}{2,3} \sqrt{1,45^2 - 1,447^2} = 2,03.$$

2 Порівняємо нормовану частоту з її критичним значенням:

$$V < V_{кр},$$

$$2,03 < 2,405.$$

Висновок: режим роботи – одномодовий.

Задача 2.6. Визначити режим роботи волоконного світловода з параметрами радіуса серцевини a , мкм, показника заломлення в центрі серцевини n_1 , показника заломлення оболонки n_2 та довжини хвилі λ , мкм (таблиця 2.6).

Таблиця 2.6 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	n_1	n_2	a , мкм	λ , мкм
0	1,45	1,447	15	0,87
1	1,451	1,449	16	2,2
2	1,452	1,45	14	1,95
3	1,453	1,452	17	2,11
4	1,454	1,451	18	1,84
5	1,455	1,45	20	0,84
6	1,456	1,452	19	1,35
7	1,457	1,453	25	1,55
8	1,458	1,454	24	1,51
9	1,459	1,452	21	2,17
10	1,46	1,453	22	2,03
11	1,461	1,455	23	1,87
12	1,462	1,456	26	2,16
13	1,463	1,453	28	1,94
14	1,464	1,457	21	1,97
15	1,465	1,455	27	1,5
16	1,466	1,456	17	1,44
17	1,467	1,446	25	2,13
18	1,468	1,458	15	1,48
19	1,469	1,445	24	2,18
20	1,449	1,459	23	2,06
21	1,448	1,457	18	1,57
22	1,447	1,444	20	1,77
23	1,446	1,458	30	1,79
24	1,445	1,443	18	1,6
25	1,444	1,46	24	1,85
26	1,443	1,442	14	1,92
27	1,442	1,447	19	1,65
28	1,441	1,443	28	1,9
29	1,44	1,451	16	1,82
30	1,439	1,453	23	1,78

Приклад розв'язання для варіанта 0

1 Розраховуємо нормовану частоту:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 15}{0,87} \sqrt{1,45^2 - 1,447^2} = 10,1.$$

2 Порівняємо нормовану частоту з її критичним значенням:

$$V < V_{кр},$$

$$10,1 > 2,405.$$

Висновок: режим роботи – багатомодовий.

Задача 2.7. Якщо багатомодове оптичне волокно має полосу пропускання Δf , то на яку відстань воно може забезпечити передачу цифрового сигналу з тактовою частотою f (таблиця 2.7)?

Таблиця 2.7 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	Δf , МГц·км	f , МГц
0	250	750
1	253	740
2	246	700
3	268	720
4	270	730
5	265	760
6	307	770
7	267	690
8	269	580
9	306	680
10	254	570
11	270	780
12	269	590
13	272	670
14	244	580
15	280	650
16	279	520
17	281	660
18	269	520

Продовження таблиці 2.7

Варіант	Δf , МГц·км	f , МГц
19	282	640
20	290	630
21	273	510
22	292	620
23	300	590
24	299	500
25	274	610
26	283	570
27	288	530
28	303	640
29	395	510
30	347	490

Приклад розв'язання для варіанта 0

Розраховуємо довжину оптичного волокна:

$$l = \frac{\Delta f}{f} = \frac{250}{750} = 0.333\text{км} = 333\text{м}.$$

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Каток В. Б., Руденко І. Е., Однорог П. М. Волоконно-оптичні лінії зв'язку : навч. посібник для інж.-техн. прац. і студ. Київ, 2016. 445 с.

2 Розорінов Г. М., Соловйов Д. О. Високошвидкісні волоконно-оптичні лінії зв'язку : навч. посібник. Київ : Кафедра, 2012. 344 с.

3 Книгавко М. В., Косова В. В. Лінії зв'язку і автоматики: навч. посібник. Харків : УкрДАЗТ, 2005. Ч. 1, 2.

4 Осадчук В. С., Осадчук О. В. Волоконно-оптичні системи передачі : навч. посібник. Вінниця, 2005. 225 с.