

## 6 ІНДИКАТОРИ

Індикатори є складовими частинами **засобів відображення інформації** (ЗВІ). Відповідно до ГОСТу засіб відображення інформації – пристрій, що забезпечує відображення інформації у вигляді, придатному для зорового сприйняття.

*До складу засобів відображення інформації входять дві функціонально різні частини.*

1. Світлоконтрастний растр, який безпосередньо впливає на спостерігача.
2. Схема управління - комплекс засобів електронного обрамлення, що здійснюють необхідну обробку інформації, що поступає в електричній формі, і ефективне управління світлоконтрастним растром.

Світлоконтрастний растр входить до складу індикатора, який є приладом, що відображає хід процесу або стан об'єкту спостереження у формі, зручній для зорового сприйняття людиною.

Відповідно до ГОСТу **індикатор** – *крайовий пристрій засобу відображення інформації, що здійснює перетворення електричних сигналів у видиме зображення.*

*По роду інформації, що відображається, всі індикатори діляться на дві групи.*

1. Знакосинтезуючі індикатори (ЗСІ) для відтворення одиничних крапок, цифр, букв, шкал вимірних приладів, графіків, мнемосхем.

2. Екрани для відтворення як перерахованої вище інформації, так і рухомих картин телевізійного типу.

Простий елемент знакосинтезуючого індикатора або екрану називають **знакомісцем**. Екрани містять істотно більше число знакомісць, чим знакосинтезуючі індикатори.

Для отримання зображення в знакосинтезуючих індикаторах використовують декілька способів:

- безпосереднє створення на поверхні растру необхідного символу;
- набір цифр або букв з окремих елементів;
- набір необхідної інформації з окремих крапок, розміщених на поверхні растру у вигляді прямокутної матриці;

- у індикаторі без фіксованих знакомісць (наприклад, в електроннопроменевих трубках) символи «малюються» при скануванні растру збудливою дією (електронним променем).

Кольори починають розрізнятися з освітленості  $E \approx 1$ лк. Крайні значення яскравості - 10-30 кд/м<sup>2</sup> в напівтемряві кімнати і  $(2-5) \cdot 10^5$  кд/м<sup>2</sup> при прямому сонячному засвіченні індикатора. Динамічний діапазон сприйняття очом яскравостей дуже широкий  $10^7-10^5$  кд/м<sup>2</sup> (до 1 кд/м<sup>2</sup> працює смерковий механізм зору без колірної сприйняття). Практично чоловік розрізняє не більше 8-10 градацій яскравості (півтонів), надійно < 4-5, мінімально 2 (чорне - біле).

Просторові характеристики джерела визначає роздільна здатність ока (кутова)  $> 1'$ , що відповідає можливості розрізнення на відстані 10м двох штрихів, розділених проміжком в 3 мм. Повна точка зору близька до 120° по горизонталі, 90° по вертикалі.

Огляд для зони максимального дозволу, відповідно, 20° і 15°, тому стандартний формат екрану 4:3.

Відповідно до закону Тальбота фізіологічно сприймання (що здається) яскравість відчувається оком як усереднена яскравість за період зміни: Вказані закономірності інерційності зору повинні враховуватися при побудові схем управління індикаторами, зокрема, при виборі режимів мультиплексного управління.

Опис сприйняття кольору є складнішим.

#### **Оптоелектронні індикатори**

Оптоелектронними індикаторами є прилади, відповідні функціональному призначенню індикатора і що задовольняють концепціям оптоелектроніки в частині інтегрованості, технологічності, сумісності з мікроелектронікою

*За фізичним принципом відображення інформації виділяють індикатори з активним і пасивним растром.*

*Індикатори з активним растром* використовують светогенерационный ефект - перетворення електричної енергії в світлове випромінювання (різні види люмінесценції і теплове випромінювання).

*У індикаторах з пасивним растром* електричні сигнали, що управляють, модулюють зовнішній світловий потік (електрооптичні ефекти – зміна коефіцієнта поглинання або віддзеркалення ділянок растру, обертання площини поляризації світла, що проходить, зміна кольору поверхні і ін.).

*Індикатори з активним растром включають* вакуумні накали, газорозрядні, вакуумні люмінесцентні, напівпровідникові і електролюмінесцентні.

*До індикаторів з пасивним растром відносяться* рідкокристалічні, електрохромні, електрофоретичні, електролітичні, магнітомеханічні, дипольні і ін.

Яскравість лицьової поверхні світлодіода набагато менше яскравості кристала. Але при щодо малих розмірах елементів індикатора, що світяться, для зорового сприйняття важлива не яскравість, а сила світла - основний фотометричний параметр світлодіодів (0,02-100 кд). Ці способи дозволяють забезпечити збільшення розмірів знаку до 10 мм і зниження втрат на повне внутрішнє віддзеркалення. Великоформатні напівпровідникові індикатори групового використання (розміри знаків до 100 мм) набирають з дискретних світлодіодів із збільшеною площею свічення кожного.

Світлодіоди іноді використовуються для створення великоформатних багатоеlementних екранів. У цих індикаторах необхідно вирішувати проблеми забезпечення ідентичності параметрів всіх елементів екрану, пов'язані з високою крутизною ВАХ діодів і сильною залежністю яскравості від температури. Особливе місце в розробках займають багатоколірні світлодіоди з електричним управлінням кольором свічення.

#### **Рідкокристалічні індикатори**

Рідкокристалічні індикатори відносяться до оптоелектронних індикаторів з пасивним растром, в яких використовуються електрооптичні і термооптичні ефекти. Використовуваними в індикаторах рідкими кристалами є суміші складних органічних сполук з дуже високим питомим опором (до  $10^{16}$  Ом·см).

Конструкції і технологія виготовлення рідкокристалічних індикаторів досить прості і відпрацьовані. *Випускаються два різновиди конструкцій індикаторів, що працюють на віддзеркалення і на провіт.* Вони відрізняються розташуванням джерела світла щодо користувача.

#### **Екрани**

Екранами є багатоеlementні індикатори, що відображають світлові образи - кольорове, рухоме зображення. *Екрани і схеми електронного обрамлення об'єднують поняттям дисплеї.* Фізичні принципи роботи екранів аналогічні відповідним знаковисинтезуючим індикаторам.

Як екрани в даний час використовуються електронно-променеві трубки, газорозрядні, рідкокристалічні і електролюмінесцентні панелі.

Найважливішою особливістю різних видів екранів є спосіб формування зображення.

У електронно-променевих трубках застосовуються два основні способи формування зображення: функціональний (векторний) і растровий (ТБ).

Векторний спосіб використовувався для створення зображення в графічних дисплеях. Основний недолік - неможливість створення суцільних областей, перевага - менший необхідний об'єм пам'яті.

Телевізійний (рядково-кадровий) спосіб є основним вживаним в кінескопах і дисплеях.

Плоскі екрани мають свої особливості управління. Комутація елементів екрану здійснюється шляхом зміни потенціалів на окремих смужках електродів, що управляють, об'єднаних в матричну систему з рядків і стовпців, що дозволяє створювати плоскі екрани великої площі. Дискретна матрична адресація на вибрані електроди екрану забезпечує отримання зображення. *Адресація може проводитися в статичному і мультимплексному режимі.*

У *статичному режимі* на вибрані рядки і стовпці одночасно подається постійна напруга, перемикає при зміні зображення. Статичний режим не дозволяє забезпечити відображення замкнутих фігур ("0").

В *мультимплексному режимі* імпульси напруги  $V$  необхідної тривалості подаються по черзі на всі рядки екрану. Протягом кожного імпульсу по черзі на всі вибрані стовпці подаються імпульси напруги  $V$  меншої тривалості, на перетині рядків і стовпців напруга підсумовується  $2V$  і відбувається висвічення вибраного осередку. Оскільки напруга  $V$  подається на всі осередки уздовж електроду, вони також висвічуються, але не так яскраво, що призводить до зниження контрасту. Отримане розмиття зображення носить назву - *ефект «хреста»*. Уникнути його можна, використовуючи як світловипромінюючі або світлооконтрастні осередки елементів з різко нелінійною залежністю яскравості свічення або контрасту від прикладеної напруги.

#### **Рідкокристалічні екрани**

Рідкокристалічні екрани є одними з перших, які склали реальну конкуренцію електронно-променевим трубкам в системах відображення інформації.

Пристрій найбільш *поширеного матричного рідкокристалічного екрану на основі твіст-ефекта* виглядає таким чином: шар рідкого кристала, ув'язнений між двома скляними пластинами з взаємно перпендикулярними смужками електродів, підсвічується розташованими ззаду (у деяких моделях – збоку, з торця екрану) люмінесцентними джерелами білого світла. Скляні пластини одночасно є поляризаторами; міняючи напругу на окремому елементі, можна регулювати яскравість світла, що пройшло крізь нього. На лицьовій скляній пластині розташовують тріади кольорових світлофільтрів, розміри яких близькі до розмірів люмінофорних тріад на екрані кінескопа. Ширина смужок електродів подібного екрану може бути зменшена до 5 мкм, число осередків може досягати декількох мільйонів.

#### **Проекційні системи**

Основний прийом, використовуваний при створенні проекційних систем відображення інформації, - пряма проекція зображення на звичайний екран. У якості джерел випромінювання можуть використовуватися лазери трьох основних кольорів свічення (зазвичай газові – аргонові і криптонові) або могутні дугові лампи зі світлофільтрами. Модуляція інтенсивності і відхилення променів на задані кути здійснюється модуляторами і дефлекторами, що використовують акусто- і електрооптичні ефекти. Для модуляції і розгортки некогерентного випромінювання застосовують рідкокристалічні світлоклапанні пристрої і достатньо складні механічні системи.

Перевагами сучасних лазерних проекційних систем є відтворення зображень на екрані великої (декілька квадратних метрів) площі при значній ( $100 \text{ кд/м}^2$ ) яскравості, добрий контраст (до 1:100) і висока роздільна здатність.

До недоліків систем цього типу слід віднести в першу чергу низький ККД газових лазерів, що не перевищує десятих доль відсотка, що приводить до значного споживання енергії (декілька кіловат для висвітлення  $1 \text{ м}^2$  зображення). В сукупності з пристроями модуляції і відхилення вартість лазерних проекційних систем виявляється поки досить високою.

## 7 ОСНОВИ ВОЛОКОННОЇ ОПТИКИ

У волоконно-оптичних лініях (ВОЛЗ) передача інформації здійснюється за допомогою оптичних сигналів по волоконних оптичних хвилеводах з малими втратами.

До складу ліній входять також джерело випромінювання, що перетворює електричні сигнали в оптичні, і фотоприймач, що здійснює зворотне перетворення. Вони (ВОЛЗ) знаходять широке застосування в системах зв'язку і передачі інформації, а також у волоконно-оптичних датчиках.

### 7.1 Світлопроводи

Основним елементом волоконно-оптичної системи є *світлопровід* (волоконний оптичний хвилевід) – тонка гнучка нитка, виготовлена з прозорого матеріалу таким чином, що її центральна частина оптично щільніша, ніж периферійні області. Тому світловий промінь, що вводиться з торця волокна, може розповсюджуватися уздовж його осі і пройти з малим загасанням значну відстань. У простому випадку оптичне волокно є тонкою ниткою круглого перетину з прозорого в заданій спектральній області матеріалу (скло, кварц, різні полімери). Каналування оптичного випромінювання в нім ґрунтується на явищі повного внутрішнього віддзеркалення

#### *Розповсюдження світла в світлопроводі*

Класичним вважається двошаровий ступінчастий світлопровід – циліндрове волокно, що складається з серцевини з показником заломлення  $n_c$  і оболонки з декілька меншим показником заломлення  $n_o$ . Оптичне випромінювання вводиться в світлопровід через торцеву поверхню із зовнішнього середовища з показником заломлення  $n$  (для повітря  $n = 1$ ).

Розглянемо розповсюдження світлових променів, падаючих на торець світлопровода під різними кутами до нормалі  $z$

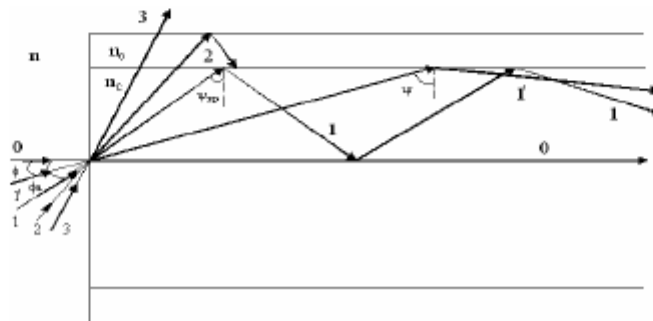


Рисунок 7.1 - Розповсюдження світлових променів в світлопроводі[15]

Частина світлової енергії відбивається від торцевої поверхні, заломлені промені розповсюджуються в сердцевині. Промені, падаючі на торець під малими кутами  $\varphi \geq \varphi_c$ , приходять на межу розділу сердцевина-оболонка під великими кутами до нормалі  $\psi < \psi_{кр}$  і випробовують повне внутрішнє віддзеркалення.

Вони багато разів відбиваються від межі розділу, каналируються в сердцевині і утворюють хвильоводні (каналируємі, направлені) моди –  $0, 1, 1', \dots$

Промені, що входять в світлопровід під великими кутами  $\varphi > \varphi_c$ , заломлюються на межі сердцевина-оболонка, виходять в оболонку і утворюють витікаючі або оболонкові моди, достатньо швидко затухаючі.

Промені, що входять в торець під ще більшими кутами виходять і з оболонки, – випромінювані (радіаційні) моди.

Критичний кут падіння променя на межу розділу сердцевини і оболонки  $\psi_{кр}$ , більше якого відбувається повне внутрішнє віддзеркалення, залежить від співвідношення показників заломлення матеріалів  $n_c$  і  $n_o$ :  $\psi_{кр} = \arcsin(n_o/n_c)$ .

Відмінність між значеннями показників заломлення сердцевини і оболонки зазвичай дуже мало –  $n_c - n_o = \Delta n = 10^{-2} - 10^{-4}$ . Таким чином, утримання випромінювання усередині оптично щільнішої центральній частині світлопровода, забезпечується лише для тієї частини променів, які падають на торець під кутом, меншим деякого критичного значення  $\varphi_c$ , пов'язаного із значенням кута  $\psi_{кр}$ . По волокну розповсюджується випромінювання, поміщене усередині конуса з кутом при вершині  $\varphi_c$ . Величина  $N_A = \sin \varphi_c$  називається **числовою апертурою** і є важливою характеристикою світлопровода, саме цей параметр входить в багато розрахункових формул. Величина числової апертури залежить від показників заломлення середовищ таким чином:  $N_A = \sin \varphi_c = [(n_{c2})^2 - (n_{o2})^2]^{1/2} / n_c$ . Якщо випромінювання потрапляє в світлопровід з повітря ( $n = 1$ ), тоді  $N_A = (2n_c \Delta n)^{1/2} = \Delta n / n_c$ .

**Вигин світлопровода** приводить до того, що кут між променем і межею розділу сердцевина-оболонка зростає і кутова апертура зменшується. Використовуючи закони заломлення і віддзеркалення і враховуючи, що радіус вигину  $r_{min}$  багато більше діаметру сердцевини  $d_c$ , отримуємо, що зниження числової апертури до 90% від свого первинного значення відбудеться при  $r_{min} = 2,5d_c n_c / \Delta n = 5d_c (n_c)^2 / (N_A)^2$ .

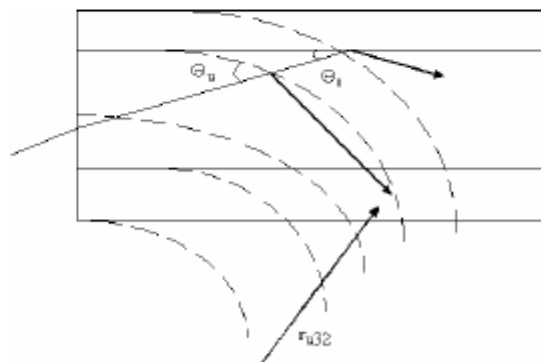


Рисунок 7.2 - Хід світлових променів в зігнутому світлопроводі [14,15]

Аналіз рішень хвильового рівняння для різних хвильоводних мод показує, що вони описуються функціями, що монотонно спадають (зазвичай експоненціально) до периферії сердечника, але що в той же час не обриваються на межі сердцевина-оболонка. Моди, що направляються, частково просочуються в оболонку, тобто віддзеркалення відбувається не на геометричній поверхні розділу, а в деякій приповерхневій області оболонки. **Це явище називається порушенням повним внутрішнім віддзеркаленням.** Таким чином відбувається збільшення ефективної товщини хвильоводного шару (**ефект Гуса-Хейхена**). Поле деяких мод може проникати в оболонку на глибину порядку  $d_c$ . Звідси слідує важливість частоти не тільки сердечника, але і оболонки  $r_{min} \psi_{min} \psi_0$ .

### **Дисперсія світлопроводів**

Дисперсія передачі світлового сигналу в світлопроводах визначається відмінністю швидкостей складових оптичного випромінювання, обумовленого механізмом розповсюдження світла.

Цей ефект викликається двома причинами; по-перше, промені з різними кутами падіння проходять в світлопроводі різні відстані і, по-друге, властивості матеріалу залежать від довжини хвилі випромінювання, а будь-яке реальне джерело не строго монохроматично. Дисперсія волокна залежить не тільки від ступеня когерентності випромінювання, але і від геометричних характеристик волокна.

#### **Виділяють три дисперсії, що становлять:**

-междодовую (або хвилеводну), обумовлену відмінністю групових швидкостей різних мод;

-внутрішньомодову, обумовлену нелінійною залежністю постійною розповсюдження даної моди від довжини хвилі;

-матеріальну (дисперсію матеріалу), таку, що виражається в залежності показника заломлення середовища від довжини хвилі.

### **Загасання випромінювання в світлопроводі**

Причинами втрат оптичної потужності, при розповсюдженні сигналу по волокну, є різні види поглинання, а також обумовлена розсіянням деформація кутового розподілу променевого потоку і витікання виникаючих внепертурних променів з сердцевини.

Розглянемо найбільш істотні з цих механізмів.

#### **1. Фундаментальні втрати, властиві матеріалу і принципово неусунені.**

Виділяють два види фундаментальних втрат.

– власне поглинання в матеріалі світлопровода

– релеевское розсіяння на різного роду нерегулярностях

2. **Домішкове поглинання**, обумовлене наявністю домішок. Проте при сучасних методах очищення роль домішок в кварці опиняється неістотною.

#### **3. Технологічні розкиди** визначальних параметрів світлопровода :

еліпсна сердцевини, статистичні флуктуації її діаметру, порушення вибраного закону розподілу показника заломлення по перетину сердцевини . Все це приводить до і перекачуванню частини енергії випромінювання, що розповсюджується, у витікаючі моди.

4. **Явища, пов'язані з дефектами експлуатації**, що виявляються вже після виготовлення волокна. Це втрати, обумовлені мікрОВИГНАМИ, що виникають в місцях контакту волокна із захисними оболонками і зміцнюючими елементами кабелю. Практично після укладання волокна в кабель його загасання може на 20-50% перевищити початкове значення. Додаткова механічна напруга і мікрОВИГНИ виникають також при зміні температури навколишнього середовища, причому вони тим значніше, чим ширше діапазон робочих температур

#### **5. Втрати, обумовлені дією проникаючої радіації** і принципово не усунені.

Встановлено, що при малих дозах, що не перевищують 10<sup>7</sup> радий, різні види радіації (електрони, протони, нейтрони, альфа-, гамма- і рентгенівське випромінювання) надають на світлопроводи практично однакову дію. При слабких діях додаткове поглинання спочатку лінійно залежить від дози, а потім спостерігається насичення. Наведене поглинання складається з двох компонентів: стабільного і нестабільного, зникаючого при відпаді або інтенсивному засвіченні.

6. **Втрати пов'язані з витягуванням**, внаслідок чого на їх поверхні утворюються мікротріщини, які з часом можуть збільшуватися і викликати появу додаткових втрат.

Процес істотно прискорюється за наявності механічних деформацій і хімічній дії тих або інших реагентів, головним чином вологи і кисню, усунути вплив яких практично неможливо.

## 7.2 Технічна реалізація ВОЛЗ

Елементну базу волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) складають волоконно-оптичні кабелі, передавальні і приймальні крайові пристрої (модулі), оптичні з'єднувачі, розгалужувачі, комутатори. Саме з цих апаратурних засобів створюються системи оптичного зв'язку. Але кожен з названих елементів є складним пристроєм, що у свою чергу складається з декількох комплектуючих елементів, властивості і характеристики яких кінцевим чином визначають можливості ВОЛЗ. Ці оптичні, опто-, мікроелектронні, оптико-механічні елементи (вироби, матеріали) також входять в елементну базу ВОЛЗ.

### 7.2.1 Різновиди оптичних волокон

Визначають в техніці ВОЛЗ є кварцеві двошарові волокна трьох основних різновидів: багатомодові ступінчасті і градієнтні, а також одномодові (рис. 7.3 а - в).

У одномодових волокнах закон зміни показника заломлення усередині сердцевини неважливий, тому ці волокна, як правило, близькі до ступінчастих. Показаний на рисунку третій зовнішній шар в механізмі світлопередачі участі не приймає. Двошарові кварцеві світлопроводи виготовляються способом парофазного осадження, який набув загального поширення.

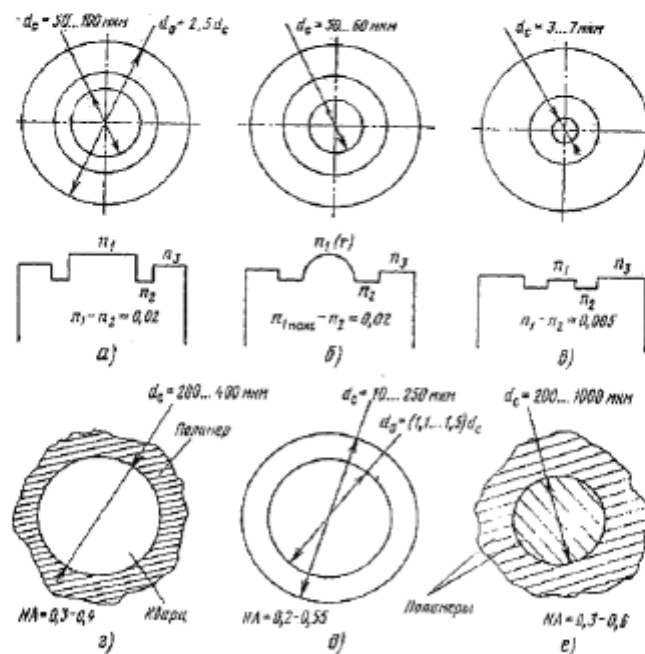


Рисунок 7.3 - Геометрія і профіль зміни показника заломлення кварцевих двошарових багатомодових ступінчастих (а), градієнтних (б), одномодових (в) волокон. Геометрія сердцевини і числові апертури кварц-полімерних (г), з багатокомпонентних стеклок (д) і полімерних (е) світлопроводів[15]

### 7.2.2 Основні конструкції волоконно-оптичних кабелів

Найбільш широкого поширення набули чотири основні конструкції ВОК (рис. 7.5):

**повивная**, в якій волоконні модулі обвиваються навколо центрального зміцнюючого елемента;

**кабелі пучкового скручування**, в яких навивке піддаються групи (пучки) модулів, заздалегідь укладені в трубки;

**кабелі з профільним зміцнюючим елементом**, в яких волоконні модулі вільно укладаються в гвинтоподібні пази зміцнюючого елемента;

**стрічкові кабелі**, в яких скручуванню піддаються стрічки, декілька волокон, що містять, і набрані стопою. Перші дві конструкції є класичними, запозиченими з електротехнічної практики.

Незалежно від конкретної конструкції **основними елементами кабелю** (окрім волоконних модулів) є

**зміцнюючі елементи**, зазвичай полімерні, іноді металеві, що служать для додання кабелю необхідної розривної міцності і розвантаження волокон від розтягування;

**зовнішні захисні покриття**, нерідко багатошарова, оберігаюча від проникнення вологи, пари шкідливих речовин і від зовнішніх механічних дій;

**армуючі елементи**, що підвищують опірність кабелю радіальним механічним діям;



*ізолювані металеві дроти*, що вмонтовуються в кабелі разом з оптичними волокнами і що забезпечують електроживлення ретрансляторів на лінії зв'язку;  
*внутрішні розділові шари і стрічки*, що скріплюють окремі групи елементів і що зменшують тиск різних елементів конструкції один на одного;  
*гідрофобний заповнювач*, що ослабляє шкідливу дію вологи на оптичні волокна.

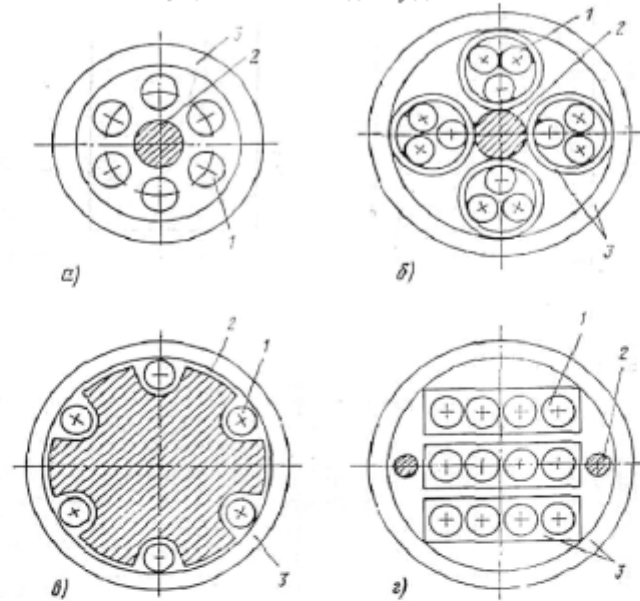


Рисунок 7.5 - Основні різновиди волоконно-оптичних кабелів: повинная конструкція (а), кабелі пучкового скручування (б), з тим, що профільним зміцнює елементом (в), стрічковий (г): 1 - волоконно-оптичний модуль; 2 - упрочнюючий елемент; 3 - захисна оболонка [15]

Поява мікрОВигинів волокна у складі кабелю, терморассогласування волокна і кабельних матеріалів, гарантований захист від дії вологи на волокно - ці проблеми як і раніше далекі від повного вирішення.

### 7.2.3 Передавальні і приймальні модулі

Призначення *передавального модуля* полягає в перетворенні вхідної інформації у вигляді електричних сигналів в оптичні сигнали, узгоджені з каналом передачі (волоконним світлопроводом); при цьому модуль повинен надійно функціонувати при всіх можливих змінах зовнішніх впливаючих чинників (температури, вологості, вібрації, коливань напруги живлення і тому подібне).

У *пристрої збудження* сигнал, що поступає через вхідний електричний роз'єм, перетворюється в могутні імпульси накачування, що перевищують поріг генерації лазера. Цей пристрій може здійснювати і деякі додаткові функції:

- завдання постійного зсуву (передпорогове підживлення);
- додання імпульсу накачування спеціальної форми, що забезпечує форсування почала і обриву генерації;
- зміна тривалості імпульсу збудження в порівнянні з імпульсом (наприклад, для поліпшення теплового режиму роботи лазера), що поступає, і тому подібне

У пристрій збудження можуть бути введені і блоки, що виконують абсолютно інші функції: аналого-цифрове перетворення сигналу, кодування, мультиплексування і ін. . Пристрій збудження виконується у вигляді інтегральної монолітної або гібридної мікросхеми.

«Центром» передавального модуля є випромінювач - саме в нім відбувається оптоелектронне перетворення. Основні випромінювачі ВОЛЗ - напівпровідникові інжекційні гетеролазери на основі з'єднань GaAlAs і InGaAsP, смугові лазери, лазери із зарощеною структурою, з розподіленим зворотним зв'язком і здвоєні лазери зі склото-зв'язаними резонаторами. Модуль може містити одночасно декілька лазерів, випромінюючих на різних довжинах хвиль (для цілей спектрального мультиплексування), в цьому випадку структурна схема відповідно видозмінюється і ускладнюється.

Випромінювання лазера поступає на вихідний оптичний пристрій, що включає елементи узгодження (селективні фільтри або змішувачі мод; елементи, що перетворюють діаграму спрямованості випромінювання до оптимального для введення у волокно вигляду) і оптичний з'єднувач. Частина світлового потоку лазера за допомогою світлоділника (або шляхом використання внеапертурного випромінювання) прямує на фотоприймач зворотного зв'язку, який через мікроелектронний пристрій управління так впливає на пристрій збудження і на лазер, щоб здійснювалася компенсація температурних, деградаційних і інших змін потужності на виході модуля. Для ослаблення температурних ефектів в модуль вводиться термоелектричний охолоджувач, що включає вимірника і схему автоматичного регулювання температури. Найважливішою частиною модуля є корпус, що виконується зазвичай у вигляді плоскої прямокутної металевої коробочки з електричним і оптичним з'єднувачами на протилежних торцях.

Для коротких ВОЛЗ з невисокими швидкостями передачі інформації зручно замість лазера використовувати світлодіоди: це підвищує надійність і довговічність передавального модуля, знижує його вартість, різко спрощує структурну схему. В цьому випадку термоелектричні охолоджувачі не потрібні, виключається також ланцюг фоточутливого зворотного зв'язку.

Передавальні модулі на основі напівпровідникових інжекційних випромінювачів (лазерів і світлодіодів) характеризуються всіма перевагами, властивими цим приладам: малими габаритними розмірами, довговічністю і надійністю, економічністю, малою живлячою напругою, простотою модуляції.

**Приймальний модуль** призначений для зворотного перетворення оптичного сигналу, що поступає з каналу передачі (світлопровода), в електричний і його відновлення до початкового вигляду; через оптичний елемент (зазвичай оптичний з'єднувач, а іноді і фокусуєча лінза), що погоджує, випромінювання поступає на чутливий майданчик фотоприймача, для якого практично повсюдно використовуються фотодіоди: лавинні і з р-і-n- структурою.

Призначення подальших каскадів полягає в забезпеченні оптимального (або квазіоптимального) прийому, тобто в реалізації такого алгоритму, який дозволяє отримати якнайкращі характеристики (поріг чутливості, смуга частот і ін.) при немінучій дії шумів і спотвореннях. Конкретне виконання цих каскадів залежить від типу використовуваного фотоприймача і виду інформаційних сигналів, що поступають (їх амплітуди, частоти проходження, коди і ін.).

Попередні підсилювачі зазвичай виконуються в одному з двох варіантів: високоімпедансний (інтегруючий) підсилювач струму або трансімпедансний підсилювач - перетворювач струму в напругу, охоплений глибоким негативним зворотним зв'язком.

Схема обробки сигналу є спеціальним електронним фільтром, призначеним для зменшення міжсимвольної інтерференції, тобто часткового накладення імпульсів на виході підсилювача унаслідок дисперсійних явищ в світлопроводі і динамічних спотворень в приймально-передавальних модулях.

У схемі ухвалення рішення (як правило, компараторі) сигнал порівнюється із заданим зсувом (порогом) і ухвалюється рішення про істинність інформації, що поступила, даним алгоритмом розподілу світлових сигналів в цій системі.

Комутаційні елементи містять декілька груп виробів.

Оптичні з'єднувачі призначені для багатократного зчленування-розчленування кінців двох відрізків кабелю (з'єднувачі типу кабель-кабель) або кінця кабелю з передавальним або приймальним модулем (блокові з'єднувачі).

Оптичними розгалужувачами є пристрої, в яких випромінювання, що подається на вхід (або входи), розподіляється по заданому закону між його виходами.

Оптичні комутатори – пристрої, що функціонально реалізують повнодоступну схему з  $m$  входами і  $n$  виходами, тобто з  $m \times n$  полюсами. У окремому випадку при  $m = 1$  пристрій називають оптичним перемикачем. Елементи введення-виводу випромінювання виконують функцію оптичного узгодження кутових апертур активних елементів (в першу чергу випромінювача) і волокна.

#### **7.2.4 Принципові особливості волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ) та області практичного застосування**

Створення світлопроводів з малими втратами, швидкодіючих і джерел когерентного випромінювання і фотоприймачів зробило можливим практичне застосування волоконно-оптичних ліній зв'язку, що швидко розвиваються унаслідок наступних *принципових особливостей*.

**1. Мале лінійне загасання і створення сигналу.** Волокна упевнено забезпечують довжину міжретрансляційної ділянки в 30-50 км. (що на порядок перевищує той же показник для коаксіальних металевих кабелів), в окремих випадках - до 200 км. і в перспективі - понад 1000 км.

**2. Надвисока пропускна спроможність.** Це пояснюється, перш за все, широкосмуговістю всіх елементів ВОЛЗ (випромінювач - волоконний тракт-фотоприймач), використанням принципу оптичного мультиплексування і можливістю розміщення в кабелі великого числа волокон. Представляється досяжною швидкість передачі інформації  $10^{12}$ - $10^{13}$  бит/с по одному кабелю

Найважливішим шляхом підвищення пропускної спроможності ВОЛЗ є використання принципу мультиплексування у всіх його можливих аспектів. Мова йде про технологічне, часове, спектральне, просторове ущільненні каналів передачі. Перші два аспекти - використання в одному кабелі великого числа невзаємодіючих волокон і часове мультиплексування .

Спектральне ущільнення засноване на тому, що поодиноці і тому ж світлопроводу можуть одночасно і не змішуючись передаватися сигнали, відповідні оптичному випромінюванню різних довжин хвиль.

У простому варіанті на вхід волокна через систему інтерференційних фільтрів подаються сигнали від декількох лазерів (наприклад, три). На виході волокна інтерференційна система, зворотна вхідній, розділяє різні спектральні потоки, направляючи їх на три фотоприймачі - у результаті пропускна спроможність лінії потроюється. Оцінки показують, що на існуючій елементній базі число інформаційних каналів що реалізуються, в одиночному волокні одночасно на різних оптичних несущих може досягати 10; теоретично граничне число для діапазону  $\lambda = 0,8$ - $1,6$  мкм перевищує 102 каналів.

Просторове ущільнення здійснюється двома способами: при передачі різно поляризованих мод по волокну, що зберігає напрям поляризації, і передачі декількох мод з різними кутами падіння. На виході всі ці потоки просторово розділяються, і кожен сприймається своїм фотоприймачем.

Другий спосіб - «азимутне» ущільнення - зникається з проблемою передачі двовірних зображень по одиночному волокну. Реальні досягнення тут поки невеликі: передача трьох променів на відстань до 250 м з придушенням перехресних перешкод на рівні 40 дБ.

3. *«Електрогерметичність»*. Волоконний світлопровід не чутливий до зовнішніх електромагнітних дій і сам практично не випромінює в навколишній простір. Цим забезпечується перешкодозахисна ВОЛС і скритність передачі інформації.

4. *Малі габарити і маса*. Характерними в зв'язку з цим є три моменти.

По-перше, діаметр типового волоконного модуля складає всього 0,3-0,5 мм, а площа поперечного перетину світлоканаліруємої області (з урахуванням необхідних оболонки, що відображають і захисної) може бути менше  $10^{-5}$  см<sup>2</sup>.

По-друге, питома маса; використовуваних матеріалів (кварц) у декілька разів менше, ніж у металів (мідь, свинець); у багатьох випадках волоконний кабель не має захисного металевих екрану або цей екран легший.

По-третє, використовуваних в крайових пристроях і в ретрансляторах оптоелектронні елементи мініатюрні, економічні і легкі. У результаті порівняння з дротяними лініями зв'язку ВОЛС дають вигоду по масі у в 2-5 разів, а в окремих випадках і в 30-100 разів. Мала вага світлодіодів обумовлена дуже малим їх діаметром, до того ж питома вага кварцевого скла (2,3 г/см<sup>3</sup>). Вага одного світлопровода довжиною 1 км. (без пластмасової оболонки) складає 27 г, для порівняння - вага однієї мідної жили такої ж довжини і діаметром 1мм рівний приблизно 7 кг. Граничне натягнення нитки світлопровода діаметром 125 мкм складає 68,77 Н ((7 кг), приблизно в 2 рази більше, ніж для фортепіанної струни тієї ж товщини.

5. *Експлуатаційні переваги*. Оптикоелектронні принципи перетворень і передачі інформації у ВОЛС, використання кварцу як передавальне середовище обумовлюють наявність електричної розв'язки між входом і виходом лінії; однонаправленість потоку інформації, відсутність зворотної реакції приймача на передавач; пожежо- і вибухобезпечність (виключення іскріння і самозагорання); стійкість волокон до корозії; високі міцність волоконних світлопроводів і граничну температуру волокон (до 1000° С); простоту прокладки волоконно-оптичного кабелю.

6. *Низька вартість*. Відзначимо перш за все необмежений сировинний ресурс для виробництва кварцевих волокон, тоді як запаси міді і свинцю безперервно виснажуються. Велика довжина міжретрансляційного прольоту і висока інформаційна ємність оптичних каналів різко скорочують апаратурні витрати в порівнянні з дротяними зв'язними системами. Нарешті, значний економічний ефект обумовлюється простотою прокладки і експлуатації ВОЛС.

*Області практичного застосування ВОЛС* надзвичайно широкі. Залежно від протяжності вони умовно діляться на об'єктові, міські (міжміські, зонові) і магістральні, аж до міжконтинентальних. Внутрішньооб'єктові ВОЛС – це відносно короткі (1-100 м) бортові лінії на кораблях, літаках, ракетах і космічних апаратах, усередині установ і підприємств, в апаратурі контролю і управління (що працює в умовах сильних перешкод, з високочастотними і сильноточними ланцюгами), для передачі світлових імпульсів великої потужності в лазерній технології, медицині і тому подібне. Для внутрішньооб'єктові лінії зв'язку оптичні втрати, модова і хроматична дисперсія - не дуже критичні характеристики. Виділяють також так звані монтажні волоконно-оптичні кабелі (завдовжки до 10-30 м), призначені для внутрішньооб'єктових і міжблочних з'єднань в апаратурі.

Міські ВОЛС мають середню протяжність до 50-100 км., міжміські (зонові) - до 200-300 км. і призначені для зв'язку ЕОМ з віддаленими терміналами, пристроями збору даних, телефонному, телеграфному і відеотелефонному зв'язку. Слід обговорити використання ВОЛС для багатопрограмного телебачення, що важливе як з погляду підвищення якості і надійності передачі в умовах сильних перешкод, екранування висотними будовами, рельєфом місцевості, так і радикальної перебудови інформаційної служби, з'єднання абонентів з крупними бібліотеками, банками даних, інформаційно-обчислювальними центрами і ін.

Призначення магістральних ВОЛС - передача інформації на великі відстані (сотні і тисячі кілометрів). При мінімальних оптичних втратах вони повинні бути стійкими до багаторічних дій несприятливих зовнішніх чинників (наприклад, при укладанні під землею, під водою). У магістральних ВОЛС використовують дорогі оптичні кабелі, що містять гідроізолюючу оболонку, армують елементи і тому подібне.

Передачу сигналів у ВОЛС здійснюють як в аналоговій, так і в цифровій формі. Широкосмугість світловолокон робить переважною передачу інформації в цифровій формі, як точнішою і надійнішою, менш чутливішою до шумів і спотворень.