

ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДХОДІВ ДО ТЕХНІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ АКТИВНОГО ЗАШУМЛЕННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

Постановка проблеми в загальному вигляді. Удосконалення та розробка нових технічних засобів і методів несанкціонованого доступу (НСД) до інформації є наслідком нарощування потенціалу інформаційних технологій [1]. Тому вироблення превентивних мір, спрямованих на захист інформації, є нагальною потребою сьогодення, оскільки проблема захисту інформації є актуальною не тільки для України, а й в цілому для всієї світової спільноти [2].

У рамках визначеної проблеми, актуальною є задача подальшого удосконалення методик захисту інформації, яка передається волоконно-оптичною лінією зв'язку (ВОЛЗ), від НСД. Актуальність даної задачі підвищується за рахунок збільшення ймовірності здійснення НСД до інформації, яка передається ВОЛЗ, по технічних каналах витоку інформації (ТКВІ) [3].

У результаті встановлено, що в рамках зазначеної проблеми невирішеною залишається задача обґрунтування підходів до технічної реалізації системи активного зашумлення (САЗ) ВОЛЗ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З аналізу відкритої наукової спеціалізованої літератури [1, 4–7] встановлено, що на сьогоднішній день комплексне дослідження присвячене питанням застосування САЗ ВОЛЗ відсутнє.

Вперше у вітчизняній науковій літературі можливість застосування САЗ ВОЛЗ розглянуто в монографії [7].

Виходячи з приведеного аналізу літератури [1, 4–7], зрозуміло, що розробка і дослідження САЗ ВОЛЗ є актуальним та потребує подальших наукових досліджень.

Метою статті є обґрунтування підходів до технічної реалізації САЗ ВОЛЗ.

Викладення основного матеріалу досліджень. Відомо [8-15], що в основу побудови оптичного волокна (ОВ) покладено наступну структуру (рис. 1): серцевину, оболонку, первинну захисну оболонку та зовнішню захисну оболонку (буферизацію).

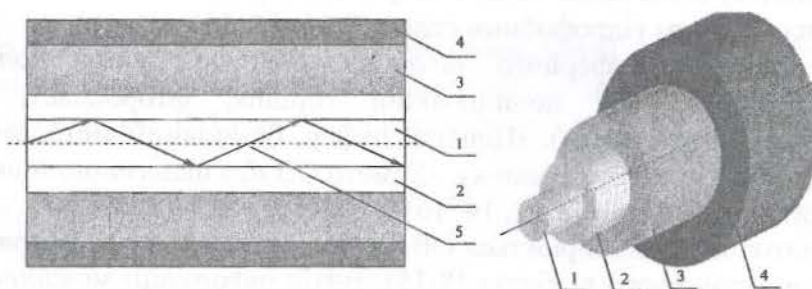


Рис. 1. Основна конструкція ОВ:

- 1 – серцевина; 2 – оболонка; 3 – первинна захисна оболонка;
- 4 – зовнішня захисна оболонка (буферизація); 5 – траєкторія руху світлового променя, який здійснює передачу інформаційного сигналу

У якості середовища поширення інформаційних сигналів вибрано кварцове скло. Його перевагою є такі властивості: прозорість, висока гнучкість, в'язкість, висока хімічна стійкість та ін. [10]. Кварцове скло – це некристалічний твердий сплав із діоксида кремнію SiO_2 , який завдяки своїй високій в'язкості має однакові фізичні властивості незалежно від напрямку осі. Саме завдяки цьому, діоксид кремнію SiO_2 відрізняється від природного, кристалічного

кварцу (гірський криштал), оптичні та механічні характеристики якого змінюються в залежності від напрямку осі. Кварцове скло є основним матеріалом як для серцевини, так і для оболонки ОВ. Введення додаткових хімічних компонентів (хлоридів кремнію, германію, бору та ін.) до діоксида кремнію дозволяє змінювати показник заломлення оболонки ОВ n_2 в порівнянні з показником заломлення серцевини n_1 . Діаметр серцевини d_1 одномодового ОВ рівний $8,6 \div 9,5$ мкм, багатомодового – 50 мкм або 62,5 мкм, а діаметр оболонки d_2 – 125 ± 2 мкм [8, 10, 11, 14].

Оболонка ОВ, за структурою побудови (див. рис. 1), покривається первинною захисною оболонкою, з показником заломлення n_3 . В якості первинної захисної оболонки використовуються двокомпонентні силіконові смоли та уретанакрилати [14, 16]. Зазвичай первинна захисна оболонка наноситься в два шари. Перший (внутрішній) шар призначений для усунення мікротріщин, зовнішній – для захисту від вологи та механічних впливів. Після нанесення первинної захисної оболонки діаметр d_3 ОВ рівний 245 ± 10 мкм [10, 14, 16].

З первинним захисним покриттям ОВ не придатні для більшості застосувань без зовнішньої захисної оболонки, з показником заломлення n_4 . Зовнішня захисна оболонка призначена для додаткового захисту від механічних впливів та зовнішніх чинників [8-11, 14]. На практиці використовують два типи буферизації (рис. 2): вільний буфер (трубка) і щільний буфер.

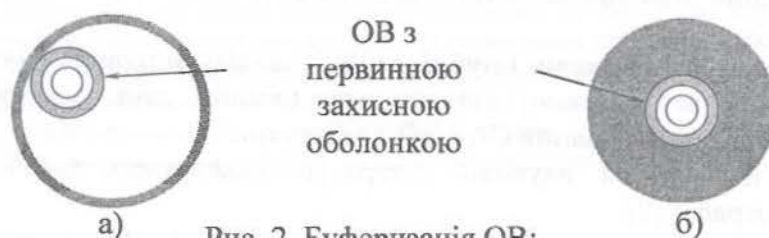


Рис. 2. Буферизація ОВ:
а) вільний буфер (трубка); б) щільний буфер

В конструкції з вільним буфером ОВ розміщується в полімерній трубці, внутрішній діаметр якої значно більший зовнішнього діаметра ОВ покритого первинною захисною оболонкою. Для виготовлення полімерної трубки використовують полібутилентерефталат, поліамід, поліпропілен, поліетилен та ін. матеріали. Внутрішня поверхня полімерної трубки заповнюється тиксотропним гідрофобним гелем [8-11, 14, 16].

В якості щільного буферного покриття використовують полімерні матеріали (полівінілхлорид, полімер не поширюючий горіння, фторопласт, термопластичний еластомер, полібутилентерефталат). Щільний буфер, безшовним методом прямої екструзії, наноситься на первинну захисну оболонку. Діаметр ОВ d_4 з нанесеною зовнішньою захисною оболонкою рівний 900 ± 100 мкм [8-11, 14, 16].

Світловий потік, який поширюється ОВ, розповсюджується по направляючим лініям за рахунок повного внутрішнього відбиття [8-15]. Витік інформації можливий при заломленні та зміні траєкторії розповсюдження світлових променів з наступним їх поширенням в оболонці ОВ, що в свою чергу спричиняє утворення бокового випромінювання [3, 8-11]. Таким чином, створюється передумова зняття інформації за рахунок випромінювання оптичної енергії в навколишнє середовище.

Однією із умов забезпечення повного внутрішнього відбиття є різниця значень показників заломлення серцевини n_1 і оболонки n_2 ОВ, при чому показник заломлення серцевини n_1 більший ніж показник заломлення оболонки n_2 ($n_1 > n_2$) [8-15]. Показник заломлення оболонки n_2 технологічно вибирається на декілька відсотків менше показника заломлення серцевини n_1 [9, 10].

Відомо [3, 9-11, 13, 15], що сучасні ОВ, в залежності від показника заломлення сердцевини, оболонки та первинної захисної оболонки виготовляються зі ступінчастим, градієнтним та трикутним профілем показника заломлення (рис. 3).

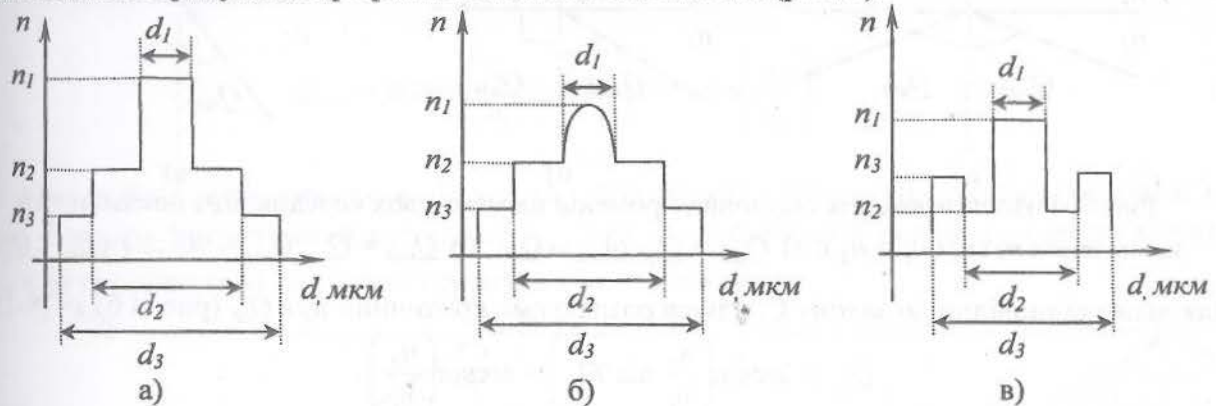


Рис. 3. Класифікація ОВ в залежності від профілю показника заломлення:
а) ступінчастий профіль; б) градієнтний профіль; в) трикутний профіль

При ступінчастому профілі (див. рис. 3 а), показник заломлення сердцевини n_1 однаковий по всьому діаметру сердцевини d_1 , при переході від сердцевини до оболонки показник заломлення ступінчато зменшується до величини n_2 та залишається незмінним по всьому діаметру оболонки d_2 . При переході від оболонки до первинної захисної оболонки показник заломлення також ступінчато зменшується до величини n_3 та залишається незмінним по всьому діаметру первинної захисної оболонки d_3 .

При градієнтному профілі (див. рис. 3 б), показник заломлення сердцевини n_1 максимальний в центрі і плавно зменшується зі збільшенням радіуса сердцевини до величини показника заломлення оболонки n_2 .

У разі використання ОВ з депресивною оболонкою (depressed-cladding), тобто з трикутним профілем показника заломлення (ступінчастим з провалом в оболонці), показник заломлення оболонки n_2 менше показника заломлення первинної захисної оболонки n_3 (див. рис. 3 в). Величина показника заломлення сердцевини n_1 співвідноситься з величинами показників заломлення оболонки n_2 та первинної захисної оболонки n_3 , як $n_1 > n_3 > n_2$ [10, 13, 14].

Як показав аналіз [8-15], показник заломлення зовнішньої захисної оболонки n_4 менше показника заломлення первинної захисної оболонки n_3 ($n_4 < n_3$). У результаті показники заломлення складових частин ОВ можуть співвідноситись як

$$n_1 > n_2 > n_3 > n_4, \quad (1)$$

$$n_1 > n_3 > n_2 > n_4. \quad (2)$$

Розглянемо принцип повного внутрішнього відбиття, яке досягається при падінні світлових променів на межу "серцевина" – "оболонка" під кутом більшим за критичний кут $Q_{кр}$ та перевищенні значень показника заломлення сердцевини n_1 над значеннями показника заломлення оболонки n_2 (рис. 4 а).

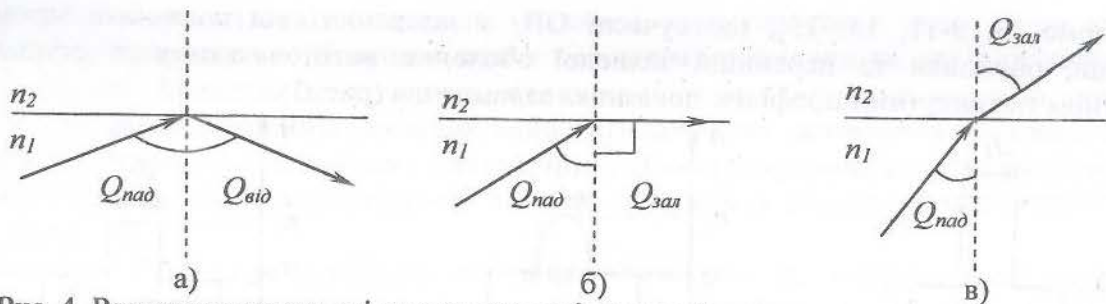


Рис. 4. Розповсюдження світлових променів на межі двох середовищ з показниками заломлення n_1 і n_2 ($n_1 > n_2$): а) $Q_{пад} > Q_{кр}$, $Q_{пад} = Q_{від}$; б) $Q_{пад} = Q_{кр}$, $Q_{зал} = 90^\circ$; в) $Q_{пад} < Q_{кр}$

Для цього відповідно до закону Снеліуса розрахуємо критичний кут $Q_{кр}$ (рис. 4 б) як [8-15]

$$Q_{кр} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1} \sin 90^\circ\right) = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right). \quad (3)$$

У випадку падіння світлових променів на межу “серцевина” – “оболонка” під кутом меншим за критичний кут ($Q_{пад} < Q_{кр}$), відбувається заломлення на кут $Q_{зал}$ з подальшим розповсюдженням променів в оболонці ОВ (рис. 4 в). Окрім визначеного до причин заломлення світлових променів відносять неоднорідності ОВ, макро- та мікровикривлення, дефекти з’єднання поверхонь ОВ. Саме за рахунок цього, утворюється бокове випромінювання, що спричиняє НСД до інформації, яка передається ВОЛЗ [1, 3, 6, 8-10].

Отже, для виключення можливості (суттєвого ускладнення) зняття інформації з ВОЛЗ рекомендується усувати бокове випромінювання шляхом зашумлення ОВ, застосувавши таку звану САЗ ВОЛЗ [7].

Розглянемо світловий промінь при проходженні межі середовищ “серцевина” – “оболонка” та визначимо кут заломлення $Q_{зал}$ (рис. 5). Кут заломлення $Q_{зал}$ рівний куту падіння $Q_{пад1}$ на межу “оболонка” – “первинна захисна оболонка” (див. рис. 5), та визначається як

$$Q_{зал} = Q_{пад1} = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2} \sin Q_{пад}\right). \quad (4)$$

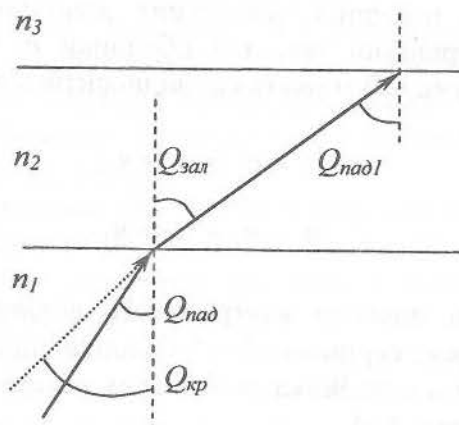


Рис. 5. Розповсюдження світлового променя в середовищах з показниками заломлення n_1 та n_2 ($n_1 > n_2$): $Q_{пад} < Q_{кр}$, $Q_{зал} = Q_{пад1}$

Заломлений світловий промінь на межі “серцевина” – “оболонка” на кут $Q_{зал}$ при подальшому поширенні досягає межі “оболонка” – “первинна захисна оболонка”.

У випадку використання ОВ зі значеннями показників заломлення, які задовольняють умові (1), то відповідно до закону Снеліуса існує критичний кут $Q_{кр1}$ на межі “оболонка” – “первинна захисна оболонка” (рис. 6 а), що дорівнює

$$Q_{кр1} = \arcsin\left(\frac{n_3}{n_2} \sin 90^\circ\right) = \arcsin\left(\frac{n_3}{n_2}\right). \quad (5)$$

При падінні світлових променів на межу “оболонка” – “первинна захисна оболонка” під кутом більшим за критичний кут $Q_{кр1}$ ($Q_{пад1} > Q_{кр1}$) відбувається повне внутрішнє відбиття (рис. 6 б) та поширення світлових променів в межах оболонки.

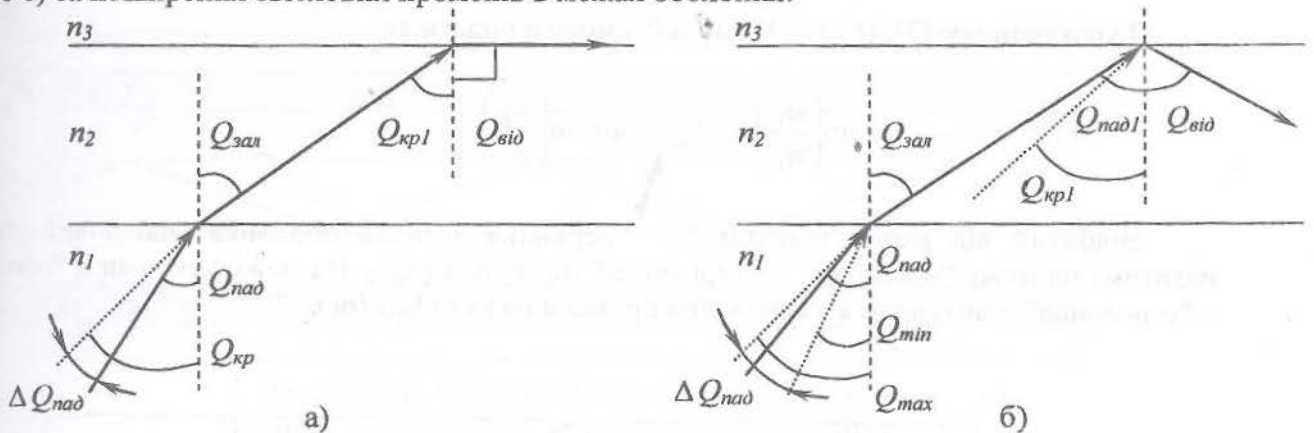


Рис. 6. Розповсюдження світлових променів в середовищах

з показниками заломлення n_1, n_2 та n_3 ($n_1 > n_2 > n_3$): а) $Q_{пад} < Q_{кр}, Q_{зал} = Q_{кр1}, Q_{від} = 90^\circ$;

б) $Q_{мін} < Q_{пад} < Q_{макс}, Q_{зал} = Q_{пад1}, Q_{пад1} > Q_{кр1}, Q_{пад1} = Q_{від}$

Отже, постає питання визначення діапазону кутів падіння (див. рис. 6 б) світлових променів на межу “серцевина” – “оболонка” $\Delta Q_{пад} \in [Q_{мін}, Q_{макс}]$, при яких заломлені промені будуть падати на межу “оболонка” – “первинна захисна оболонка” під кутом більшим за критичний кут $Q_{кр1}$. Такі світлові промені можливо використовувати з метою зашумлення ОВ, тим самим технічно реалізувати САЗ ВОЛЗ.

Оскільки

$$Q_{кр1} = Q_{зал}, \quad n_1 \sin Q_{мін} = n_2 \sin Q_{зал}, \quad n_1 \sin Q_{мін} = n_2 \sin Q_{кр1}, \quad (6)$$

то мінімальне значення кута $Q_{мін}$ з урахуванням (5) визначається як

$$Q_{мін} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1} \sin Q_{кр1}\right) = \arcsin\left(\frac{n_3}{n_1}\right). \quad (7)$$

У разі падіння світлових променів на межу “серцевина” – “оболонка” під кутом більшим за критичний кут $Q_{кр}$ ($Q_{пад} > Q_{кр}$), відбувається повне внутрішнє відбиття світлових променів (див. рис. 4 а). Таким чином, максимальне значення кута падіння $Q_{макс}$ рівне критичному куту для межі “серцевина” – “оболонка” $Q_{кр}$

$$Q_{макс} = Q_{кр}, \quad (8)$$

де $Q_{кр}$ визначається з виразу (3).

При падінні світлових променів на межу “серцевина” – “оболонка” в діапазоні кутів від Q_{min} до Q_{max} відбувається заломлення та поширення променів в оболонці, при чому, кут падіння на межу “оболонка” – “первинна захисна оболонка” буде більший за критичний кут $Q_{кр1}$, таким чином відбувається повне внутрішнє відбиття світлових променів з наступним їх поширенням в межах оболонки.

Значення визначеного діапазону кутів падіння $\Delta Q_{пад} = \Delta Q_{зах}$, вирази (7) та (8), для умови (1), можливо використовувати для світлових променів, які здійснюють передачу псевдовипадкових послідовностей з метою зашумлення ОВ, лежать в межах від Q_{min} до Q_{max} та визначаються

$$Q_{min} < Q_{зах} < Q_{max} \quad (9)$$

З урахуванням (7), (8) та (3) вираз (9) можна подати як

$$\arcsin\left(\frac{n_3}{n_1}\right) < Q_{зах} < \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (10)$$

Відбитий від межі “оболонка” – “первинна захисна оболонка” світловий промінь падатиме на межу “оболонка” – “серцевина” під кутом $Q_{пад2}$. На межі середовищ “оболонка” – “серцевина” відбувається заломлення променя на кут $Q_{зах1}$ (рис. 7).

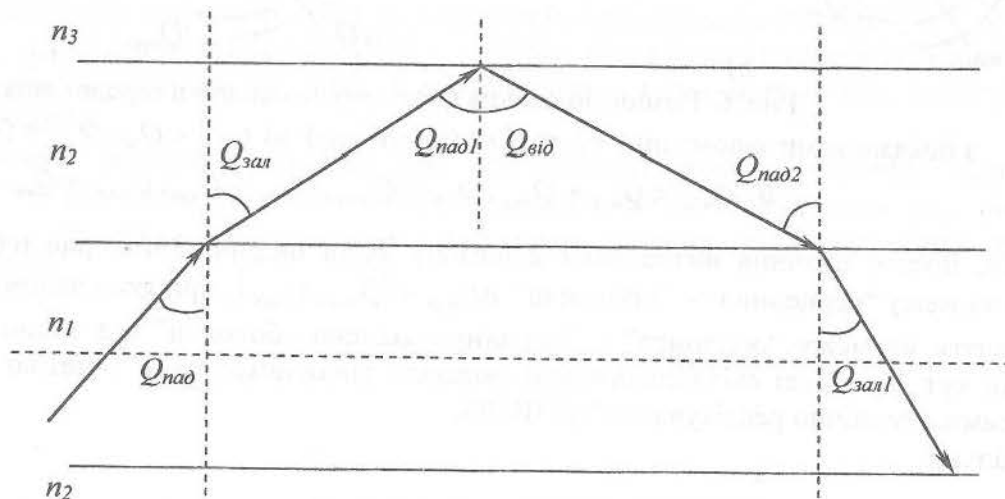


Рис. 7. Траєкторія руху світлового променя при $Q_{min} < Q_{пад} < Q_{max}$ ($n_1 > n_2 > n_3$)

Оскільки

$$\begin{aligned} Q_{пад2} = Q_{від} = Q_{пад1} = Q_{зах}, \quad n_2 \sin Q_{пад2} &= n_1 \sin Q_{зах1}, \\ n_2 \sin Q_{зах} &= n_1 \sin Q_{зах1}, \quad n_1 \sin Q_{пад} = n_2 \sin Q_{зах}, \\ n_1 \sin Q_{пад} &= n_1 \sin Q_{зах1}, \quad \sin Q_{пад} = \sin Q_{зах1}, \end{aligned} \quad (11)$$

то

$$Q_{пад} = Q_{зах1} \quad (12)$$

Отже, заломлення світлового променя, відбитого від межі “оболонка” – “первинна захисна оболонка”, на межі “оболонка” – “серцевина” відбувається на кут $Q_{зал1}$, який дорівнює куту падіння $Q_{пад}$ на межу “серцевина” – “оболонка”. Геометрія поширення світлових променів на межі “оболонка” – “серцевина” змінюється з відхиленням до нормалі, за рахунок розповсюдження променів з середовища з меншим показником заломлення n_2 в середовище з більшим n_1 (див. рис. 7).

При проходженні серцевини ОВ та падінні світлового променя на межу “серцевина” – “оболонка” відбувається заломлення світлового променя на кут $Q_{зал}$. Таким чином, процес поширення світлових променів повторюється. У випадку використання ОВ, які відповідають (1), траєкторії руху світлових променів, які можливо використовувати для реалізації САЗ ВОЛЗ та світлових променів, які здійснюють передачу інформаційної складової, подано на рис. 8.

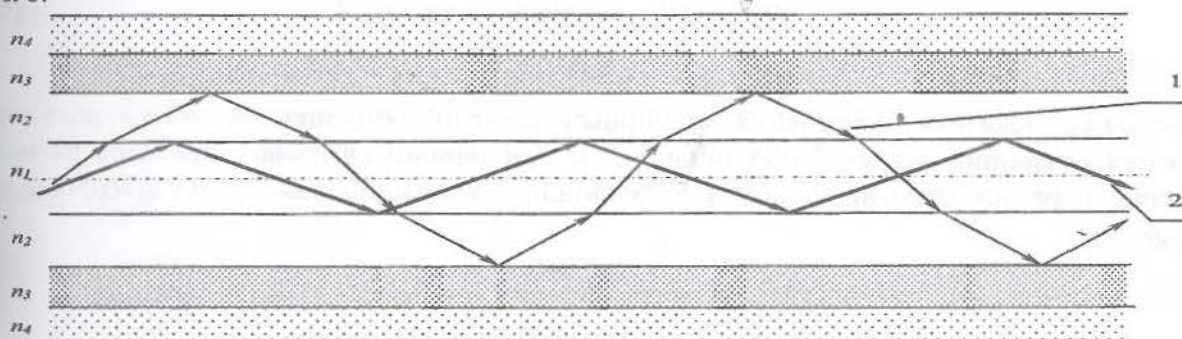


Рис. 8. Траєкторії руху світлових променів:
1 – сигнал зашумлення; 2 – інформаційний сигнал

При використанні ОВ із значеннями показників заломлення, які відповідають (2), відповідно до закону Снеліуса на межі “оболонка” – “первинна захисна оболонка” відбувається заломлення світлового променя на кут $Q_{зал1}^1$ та відхилення траєкторії поширення променів до нормалі (рис. 9).

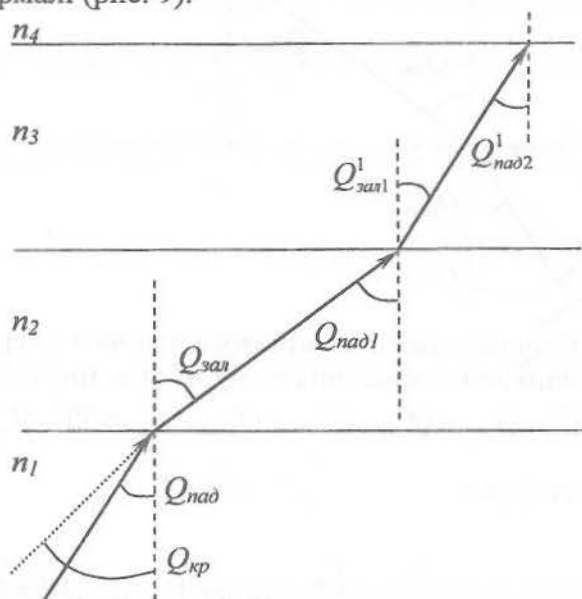


Рис. 9. Розповсюдження світлового променя в середовищах з показниками заломлення n_1, n_2 та n_3 ($n_1 > n_3 > n_2$):

$$Q_{пад} < Q_{кр}, Q_{зал} = Q_{пад1}, Q_{зал1}^1 = Q_{пад2}^1$$

Кут заломлення $Q_{зал1}^1$, рівний куту падіння світлового променя на межу “первинна захисна оболонка” – “зовнішня захисна оболонка” $Q_{пад2}^1$, та може бути визначений як

$$Q_{зал1}^1 = Q_{пад2}^1 = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_3} \sin Q_{пад1}\right). \quad (13)$$

З урахуванням (4) кут заломлення $Q_{зал1}^1$ визначається як

$$Q_{зал1}^1 = Q_{пад2}^1 = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_3} \sin Q_{пад}\right). \quad (14)$$

Оскільки показник заломлення зовнішньої захисної оболонки n_4 менше показника заломлення первинної захисної оболонки n_3 , то при падінні світлових променів на межу середовищ “первинна захисна оболонка” – “зовнішня захисна оболонка” існує критичний кут $Q_{кр1}^1$ (рис. 10).

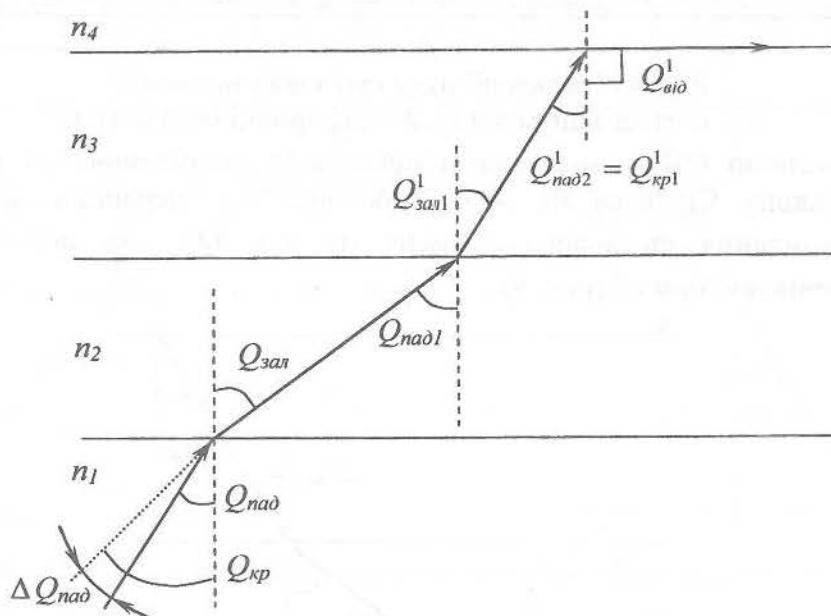


Рис. 10. Розповсюдження світлового променя в середовищах з показниками заломлення n_1, n_2, n_3 та n_4 ($n_1 > n_3 > n_2 > n_4$):

$$Q_{пад} < Q_{кр}, Q_{зал} = Q_{пад1}, Q_{зал1}^1 = Q_{пад2}^1, Q_{від}^1 = 90^\circ, Q_{пад2}^1 = Q_{кр1}^1$$

Критичний кут $Q_{кр1}^1$ визначається

$$Q_{кр1}^1 = \arcsin\left(\frac{n_4}{n_3} \sin 90^\circ\right) = \arcsin\left(\frac{n_4}{n_3}\right). \quad (15)$$

З виразу (14) випливає, що залежність між $Q_{пад2}^1$ та $Q_{пад}$ прямо пропорційна. При збільшенні кута падіння $Q_{пад}$ збільшується кут $Q_{пад2}^1$, однак при умові перевищення

критичного кута $Q_{кр1}$ ($Q_{пад2}^1 > Q_{кр1}^1$) відбувається повне внутрішнє відбиття та поширення світлових променів в межах зовнішньої захисної оболонки (рис. 11).

Таким чином, постає питання визначення діапазону кутів падіння $\Delta Q_{пад} \in [Q_{min}, Q_{max}]$ (див. рис. 11) світлових променів на межу “серцевина” – “оболонка”, при яких заломлені промені будуть падати на межу “первинна захисна оболонка” – “зовнішня захисна оболонка” під кутом більшим за критичний кут $Q_{кр1}^1$.

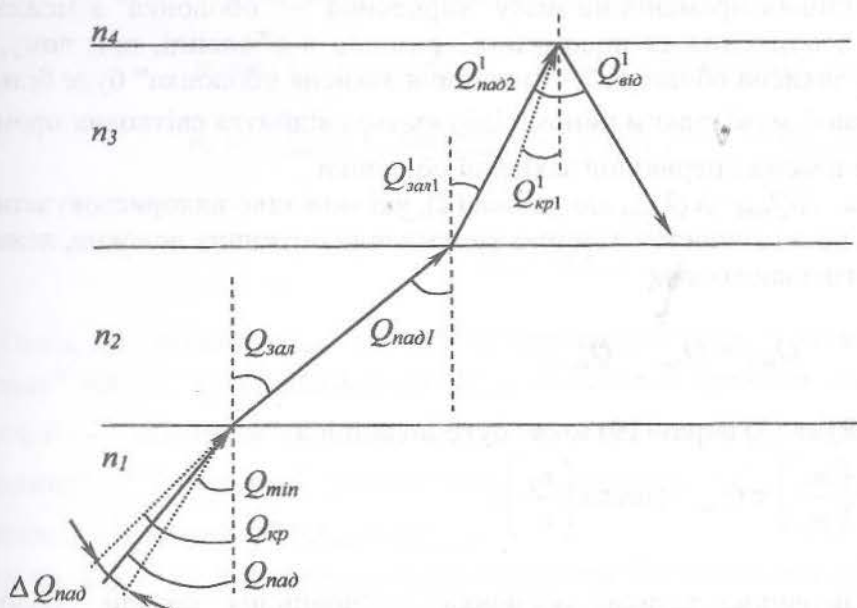


Рис. 11. Розповсюдження світлового променя в середовищах з показниками заломлення n_1, n_2, n_3 та n_4 ($n_1 > n_3 > n_2 > n_4$) за

умов: $Q_{пад} < Q_{кр}$, $Q_{зал} = Q_{пад1}$, $Q_{зал1}^1 = Q_{пад2}^1$, $Q_{пад2}^1 > Q_{кр1}^1$, $Q_{пад2}^1 = Q_{від}^1$

З рис. 10, 11 та виразу (15) впливають наступні співвідношення

$$\begin{aligned}
 Q_{кр1}^1 &= Q_{зал1}^1, \quad \sin Q_{кр1}^1 = \frac{n_4}{n_3}, \quad n_2 \sin Q_{пад1} = n_3 \sin Q_{зал1}^1, \\
 n_2 \sin Q_{пад1} &= n_3 \sin Q_{кр1}^1, \quad Q_{зал} = Q_{пад1}, \quad n_1 \sin Q_{min} = n_2 \sin Q_{зал}, \\
 n_1 \sin Q_{min} &= n_2 \sin Q_{пад1}, \quad n_1 \sin Q_{min} = n_3 \sin Q_{кр1}^1, \quad n_1 \sin Q_{min} = n_3 \frac{n_4}{n_3}, \\
 \sin Q_{min} &= \frac{n_4}{n_1}.
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Таким чином, з виразу (16) випливає, що мінімальне значення кута Q_{min} може бути визначене як

$$Q_{min} = \arcsin\left(\frac{n_4}{n_1}\right).
 \tag{17}$$

При падінні світлових променів на межу “серцевина” – “оболонка” під кутом більшим за критичний кут $Q_{кр}$ ($Q_{пад} > Q_{кр}$) відбувається повне внутрішнє відбиття світлових променів (див. рис. 4 а), з подальшим їх поширенням в межах серцевини. Таким чином, максимальне значення кута падіння Q_{max} рівне критичному куту для межі “серцевина” – “оболонка” $Q_{кр}$

$$Q_{max} = Q_{кр}, \quad (18)$$

де $Q_{кр}$ визначається з виразу (3).

Отже, при падінні світлових променів на межу “серцевина” – “оболонка” в межах від Q_{min} до Q_{max} відбувається заломлення та поширення променів в оболонці, при чому, кут падіння на межу “первинна захисна оболонка” – “зовнішня захисна оболонка” буде більший за критичний кут $Q_{кр1}^1$ для даної межі, таким чином відбувається відбиття світлових променів з наступним їх поширенням в межах первинної захисної оболонки.

Значення кутів падіння $\Delta Q_{пад} = \Delta Q_{зах}$, для умови (2), які можливо використовувати для передачі псевдовипадкових послідовностей з метою зашумлення оптичних волокон, лежать в межах від Q_{min} до Q_{max} , та визначаються як

$$Q_{min} < Q_{зах} < Q_{max}. \quad (19)$$

З урахуванням (17), (18) та (3) вираз (19) може бути поданий як

$$\arcsin\left(\frac{n_4}{n_1}\right) < Q_{зах} < \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right). \quad (20)$$

Відбитий від межі “первинна захисна оболонка” – “зовнішня захисна оболонка” світловий промінь буде падати на межу “первинна захисна оболонка” – “оболонка” під кутом $Q_{пад3}^1$. Заломлення променю на даній межі відбувається на кут $Q_{зах2}^1$, який рівний куту падіння $Q_{пад4}^1$ на межу “оболонка” – “серцевина”. На межі “оболонка” – “серцевина” відбувається заломлення світлового променя на кут $Q_{зах3}^1$ (рис. 12).

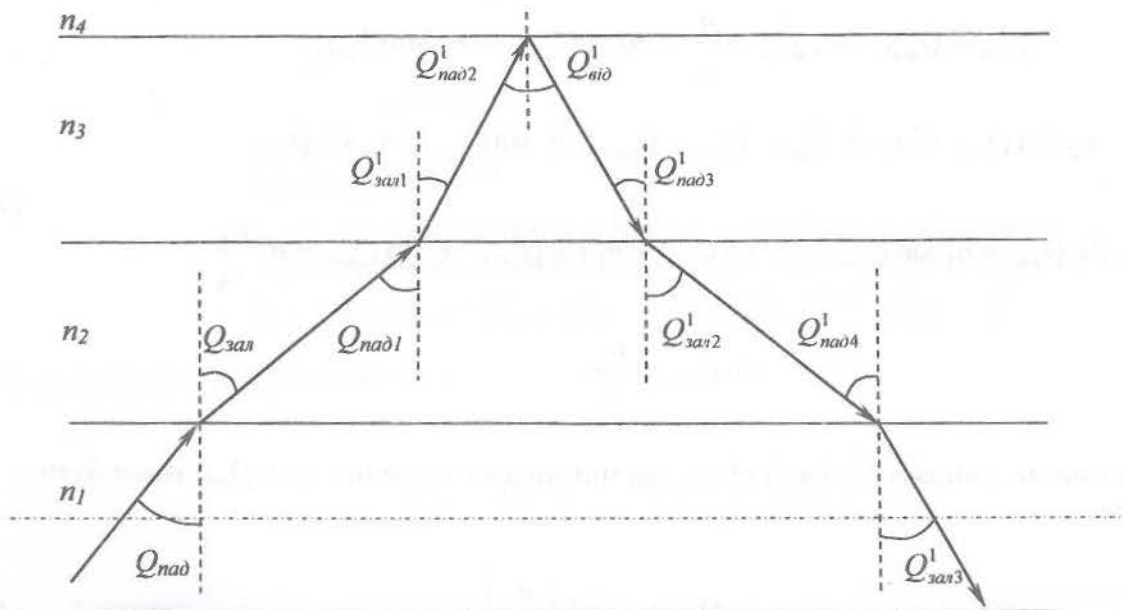


Рис. 12. Розповсюдження світлового променя в середовищах з показниками заломлення n_1, n_2, n_3 та n_4 ($n_1 > n_3 > n_2 > n_4$) при умові $Q_{min} < Q_{пад} < Q_{max}$

Оскільки

$$\begin{aligned} Q_{зал1}^1 = Q_{над2}^1 = Q_{від}^1 = Q_{над3}^1, \quad n_3 \sin Q_{над3}^1 = n_2 \sin Q_{зал2}^1, \\ n_2 \sin Q_{над1} = n_3 \sin Q_{зал1}^1, \quad n_2 \sin Q_{над1} = n_2 \sin Q_{зал2}^1, \\ Q_{над1} = Q_{зал2}^1 = Q_{над4}^1 = Q_{зал}, \\ n_2 \sin Q_{над4}^1 = n_1 \sin Q_{зал3}^1, \quad Q_{над1} = Q_{зал}, \\ n_1 \sin Q_{над} = n_2 \sin Q_{зал}, \quad n_1 \sin Q_{над} = n_2 \sin Q_{над1}, \\ n_1 \sin Q_{над} = n_2 \sin Q_{над4}^1, \quad n_1 \sin Q_{над} = n_1 \sin Q_{зал3}^1, \end{aligned} \quad (21)$$

то

$$Q_{над} = Q_{зал3}^1. \quad (22)$$

Отже, кут падіння $Q_{над1}$ світлового променя на межу “оболонка” – “первинна захисна оболонка” рівний куту заломлення $Q_{зал2}^1$ світлового променя на межі “первинна захисна оболонка” – “оболонка” ($Q_{над1} = Q_{зал2}^1$), кут падіння $Q_{над}$ світлового променя на межу “серцевина” – “оболонка” рівний куту заломлення $Q_{зал3}^1$ світлового променя на межі “оболонка” – “серцевина” ($Q_{над} = Q_{зал3}^1$).

В подальшому, при проходженні серцевини ОБ та падінні світлового променя на межу “серцевина” – “оболонка” відбувається заломлення світлового променя на кут рівний куту заломлення $Q_{зал}$. Таким чином, відбувається повторення процесу поширення світлового променя. В загальному вигляді, траєкторії руху світлових променів у ОБ, при співвідношенні показників заломлення відповідно (2), які можливо використовувати для передачі псевдовипадкових послідовностей з метою реалізації САЗ ВОЛЗ, та світлових променів, які здійснюють передачу інформаційної складової, подано на рис. 13.

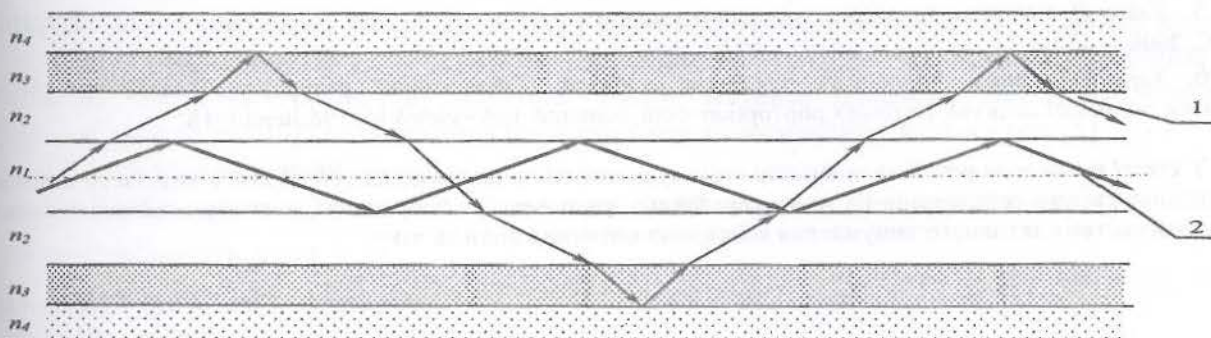


Рис. 13. Траєкторії руху світлових променів:
1 – сигнал зашумлення; 2 – інформаційний сигнал

Висновки та перспективи подальших досліджень. Отже, приведенний у статі аналіз структури ОБ та розрахунок діапазону кутів падіння світлових променів на межу середовищ “серцевина” – “оболонка” ОБ визначається як $\Delta Q_{над} = \Delta Q_{зал} \in [Q_{min}, Q_{max}]$, де Q_{min} та Q_{max} розраховуються відповідно до виразів (7), (8), (17) та (18). Отриманні аналітичні співвідношення підтверджують припущення про технічну можливість реалізації САЗ ВОЛЗ. Доведено, що така можливість існує, не залежно від співвідношення показників заломлення

ОВ: $n_1 > n_2 > n_3 > n_4$ чи $n_1 > n_3 > n_2 > n_4$, відповідно (1) та (2). Відмінність полягає лише в траєкторії поширення сигналів зашумлення, яка обирається залежно від конкретної прикладної задачі захисту ВОЛЗ.

Перспективним напрямком подальших досліджень є визначення робочого частотного діапазону світлових променів, призначених для реалізації САЗ ВОЛЗ.

Список літератури

1. Хорошко В. А. Методи и средства защиты информации / В. А. Хорошко, А. А. Чекатов. – К. : Юниор, 2003. – 478 с.
2. Хорошко В. О. Информационная безопасность Украины. Основные проблемы и перспективы / В. О. Хорошко // Захист інформації. – К. : ДУІКТ, 2008. – №40 (спец. вип.). – С. 6-9.
3. Грищук Р. В. Аналіз каналів витоку інформації, яка передається волоконно-оптичною лінією зв'язку / Р. В. Грищук, С. А. Ходаківський // Захист інформації. – К. : ДУІКТ, 2010. – №3 – С. 60-66.
4. Поповский В. В. Защита информации в телекоммуникационных системах: Учебник / В. В. Поповский, А. В. Персиков. – Харьков : ООО "Компания СМІТ", 2006. – 238 с.
5. Хорев А. А. Способы и средства защиты информации / А. А. Хорев. – М.: МО РФ, 2000. – 316 с.
6. Бузов Г. А. Защита от утечки информации по техническим каналам : учебное пособие / Г. А. Бузов, С. В. Калинин, А. В. Кондратьев. – М. : Горячая линия – Телеком, 2005. – 416 с.
7. Ленков С. В. Методы и средства защиты информации. В 2-х томах / С. В. Ленков, Д. А. Перегудов, В. А. Хорошко. – К. : Арий, 2008. – Том II. Информационная безопасность. – 344 с.
8. Фриман Р. Л. Волоконно-оптические системы связи : 3-е дополненное издание / Р. Л. Фриман. – М. : Техносфера, 2006. – 496 с.
9. Стерлинг Д. Дж. Техническое руководство по волоконной оптике / Д. Дж. Стерлинг [пер. с англ. А. Московченко]. – М. : Издательство "Лори", 1998. – 195 с.
10. Виноградов В. В. Волоконно-оптические линии связи : учебное пособие для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. / В. В. Виноградов, В. К. Котов, В. Н. Нуприк. – М. : ИПК „Желдориздат“, 2002. – 278 с.
11. Шарварко В. Г. Волоконно-оптические линии связи : учебное пособие / В. Г. Шарварко. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2006. – 170 с.
12. Гринфилд Д. Оптические сети / Д. Гринфилд. – К. : ООО "ТИД "ДС", 2002. – 256 с.
13. Скляр О. К. Современные волоконно-оптические системы передачи, аппаратура и элементы / О. К. Скляр. – М. : ООО Изд-во «СОЛОН-Р», 2001. – 237 с.
14. Семенов А. Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС / А. Б. Семенов. – М. : Академия АЙТи ; ДМК Пресс, 2007. – 632 с. + 8 цв. ил.
15. Бейли Д. Волоконная оптика : теория и практика / Д. Бейли, Э. Райт [пер. с англ.]. – М. : КУДИЦ-ПРЕСС, 2008. – 320 с.
16. Характеристики волоконно-оптических кабелей [Электронный ресурс] – Режим доступа : http://www.odeskabel.com/vok-rus/index.php?option=com_content&task=view&id=19&Itemid=18.

У статті приведено результати аналізу структури оптичних волокон, на основі якого визначено діапазон кутів падіння світлових променів на межу середовищ "серцевина" – "оболонка", в якому можливо технічно реалізувати систему активного зашумлення волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Рецензент: д.т.н., проф. Шокало В.М.

Надійшла 01.12.2010

Після доробки 08.12.2010