

*В роботі проведено дослідження модуляції інтенсивності випромінювання в багатомодових полімерних оптичних волокнах при селективному збудженні мод. Розглянуто механізм модуляції інтенсивності випромінювання в багатомодових волокнах з врахуванням явища взаємодії між хвилеводними модами. Експериментально досліджено залежність амплітуди сигналу на виході багатомодового полімерного волокна від амплітуди сигналу модуляції*

*Ключові слова: полімерне волокно, хвилеводна мода, зв'язок між модами, зсув фаз, інтерференція, розподіл інтенсивності випромінювання*

*В работе проведены исследования модуляции интенсивности излучения в многомодовых полимерных оптических волокнах при селективном возбуждении мод. Рассмотрен механизм модуляции интенсивности излучения в многомодовых волокнах с учетом явления взаимодействия между волноводными модами. Экспериментально исследована зависимость амплитуды сигнала на выходе многомодового полимерного волокна от амплитуды сигнала модуляции*

*Ключевые слова: полимерное волокно, волноводная мода, связь между модами, сдвиг фаз, интерференция, распределение интенсивности излучения*

УДК 535.417

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.31520

# ДОСЛІДЖЕННЯ МОДУЛЯЦІЇ ІНТЕНСИВНОСТІ ВИПРОМІНЮВАННЯ В БАГАТОМОДОВОМУ ПОЛІМЕРНОМУ ВОЛОКНІ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМУ ЗБУДЖЕННІ МОД

**В. І. Варищук**  
Аспірант\*

E-mail: vasya.v.v.9@gmail.com

**В. Я. Татарин**

Кандидат технічних наук, доцент\*

E-mail: vasya@lp.edu.ua

**Я. В. Бобицький**

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри\*

E-mail: bobitski@polynet.lviv.ua

\*Кафедра фотоніки

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

## 1. Вступ

При поширенні когерентного випромінювання через багатомодове оптичне волокно на виході з волокна формується так звана «спекл-картина». Така спекл-картина є результатом інтерференції між модами, що поширюються по волокні, і вона є дуже чутливою до різних зовнішніх збурень [1, 2]. При збуреннях багатомодового волокна відбувається модуляція розподілу інтенсивності випромінювання в спекл-картині за рахунок взаємодії між хвилеводними модами і їх фазової модуляції. Якщо перед реєстрацію сигналу на фотоприймачі провести його просторову фільтрацію, то з модульованого сигналу на виході приймача можна отримати інформацію про величину зовнішнього впливу на волокно [3]. У волоконно-оптичних системах зв'язку цей сигнал відомий як модальний шум, який може призвести до недопустимих помилок при передачі сигналів. Однак, хоча таке явище є недоліком в системах зв'язку, воно може бути перевагою при застосуванні в волоконно-оптичних давачах фізичних величин.

На протязі останнього десятиліття було розроблено давачі на основі аналізу спекл-картин на виході багатомодових волокон, зокрема для вимірювання тем-

ператури [4], деформації [5, 6], коливання акустичних хвиль та вібрації [7, 8]. Такі давачі використовують як кварцові так і полімерні оптичні волокна (ПОВ). Однак, більший інтерес представляє використання ПОВ, оскільки вони володіють значними перевагами над кварцовими волокнами при застосуванні в давачах деформації, тиску, механічних коливань та вібрації. На сьогоднішній день перспективним залишається створення на базі явища міжмодової інтерференції систем реєстрації зовнішніх впливів (збурень) в яких не вимагається точного вимірювання величини впливу, а необхідно лише виявлення його присутності. Для систем такого типу важливу роль відіграє простота схеми виявлення та низька вартість.

Дана робота присвячена дослідженню механізмів модуляції інтенсивності неосьових мод в багатомодових полімерних оптичних волокнах для їх застосування в давачах механічних коливань та давачах вібрації.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Використання явища інтерференції між хвилеводними модами у волоконно-оптичних давачах привер-

нуло до себе увагу багатьох вчених, оскільки давачі такого типу дозволяють поєднати простоту схеми давача з високою чутливістю при реєстрації зовнішніх впливів. Через складність інтерференційного сигналу на виході багатомодових волокон виникає потреба в розробці та дослідженні ефективних механізмів модуляції випромінювання у волокні. Вперше, дослідження модуляції випромінювання в багатомодових волокнах було проведено в роботі [9]. Модуляція інтенсивності спекл-картини внаслідок збурень багатомодового волокна базувалась на інтерференції між двома хвилеводними модами. В цій моделі автори припускали, що зовнішнє збурення модулює фазу цих двох мод по різному, в результаті чого на фотоприймачі можна спостерігати сигнал промодульований по амплітуді. Однак, в своїх дослідженнях вони не враховували явище взаємодії мод у волокні, тому такий аналіз важко застосувати для волокон, що здатні поширювати велику кількість мод. Пізніше, було виявлено, що на зміну інтенсивності спекл-картини на виході багатомодового волокна одночасно впливає і фазова модуляція випромінювання і явище зв'язку між модами у волокні [10]. Крім того, при використанні високо когерентних джерел випромінювання, фазова модуляція матиме більший вплив на зміну інтенсивності спекл-картини.

Селективне збудження мод в багатомодовому оптичному волокні розглянуто в роботах [11, 12]. Автори продемонстрували, що взаємодія між модами може також виникати при деформації та тиску на волокно. Для цього у волокно, ділянка якого піддавалось напруженню або стиску, вводили випромінювання під кутом 10° до його осі, отримуючи таким чином на виході випромінювання у вигляді кільця. Дослідження показали, що по мірі збільшення величини прикладеного напруження ширина кільця збільшується в напрямку до центру волокна, за рахунок більшої взаємодії між модами нижчих порядків. Проведені у цих роботах експериментальні дослідження стосуються випадку некогерентного збудження мод у волокні і не дають інформації про селективне збудження мод когерентними джерелами випромінювання.

В роботах [13, 14] розглянуто два механізми модуляції інтенсивності оптичного випромінювання в багатомодових волокнах. Перший механізм викликає відносний приріст фази окремої моди, не залежно від номера моди. Такий механізм модуляції має місце при однорідному нагріві, ізотропному тиску і розтягу оптичного волокна. Другий механізм – з різними відносними приростами фаз для кожної моди враховує явище взаємодії між модами. Така ситуація виникає при згинах волокна, поперечному тиску на волокно та його скручуванні. Проведені дослідження стосуються лише кварцових оптичних волокон і не розглядають випадків селективного збудження мод у волокні.

Таким чином, актуальним залишається дослідження модуляції інтенсивності випромінювання в багатомодових ПОВ при селективному збудженні мод у волокні і врахуванні явища їх взаємодії. Такі дослідження можуть бути корисними при розробці волоконно-оптичних давачів на основі інтерференції між модами на виході багатомодових волокон. Схеми таких пристроїв є доволі простими, оскільки вони складаються лише з багатомодового оптичного волок-

на, джерела випромінювання та фотоприймача, який реєструє частину вихідного випромінювання.

### 3. Мета та задачі дослідження

Метою даної роботи є дослідження модуляції інтенсивності випромінювання в багатомодових полімерних оптичних волокнах, з врахуванням явища взаємодії між модами у волокні.

В роботі було поставлено наступні завдання дослідження:

- аналіз механізму модуляції інтенсивності випромінювання в багатомодовому оптичному волокні при його вібрації з врахуванням явища взаємодії між модами;
- дослідження залежності амплітуди сигналу на виході багатомодового ПОВ від амплітуди сигналу модуляції.

### 4. Аналіз механізму модуляції випромінювання в багатомодовому оптичному волокні

При згинах багатомодового оптичного волокна відбувається зміна розподілу потужності мод, які поширюються у волокні, що є наслідком взаємодії між хвилеводними модами. Зміна потужності  $m$ -ї хвилеводної моди внаслідок явища взаємодії між модами, може бути описана як [10]:

$$\Delta P_m = \sum_{n=1}^N h_{mn} (P_m - P_n), \tag{1}$$

де  $h_{mn}$  – коефіцієнт зв'язку між хвилеводними модами  $m$  та  $n$ ,  $P_m$  – початкова потужність  $m$ -ї моди,  $N$  – загальне число зв'язаних мод. Як відомо, при згинах багатомодового оптичного волокна відбувається модуляція фази мод, яка викликає зміну спекл-картини випромінювання на виході волокна. Припустимо, що багатомодове оптичне волокно довжиною  $L$  зазнає згину між точками  $-L/4$  та  $+L/4$ . Форма будь-якого випадкового згину волокна може бути описана за допомогою функції деформації  $f(z)$ . В нашому випадку будемо розглядати модуляцію інтенсивності випромінювання за допомогою функції деформації виду:

$$f(z) = b \cos\left(\frac{2\pi z}{L}\right) \text{ при } [-L/4 < z < L/4], \tag{2}$$

де  $b$  – висота функції деформації, яка змінюється в часі наступним чином:

$$b(t) = a \sin(\omega_m t), \tag{3}$$

де  $\omega_m$  – частота модуляції,  $a$  – амплітуда сигналу модуляції. Також, будемо вважати, що волокно між точками  $+L/4$  та  $z'$  є не вібруючим і не приводить до сильного зв'язку між модами. Тоді, якщо відома функція деформації волокна  $f(z)$  вздовж ділянки волокна довжиною  $L$ , то коефіцієнт зв'язку між модами  $m$  та  $n$  можна визначити наступним чином:

$$h_{mn} = K_{mn}^2 F_{mn}^2, \tag{4}$$

де  $K_{mn}$  – стала величина, яка визначається параметрами волокна [11], і

$$F_{mn} = \int_0^L f(z) e^{i(\beta_m - \beta_n)z} dz, \quad (5)$$

де  $\beta_m$  та  $\beta_n$  це постійні поширення для мод  $m$  та  $n$  відповідно.

Для даної моделі рівняння (5) можна переписати у вигляді:

$$F_{mn} = \int_{+L/4}^{z'} f_1(z) e^{i(\beta_m - \beta_n)z} dz + \int_{-L/4}^{+L/4} b \cos\left(\frac{2\pi z}{L}\right) e^{i(\beta_m - \beta_n)z} dz, \quad (6)$$

де  $f_1(z)$  представляє собою функцію деформації для ділянки волокна між точками  $+L/4$  та  $z'$ . Перший інтеграл в рівнянні представляє не вібруючу ділянку волокна, тому його значення можна прийняти за постійну величину. Для спрощення рівняння позначимо цей інтеграл символом  $C_{mn}$ . Другий інтеграл у рівнянні (6) можна привести до вигляду:

$$\begin{aligned} & \int_{-L/4}^{+L/4} b \cos\left(\frac{2\pi z}{L}\right) e^{i(\beta_m - \beta_n)z} dz = \\ & = \frac{\frac{4b\pi}{L}}{\left(\left(\frac{2\pi}{L}\right)^2 - (\beta_m - \beta_n)^2\right)} \cos\left(\frac{L(\beta_m - \beta_n)}{4}\right). \end{aligned} \quad (7)$$

Для мод нижчого порядку різниця між постійними поширення сусідніх мод буде більшою, і права частина рівняння (7) матиме мале значення. Таким чином зв'язок між модами нижчих порядків буде незначним. Для мод вищих порядків різниця між постійними поширення є малою, отже:

$$\left(\frac{2\pi}{L}\right)^2 \gg (\beta_m - \beta_n)^2. \quad (8)$$

Таким чином рівняння (6) можна переписати у такому вигляді:

$$F_{mn} = C_{mn} + bLA, \quad (9)$$

де

$$A = \frac{1}{\pi} \cos\left(\frac{L(\beta_m - \beta_n)}{4}\right). \quad (10)$$

Замінивши значення для  $F_{mn}$  в рівнянні (3) отримаємо:

$$h_{mn} = K_{mn}^2 (C_{mn} + bLA)^2. \quad (11)$$

Підставивши значення для висоти функції модуляції  $b$  з рівняння (3) у рівняння (11), і відкинувши постійну складову (не змінну в часі) у рівнянні (10) отримаємо вираз для коефіцієнта зв'язку між модами:

$$h_{mn}(t) = K_{mn}^2 \left( \left( 2C_{mn} aLA \sin(\omega_m t) + \frac{(aLA)^2}{2} \cos(2\omega_m t) \right) \right). \quad (12)$$

Таким чином, зміна потужності  $m$ -ї хвилеводної моди, спричинена згинами волокна при вібрації, буде залежати від довжини волокна  $L$ , та амплітуди коливань волокна при вібрації.

В загальному, на практиці не можливо виміряти потужність окремої моди в багатомодовому оптичному волокні, оскільки в ньому може поширюватись більше тисячі хвилеводних мод. Однак, за допомогою фотоприймача можна виміряти потужність певної групи мод. Тому для опису флуктуації потужності вихідного сигналу внаслідок вібрації волокна рівняння (1) можна переписати в наступному вигляді:

$$\Delta P(t) = \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N h_{jk}(t) (P_j - P_k). \quad (13)$$

В цьому випадку індекс  $j$  позначає моди які реєструються фотоприймачем, а індекс  $k$  моди які фотоприймач не реєструє. Якщо в якості приймача випромінювання використовувати фотодіод, то він реєструватиме всі моди і сигнал міжмодової інтерференції буде відсутній. Тому для виявлення сигналу вібрації необхідно проводити просторову фільтрацію випромінювання на виході волокна.

### 5. Методика експериментальних досліджень модуляції інтенсивності випромінювання багатомодового полімерного волокна

Дослідження модуляції випромінювання багатомодового полімерного оптичного волокна при збудженні в ньому неосьових мод проводилося на установці, зображеній на рис. 1. В якості джерела випромінювання використано діодний лазер HLDPM12-655-25 з довжиною хвилі 655 нм та потужністю 25 мВт. Довжина когерентності лазера перевищує 0.5 м, що дозволяє використовувати його для інтерференційних вимірювань. Випромінювання з лазера 1 направлялось на торець полімерного волокна завдовжки 1м з діаметром серцевини 980 мкм. Вхідний торець волокна закріплювався на поворотному столику 2, який дозволяв плавно змінювати кут вводу лазерного випромінювання у волокно.

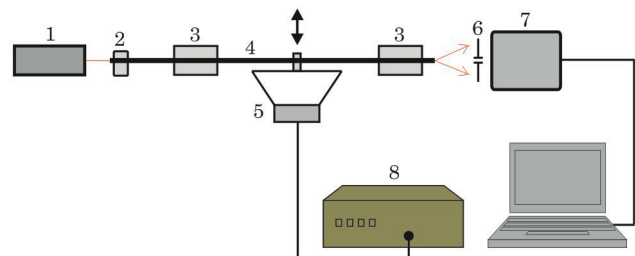


Рис. 1. Схема експериментальної установки: 1 – лазер; 2 – поворотний столик; 3 – тримачі для фіксації та натягу волокна; 4 – полімерне оптичне волокно; 5 – пристрій модуляції; 6 – діафрагма; 7 – фотоприймач; 8 – генератор сигналів

Досліджуване волокно монтувалось на спеціальних тримачах 3, які забезпечували його фіксацію і натяг, поглинаючи при цьому велику частину шумових вібрацій. В якості модулятора було використано звуковий динамік 4, з прикріпленням до дифузора оптичним волокном, який створював вібрацію ділянки волокна. Під'єднаний до динаміка генератор низькочастотних сигналів ГЗ-118 дозволяв подавати на нього сигнали з різною частотою та амплітудою. Випромінювання на виході з волокна направлялось на чутливий елемент фотоприймача 5, перед яким було встановлено діафрагму. Сигнали з фотоприймача і генератора подавались на ПК з програмним забезпеченням SpectraLab яке використовувалось для аналізу спектра сигналу.

Для збудження неосьових мод випромінювання лазера вводилось під різними кутами до осі волокна. Таким чином на екрані спостерігалась інтерференційна спекл-картина у вигляді кільця (рис. 2).

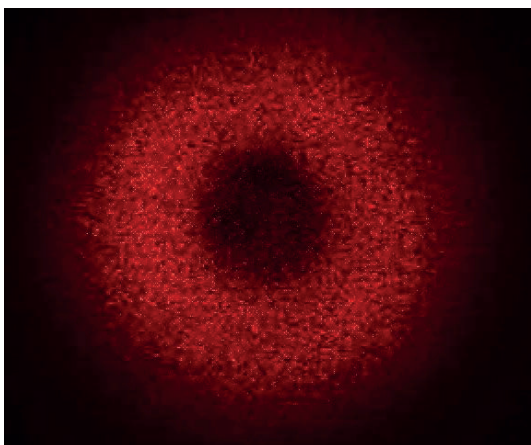


Рис. 2. Зображення спекл-картини випромінювання на виході багатомодового ПОВ при збудженні неосьових мод

Радіус такого кільця повністю визначається кутом під яким випромінювання вводиться у волокно, а його ширина визначається кутовою шириною сфокусованого на вході пучка. По мірі збільшення кута вводу випромінювання у волокно радіус кільця збільшується. Оскільки, властивості функції розподілу мод у спекл-картині є такими, що зміна фази мод (зміна спекл-картини) не змінює інтегральну потужність випромінювання, яку реєструє фотоприймач, то для виділення інтерференційних коливань інтенсивності необхідно діафрагмувати частину вихідного випромінювання. Для цього перед фотоприймачем встановлюється точкова діафрагма, яка розміщується відносно приймача так, щоб амплітуда сигналу на виході з приймача була максимальною. Амплітуда вихідного сигналу контролювалась на моніторі ПК з використанням програми SpectraLAB.

**6. Результати досліджень модуляції інтенсивності випромінювання в багатомодовому полімерному волокні**

Модуляція інтенсивності випромінювання при збудженні неосьових мод в ПОВ здійснювалась гар-

монічним сигналом з амплітудою модуляції близько 1 мм при частоті 30 Гц. Частотний спектр вихідного сигналу отриманий з використанням діодного лазера в якості джерела випромінювання представлено на рис. 3.

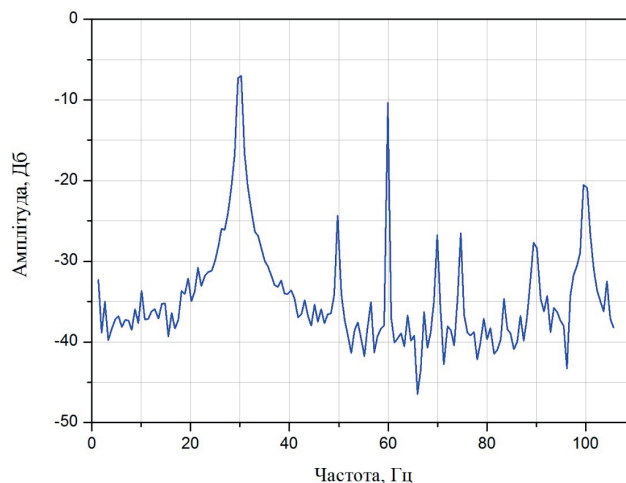


Рис. 3. Частотний спектр сигналу на виході багатомодового ПОВ при збудженні в ньому неосьових мод з частотою 30 Гц з використання діодного лазера

У відповідності до теорії зв'язаних мод, спектр вихідного сигналу містить як основну частоту вібрації, так і декілька гармонік основної частоти. Амплітуда сигналу на основній частоті вібрації рівна 33 Дб і практично відповідає амплітуді сигналу першої гармоніки, яка складає 30 Дб. Пік на частоті коливань 100 Гц відповідає паразитній модуляції вихідного сигналу з подвійною частотою струму в мережі електроживлення.

Після цього було проведено аналогічне дослідження з використанням He-Ne лазера, який має більшу довжину когерентності у порівнянні з діодним лазером. Спектр сигналу, отриманий при частоті модуляції 30 Гц представлено на рис. 4.

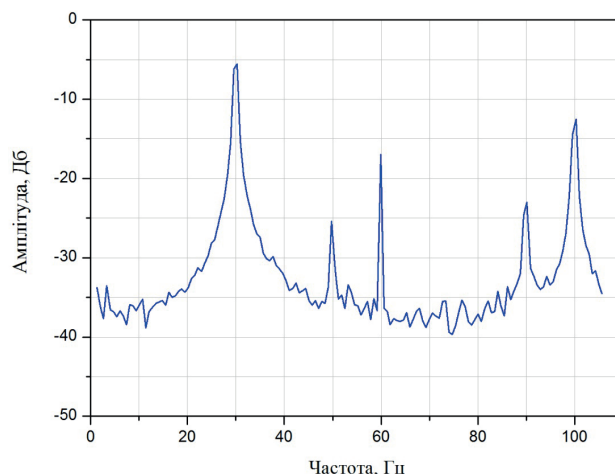


Рис. 4. Частотний спектр сигналу на виході багатомодового ПОВ при збудженні в ньому неосьових мод з частотою 30 Гц. В якості джерела випромінювання використано He-Ne лазер



Амплітуда сигналу на основній частоті вібрації складає 35 Дб і є більшою за амплітуди сигналів першої та другої гармонік на 13 Дб та 18 Дб відповідно, що дозволяє чітко ідентифікувати частоту сигналу, спричинену вібрацією волокна. При використанні He-Ne лазера, амплітуда сигналу на основній частоті вібрації є значно більшою від амплітуди сигналу на частоті другої гармоніки, на відміну від використання діодного лазера. Це можна пояснити тим, що при використанні джерела випромінювання з більшою довжиною когерентності зміна вихідного сигналу в більшій мірі відбувається за рахунок модуляції фази випромінювання.

Вимірювання залежності амплітуди вихідного сигналу від амплітуди модуляції проводилось при фіксованому значенні частоти сигналу модуляції ( $\omega_m=30$  Гц). При зміні амплітуди модуляції, на екрані ПК фіксувалась зміна вихідного сигналу. Таким чином, було проведено серію вимірювань при зміні амплітуди сигналу модуляції від 0 до 15 мВ. Графічна залежність амплітуди вихідного сигналу при зміні амплітуди модуляції в заданому діапазоні представлено на рис. 5.

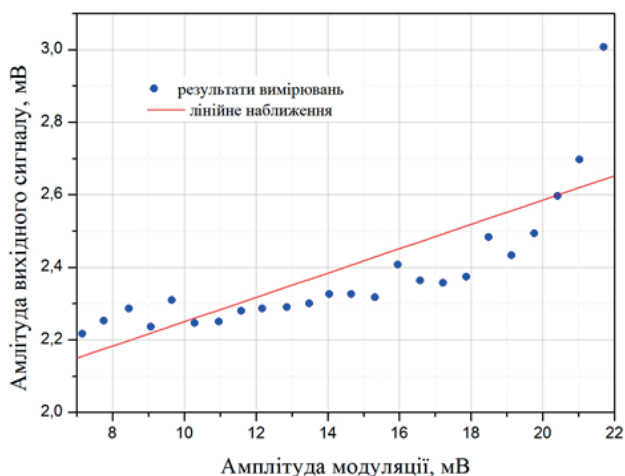


Рис. 5. Зміна амплітуди вихідного сигналу при зміні амплітуди модуляції в діапазоні 0–15 мВ. Частота сигналу модуляції становила 30 Гц

З представлених результатів видно, що амплітуда сигналу на виході багатомодового ПОВ буде лінійно зростати, по мірі збільшення амплітуди сигналу модуляції. При зміні амплітуди сигналу модуляції на 15 мВ амплітуда вихідного сигналу змінюється приблизно на 1 мВ. Середньоквадратичне відхилен-

ня при наближенні результатів вимірювання склало 0.03239. На результати вимірювання може впливати той факт, що амплітуда сигналу на виході багатомодового волокна залежить від багатьох параметрів, зокрема від постійних поширення хвильоводних мод, додаткових зсувів фази мод внаслідок їх взаємодії викликаної внутрішніми неоднорідностями волокна, а також від неконтрольованих зовнішніх впливів на волокно.

## 7. Висновки

Протягом останніх років спостерігається зростання інтересу до використання ПОВ в якості чутливих елементів для давачів фізичних величин. Використання багатомодових ПОВ в таких давачах потребує розробки та дослідження ефективних механізмів модуляції випромінювання у волокні. В роботі проведено дослідження модуляції інтенсивності випромінювання в багатомодових ПОВ при збудженні неосьових мод у волокні. Аналіз процесів модуляції інтенсивності випромінювання з врахуванням явища взаємодії між модами показав, що зміна інтенсивності мод при їх взаємодії внаслідок згинів волокна викликаних вібрацією буде залежати від довжини волокна та від амплітуди коливань волокна при вібрації. Амплітуда сигналу на виході волокна залежить від джерела випромінювання, і є більшою при використанні високо когерентних джерел випромінювання. Використання джерел з малою довжиною когерентності призводить до росту амплітуди сигналу на частотах першої і другої гармонік і додаткових шумів через збільшення зв'язку між модами.

Проведене вимірювання амплітуди сигналу на виході волокна при зміні амплітуди модуляції показало, що амплітуда сигналу на виході багатомодового ПОВ буде лінійно зростати, по мірі збільшення амплітуди сигналу модуляції. Амплітуда вихідного сигналу сильно залежить від впливів на волокно, які приводять до додаткового зсуву фаз між хвильоводними модами. Отримані результати досліджень демонструють доцільність використання багатомодових ПОВ в якості чутливих елементів для схем волоконно-оптичних давачів інтерференційного типу.

Розглянутий механізм модуляції інтенсивності випромінювання в багатомодових ПОВ та отримані результати досліджень можуть бути ефективно використані при конструюванні волоконно-оптичних давачів частоти вібрації та давачів механічних коливань.

## Література

1. Goodman, J. W. Speckle Phenomena in Optics: Theory and Applications [Text] / J. W. Goodman. – Roberts&Co, 2007. – 395 p.
2. Бусурин, В. И. Волоконно-оптические датчики: физические основы, вопросы расчета и применения [Текст] / В. И. Бусурин, Ю. Р. Носов. – М.: Энергоатомизд, 1990. – 256 с.
3. Лиокумович, Л. Б. Волоконно-оптические интерферометрические измерения. Часть 1. Волоконно-оптические интерферометры [Текст] / Л. Б. Лиокумович. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 110 с.
4. Gupta, B. Qualifying fibre optic temperature sensor using speckle metrology [Text] / B. Gupta, H. N. Bhargaw, H. K. Sardana // International Journal of Information Technology & Knowledge Management. – 2008. – Vol. 1. – P. 337–350.
5. Chang, X. Recent development and applications of polymer optical fiber sensors for strain measurement [Text] / X. Chang, M. Li, X. Han // Frontiers of Optoelectronics in China. – 2009. – Vol. 2, Issue 4. – P. 362–367. doi: 10.1007/s12200-009-0057-1

6. Varyshchuk, V. Using a multimode polymer optical fiber as a high sensitivity strain sensor [Text] / V. Varyshchuk, Y. Bobitski, H. Poisel // Proc. of the 21st International Conference Mixed Design of Integrated Circuits & Systems, Lublin, Poland, 2014. doi: 10.1109/mixdes.2014.6872242
7. Lujo, I. Fiber-Optic Vibration Sensor Based on Multimode Fiber [Text] / I. Lujo, P. Klokoc, T. Komljenovic, Z. Sipus // Radioengineering. – 2008. – Vol. 17, Issue 2. – P. 93–97.
8. Rodriguez-Cobo, L. POF vibration sensor based on speckle pattern changes [Text] / L. Rodriguez-Cobo, M. Lomer, C. Galindez, J. M. Lopez-Higuera // Proc. SPIE 8421, 22nd International Conference on Optical Fiber Sensors, Beijing, China, 2012. – P. 4. doi: 10.1117/12.970625
9. Kingsley, S. A. Multimode optical fiber phase modulation and discrimination [Text] / S. A. Kingsley, D. E. N. Davies // Electron. Lett. – 1978. – Vol. 14. – P. 322–325.
10. Kajenski, P. J. Mode coupling and phase modulation in vibrating waveguides [Text] / P. J. Kajenski, P. L. Fuhr, D. R. Huston // Journal of Lightwave Technology. – 1992. – Vol. 10, Issue 9. – P. 1297–1301. doi: 10.1109/50.156882
11. El-Sherif, M. A. Optical response of sapphire multimode optical sensor for ceramic composite applications [Text] / M. A. El-Sherif, S. Hu, J. Radhakrishnan, F. K. Ko, D. J. Roth, B. Lerch // Proc. SPIE, 2072, Fiber Optic Physical Sensors in Manufacturing and Transportation, 244, Boston, 1993.
12. Radhakrishnan, J. Analysis on Spatial Intensity Modulation for Fiber-optic Sensor Applications [Text] / J. Radhakrishnan, M. A. El-Sherif // Optical Fiber Technology. – 1996. – Vol. 2, Issue 1. – P. 114–126. doi: 10.1006/ofte.1996.0013
13. Kotov, O. I. Registration of influence on optical fiber by mode-mode interference [Text] / O. I. Kotov, L. B. Liokumovich, S. I. Markov // Proc. of SPIE 5381, Lasers for Measurements and Information Transfer, Bellingham, February 19, 2004.
14. Kosareva, L. I. Two mechanisms of phase modulation in multimode fiber-optic interferometers [Text] / L. I. Kosareva, O. I. Kotov, L. B. Liokumovich, S. I. Markov, A. V. Medvedev, V. M. Nikolaev // Technical Physics Letters. – 2000. – Vol. 26, Issue 1. – P. 70–74. doi: 10.1134/1.1262745

*В даній роботі проведено аналіз основних параметрів безпроводного каналу передачі для мереж стандарту 802.11 Wi-Fi. Для цього, було запропоновано структуру каналу, яка враховує всі види завад, що мають суттєвий вплив на рівень потужності прийнятого сигналу на вході приймача. Крім цього, на основі аналізу параметрів середовища та каналу передачі, було отримано вираз для оцінки потужності сигналу на початку приймального тракту*

*Ключові слова: передача інформації, безпроводний канал, середовище передачі, завади, шуми, чутливість*

*В данной работе проведен анализ основных параметров для беспроводного канала передачи сетей стандарта 802.11 Wi-Fi. Для этого была предложена структура канала, учитывающая все виды помех, которые имеют существенное влияние на уровень мощности принимаемого сигнала на входе приемника. Кроме того, на основании анализа параметров среды и канала передачи, было получено уравнение для оценки мощности сигнала в начале приемного тракта*

*Ключевые слова: передача информации, беспроводной канал, среда передачи, помехи, шуми, чувствительность*

УДК 621.391.8

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.31666

## ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ БЕЗПРОВІДНОГО КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ СТАНДАРТУ 802.11 WI-FI

**Д. В. Михалевський**

Кандидат технічних наук, старший викладач

Кафедра телекомунікаційних систем і телебачення

Вінницький національний технічний університет

Хмельницьке шосе, 95,

м. Вінниця, Україна, 21021

E-mail: adotq@ukr.net

### 1. Вступ

На даний час спостерігається значне впровадження та розгортання безпроводних мереж, як в Україні, так і світі. В першу чергу, цьому сприяє широка доступність та простота використання локальних безпроводних мереж для отримання доступу до інфокомунікаційних

послуг високої якості та стрімкий розвиток концепції інтернету речей.

Саме стрімке збільшення кількості таких мереж, приводить до виникнення ряду негативних факторів, які можуть суттєво погіршити передавальні характеристики безпроводних каналів передачі. Це, в свою чергу, забезпечує появу затримок та помилок під час