

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Варищука Василя Ігоровича

на тему: **“Інтерферометр на полімерному оптичному волокні як перетворювач для вимірювання механічних величин”**,

що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.01 – прилади та методи вимірювання механічних величин

Актуальність теми дисертації.

У промисловості та наукових лабораторіях широко використовуються волоконно-оптичні перетворювачі фізичних величин, які мають ряд переваг порівняно з іншими вимірювальними перетворювачами подібного призначення, зокрема, високу надійність, малі масогабаритні параметри та нечутливість до електромагнітних завад. Залежно від поставленого завдання, забезпечення необхідних параметрів, таких як величина похибки, чутливість і діапазон вимірювань, необхідно вибрати схему вимірювального перетворювача та, відповідно, схему модуляції та обробки вихідного сигналу. За переважної більшості для волоконно-оптичних перетворювачів використовують одномодові оптичні волокна, які мають високі технічні характеристики. Використання багатомодових волокон обмежене більшим загасанням, міжмодовою інтерференцією та складністю розшифрування вихідних сигналів. Проте, протягом останніх років поступово зростає інтерес до використання багатомодових полімерних оптичних волокон як чутливих елементів вимірювальних перетворювачів. Це пов'язано з тим, що полімерні волокна мають суттєві перевагами над кварцовими за їх використання у волоконно-оптичних давачах: меншу густину, більшу границю текучості та механічну міцність, високу еластичність під час деформування та згинання. Багатомодові волокна пропускають велику кількість мод, що поширюються з різними фазовими швидкостями, оскільки проходять різні відстані вздовж волокна. За достатньої когерентності джерела випромінювання в розподілі інтенсивності на вихідному торці волокна спостерігаються інтерференційні ефекти за рахунок інтерференційної взаємодії мод. Така інтерференційна картина, яка формується на виході багатомодового оптичного волокна за його освітлення когерентним випромінюванням, має назву спекл-структури та є унікальним інформаційним масивом щодо поширення когерентних мод у волокні. Використання цього явища у волоконно-оптичних

перетворювачах стримується складність розшифрування інтерференційної картини на виході. Вирішити цю задачу можна шляхом використання кореляційних методів аналізу спекл-структур, і таким чином удосконалити створення волоконно-оптичних вимірювальних перетворювачів інтерференційного типу на основі багатомодових волокон. Отже, актуальною є розробка та застосування нових інтерферометричних засобів вимірювання параметрів механічних величин на основі явища міжмодової взаємодії в полімерних оптичних волокнах.

Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків.

В роботі розвинуто науковий підхід щодо вирішення наукової задачі теоретичного обґрунтування та імплементації нових інтерферометричних методів та вимірювальних перетворювачів, які базуються на явищі когерентної взаємодії між модами в полімерному оптичному волокні. Обґрунтованість отриманих результатів підтверджується теоретичними розрахунками і результатами експериментальних досліджень. Для обробки результатів вимірювань застосовуються методи статистичної обробки даних та їх регресійного аналізу. Отримані результати мають чіткий та зрозумілий фізичний зміст.

Сформульовані в роботі наукові положення, висновки та рекомендації ґрунтуються на результатах дослідження фізичних процесів, що відбуваються під час інтерференції мод у полімерних волокнах, є новими і в достатній мірі обґрунтованими.

Достовірність результатів дисертаційної роботи.

Дисертація Варищука В.І. має логічну структуру та зміст. Задачі досліджень, методи їх вирішення, наукові положення дисертаційної роботи, висновки і рекомендації чітко та послідовно сформульовані. Достовірність результатів досліджень забезпечується правильністю постановки задачі, коректністю використаних методів і підходів під час доведення основних наукових положень і результатів, та ґрунтується на теоретичних положеннях теорії вимірювань, також методах обчислювальної техніки та аналізу результатів експерименту. Сучасне програмне забезпечення використано для реєстрації експериментальних даних, обробки, аналізу та візуалізації результатів вимірювань. Висновки до розділів і загальні висновки роботи в цілому відповідають отриманим науковим і практичним результатам.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана відповідно до основних напрямів наукових досліджень кафедри фотоніки Національного університету "Львівська політехніка". Дослідження проводились в рамках виконання держбюджетних та госпдоговірних тем: «Розроблення методологічних засад технічного діагностування характеристик матеріалів та елементів конструкцій методами голографічної цифрової інтерферометрії» (Г/д № 0471), «Розроблення методологічних засад технічного діагностування матеріалів та елементів конструкцій з допомогою волоконно оптичних інтерферометрів» (Г/д № 0505), «Архітектоніка мікро- та наноструктур в умовах оптичної дифракції та плазмонного резонансу для потреб сучасної фотоніки» (державний реєстраційний номер 0115U000427).

Аналіз публікацій за темою дисертації.

За результатами дисертаційної роботи опубліковано 17 наукових праць (з яких 2 входять до наукометричних баз даних Scopus та Web of Science), зокрема 6 статей у фахових виданнях, 11 публікацій в збірниках науково-технічних конференцій. В опублікованих працях з достатньою повнотою викладені матеріали усіх розділів дисертаційної роботи, а сама робота пройшла апробацію на міжнародних науково-технічних конференціях. В авторефераті стисло викладена сутність усіх розділів дисертаційної роботи. Його зміст дає можливість простежити за ходом досліджень, встановити суть використаних методів та значення отриманих результатів.

Наукова новизна дисертаційної роботи.

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи полягає у наступному:

- вперше проведено теоретичне узагальнення особливостей опрацювання інформативного сигналу інтерферометра, отриманого внаслідок міжмодової інтерференції світлових хвиль у полімерному оптичному волокні, що дало можливість сформулювати вимоги до реєстрації спекл-картини випромінювання на виході оптичного волокна;

- вперше одержано аналітичну залежність зміни додаткової різниці фаз між модами світлової хвилі на виході відрізка багатомодового полімерного волокна від його поздовжньої деформації, що дає змогу визначити оптимальні конструктивні параметри вимірювального перетворювача з волоконним чутливим елементом;

- вперше отримано залежність між значенням коефіцієнта кореляції опорного та поточного спекл-сигналів і видовженням полімерного оптичного волокна при його деформації, що дало можливість виділити діапазон значень видовження, де залежність є однозначною та близькою до лінійної;

- розроблено новий метод вимірювання поздовжньої деформації елементів конструкцій, який базується на залежності коефіцієнта кореляції розподілів інтенсивності опорного та поточного спекл-зображень від видовження багатомодового полімерного волокна;

- набув подальшого розвитку метод формування інформативної частини спекл-картини за рахунок модуляції інтенсивності випромінювання при збудженні мод вищих порядків у багатомодових полімерних волокнах, що дає можливість реалізувати прості схеми вимірювання інтенсивності спекл-сигналу за допомогою фотоелемента.

Практичне значення одержаних результатів

Практична цінність результатів дисертаційної роботи:

- сформовані в дисертації рекомендації щодо особливостей реєстрації спекл-структур на виході багатомодових оптичних волокон із застосуванням цифрових матричних сенсорів дають можливість проводити пряме кореляційне порівняння зареєстрованих спекл-зображень;

- на основі розробленого методу вимірювання поздовжньої деформації запропоновано схему волоконно-оптичного вимірювального перетворювача деформації, що може бути використана для вимірювання параметрів деформації технічних об'єктів та елементів інженерних конструкцій;

- розроблено експериментальну установку для дослідження деформації елементів будівельних конструкцій та застосовано розроблений волоконно-оптичний вимірювальний перетворювач деформації для дослідження видовження бетонних балок;

- результати дослідження модуляції інтенсивності випромінювання при збудженні мод вищих порядків в багатомодових полімерних волокнах застосовано для побудови структурних і функціональних схем волоконно-оптичних вимірювальних перетворювачів частоти механічних коливань та вібрації;

- запропоновано та експериментально досліджено схему вимірювального перетворювача частоти вібрації та механічних коливань на

основі багатомодового полімерного оптичного волокна за збудження в ньому мод вищих порядків.

Результати дисертації використано при виконанні науково-дослідних робіт та у навчальному процесі кафедри фотоніки Національного університету «Львівська політехніка», що підтверджено відповідними актами впровадження.

Оцінка змісту дисертації.

Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 85 найменувань та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 150 сторінок, у тому числі основний текст дисертації складає 114 сторінок, містить 69 рисунків та 1 таблицю.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи. Наведені відомості про її зв'язок з напрямом наукових досліджень кафедри фотоніки Національного університету «Львівська політехніка». Сформульовано мету роботи, визначено об'єкт, предмет і задачі досліджень, наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів. Показано особистий внесок здобувача, відомості про публікацію та апробацію результатів роботи.

У *першому* розділі наведено огляд та аналіз особливостей конфігурації схем волоконно-оптичних інтерферометрів та основних областей їх застосування. Проведено аналіз сучасних методів і засобів реєстрації, обробки та інтерпретації сигналів волоконно-оптичних інтерферометрів при їх використанні в схемах давачів та вимірювальних перетворювачів механічних величин. Доведено, що полімерні оптичні волокна за своїми механічними та експлуатаційними характеристиками придатні для використання в якості чутливих елементів вимірювальних перетворювачів інтерференційного типу, принцип дії яких ґрунтується на аналізі спекл-структури випромінювання, яка утворюється внаслідок міжмодової інтерференції у волокні.

У *другому* розділі розглянуто основні фізичні властивості спекл-структур, які формуються на виході багатомодових оптичних волокон внаслідок міжмодової взаємодії. Встановлено, що характер зміни спекл-структури під час поздовжньої деформації волокна вимагає використання методів прямого кореляційного порівняння початкової-опорної та поточної спекл-структури. Розглянуто питання, пов'язані з цифровою реєстрацією та опрацюванням спекл-структур за використання сучасних приладів з

твердотільними матричними фотосенсорами на основі ПЗЗ та КМОН структур.

У *третьому* розділі представлено розроблені структурні та функціональні схеми вимірювальних перетворювачів на базі багатомодового полімерного оптичного волокна для вимірювання параметрів механічних величин, які працюють на явищі міжмодової інтерференції. Проведено експериментальне дослідження запропонованих методик для вимірювання та інтерпретації інформативного сигналу інтерферометра на полімерному оптичному волокні.

У *четвертому* розділі експериментально підтверджена можливість застосування розробленого методу опрацювання спекл-інтерферограм на виході інтерферометра на полімерному оптичному волокні для вимірювання механічних величин у вказаних прикладних задачах.

В кінці роботи наведено загальні висновки, список першоджерел, на які є посилання в роботі, та додатки. Зміст дисертаційної роботи, стиль та мова викладення, а також якість тексту та ілюстрацій відповідають вимогам МОН України до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Зауваження щодо змісту дисертації та автореферату.

1. На рисунках 1-го розділу дисертації (рис. 1.2 та 1.3 – ст. 26; рис. 1.4– ст. 28; рис. 1.5 – ст. 29; рис. 1.8 – ст. 31) фігурують скорочення ОР, які не розшифровані в тексті, що ускладнює розуміння їх змісту.

2. В тексті дисертації та автореферату автор вживає терміни «спекл-картина», «спекл-зображення» та « спекл-інтерферограма», не пояснюючи різниці між ними, а також, чи різняться способи їх обробки та аналізу.

3. На рис 4.4 – ст. 112 та рис 4.6 – ст. 115 виміряна деформація та її приріст подані у мікрометрах, хоча вони є безрозмірною величиною, або наводиться у відсотках.

Вказані зауваження суттєво не знижують загальної позитивної оцінки роботи.

Загальний висновок.

Дисертація **Варищука Василя Ігоровича “Інтерферометр на полімерному оптичному волокні як перетворювач для вимірювання механічних величин”**, що представлена на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.01 – прилади та методи вимірювання механічних величин, є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати в області розробки методів, засобів та їх технічної реалізації для вимірювання параметрів механічних величин за використання волоконно-оптичних вимірювальних перетворювачів.

Робота відповідає вимогам паспорту вказаної спеціальності, а також чинним вимогам до кандидатських дисертацій, а здобувач заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.01 – прилади та методи вимірювання механічних величин.

Офіційний опонент:

завідувач відділу теорії хвильових процесів та оптичних систем діагностики
Фізико-механічного інституту
ім. Г.В. Карпенка НАН України,
д. т. н., старший науковий співробітник



Т.І. Вороняк

Підпис Вороняка Т.І. засвідчую:

Вчений секретар

Фізико-механічного інституту
ім. Г.В. Карпенка НАН України,
к. т. н., старший науковий співробітник



В. В. Корній