

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора Подчашинського Ю.О.

на дисертаційну роботу Варищука Василя Ігоровича

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

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

Актуальність теми дисертації та її зв'язок із державними науковими програмами. Волоконна когерентна інтерферометрія в даний час є добре розробленою методикою для детектування різних фізичних величин та широко застосовується в багатьох областях науки і техніки. Зокрема, волоконно-оптичні вимірювальні перетворювачі переміщення, деформації та вібрації відносяться до найбільш прогресивних технологій сучасного приладобудування. Використання волоконно-оптичних елементів у вимірювальній техніці дозволяє досягти високих показників точності вимірювань та ефективних масо-габаритних показників вимірювальних приладів. Особливий інтерес викликають вимірювальні пристрої, виконані на основі волоконно-оптичних інтерферометрів та напівпровідникових оптоелектронних елементів (лазерних випромінювачів, волоконних підсилювачів та фотоприймачів). Вимірювальні давачі та перетворювачі такого типу володіють багатьма перевагами, у тому числі, стійкістю до впливу зовнішніх електромагнітних полів, компактністю, низькими оптичними втратами та високою чутливістю.

Більшість реалізованих вимірювальних пристроїв працюють на одномодових оптичних волокнах, які забезпечують високі технічні характеристики. Використання багатомодових оптичних волокон часто

викликає серйозні труднощі пов'язані із складністю обробки сигналів інтерферометрів на багатомодовому волокні, які формують спекл-структури на виході волокна в результаті когерентного накладання великої кількості мод. Однак, застосування багатомодових волокон в схемах інтерферометрів є вельми привабливим з технічної та економічної точок зору, оскільки істотно знижує вимоги до елементної бази і, отже, спрощує конструкції вимірювальних пристроїв в цілому. У цьому контексті актуальною є дисертаційна робота В.І. Варищука, яка присвячена розробленню нових інтерферометричних методів та пристроїв які базуються на явищі інтерференції між модами в полімерному оптичному волокні. Робота виконана відповідно до основних напрямів наукових досліджень кафедри фотоніки Національного університету "Львівська політехніка", частина результатів яких увійшла до звітів по госпдоговірних та держбюджетних темах.

Оцінка структури та змісту дисертації.

Дисертаційна робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, двох додатків і викладена на 114 сторінках основного тексту, містить 69 ілюстрацію та 1 таблицю. Перелік використаних літературних джерел включає 85 найменувань.

Дисертаційна робота В.І. Варищука виконана на належному науковому рівні. Аналіз цієї роботи показав, що мета, об'єкт, предмет та задачі дослідження автором визначено аргументовано. Структура дисертації є чіткою і логічною, містить вступ, чотири основних розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. Зміст дисертації, мова та стиль викладення, а також якість ілюстративного матеріалу відповідають встановленим вимогам до дисертаційних робіт.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі досліджень, визначено наукову новизну та практичне значення

отриманих результатів, наведено відомості про їхню апробацію та особистий внесок автора.

У першому розділі проведено порівняльний аналіз існуючих схем волоконно-оптичних інтерферометрів та областей їх застосування. Розглянуто існуючі методи для обробки сигналів волоконно-оптичних інтерферометрів при їх використанні в схемах давачів та вимірювальних перетворювачів механічних величин. Обґрунтовано доцільність використання полімерних оптичних волокон в якості чутливих елементів для вимірювальних перетворювачів інтерференційного типу, принцип дії яких ґрунтується на аналізі спекл-структури випромінювання, яка утворюється внаслідок міжмодової інтерференції у волокні. Відтак, на підставі проведеного аналізу сформульовано завдання та напрямки наукових досліджень, що спрямовані на розроблення і застосування нових інтерферометричних методів вимірювання параметрів деформації та вібраційних характеристик інженерно-технічних об'єктів на основі явища інтерференції між модами в багатомодових полімерних оптичних волокнах.

У другому розділі представлено та проаналізовано основні фізичні властивості спекл-структур, які формуються на виході багатомодових оптичних волокон внаслідок міжмодової інтерференції. Встановлено, що характер зміни спекл-структури при деформації волокна вимагає використання методів прямого кореляційного порівняння опорного та поточного спекл-зображення. Розглянуто питання, пов'язані з цифровою реєстрацією та опрацюванням спекл-структур для їх використання в якості інформативного параметра для волоконно-оптичних перетворювачів механічних величин. Представлено методику для вимірювання зміни деформаційного стану оптичного волокна, яка ґрунтується на обчисленні коефіцієнта кореляції між матрицями інтенсивностей послідовно зареєстрованих спекл-зображень.

У *третьому* розділі розроблено та досліджено нові методи для вимірювання та інтерпретації інформативного сигналу інтерферометра на полімерному оптичному волокні. Представлено структурні та функціональні схеми вимірювальних перетворювачів на базі багатомодового полімерного оптичного волокна для вимірювання поздовжньої деформації та вібрації, які працюють на основі явищ міжмодової інтерференції. Наведено результати дослідження механізму модуляції інтенсивності випромінювання в багатомодовому полімерному волокні при селективному збудженні мод для підвищення ефективності перетворення модуляції фази в модуляцію інтенсивності випромінювання на виході волокна.

Четвертий розділ присвячений питанням практичного застосування розробленого методу вимірювання деформації та удосконаленого методу вимірювання частоти механічних коливань для вимірювання характеристик елементів конструкцій. Показано, що запропоновані методи опрацювання сигналів інтерферометра на багатомодовому волокні можуть бути використані для побудови волоконних перетворювачів та давачів для контролю деформаційного стану конструктивних елементів та матеріалів.

У *додатках* містяться акти впровадження результатів досліджень та наведено список публікацій здобувача за темою дисертації з відомостями про апробацію результатів дисертації.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, та їх достовірність. Наукові положення, винесені на захист, обґрунтовані та доведені на належному науковому рівні. Мета, постановка задачі, методологія і інструментарій проведення дисертаційного дослідження, а також наведені в роботі висновки є логічними та віддзеркалюють отримані автором наукові результати.

Достовірність отриманих теоретичних і практичних результатів, а також запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій ґрунтується на кваліфікованому та логічно правильному підході до постановки задачі досліджень. Важливо відзначити практичну реалізацію розроблених алгоритмів опрацювання інтерферометричних даних за допомогою сучасних прикладних спеціалізованих програмних пакетів.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у тому, що:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

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

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що отримані автором результати досліджень дозволяють сформулювати вимоги до засобів реєстрації спекл-структур на виході багатомодових оптичних волокон на базі цифрових матричних сенсорів. Це забезпечує кореляційне порівняння зареєстрованих спекл-зображень та вимірювання і контроль параметрів деформації волокна. Розроблений та запропонований для практичного використання метод опрацювання сигналів інтерферометра на полімерному оптичному волокні, який базується на прямому кореляційному порівнянні розподілів інтенсивності опорного та поточного спекл-зображень, дає можливість створення вимірювальних перетворювачів на основі полімерних оптичних волокон, які можуть бути використані для контролю параметрів деформації технічних об'єктів та елементів інженерних конструкцій. Розроблений метод вимірювання частоти вібрації і механічних коливань та результати дослідження механізму модуляції інтенсивності випромінювання в багатомодових полімерних оптичних волокнах можуть бути використані для виготовлення волоконно-оптичних давачів та перетворювачів частоти механічних коливань та вібрації. Отримані результати використані для створення макетів волоконно-оптичних вимірювальних перетворювачів деформації та вібрації. Отримані результати також впроваджено в навчальний процес Національного університету "Львівська політехніка".

Повнота викладення наукових і прикладних результатів дисертації в опублікованих роботах. Основні наукові положення і результати дисертаційних досліджень в достатній мірі викладені у 6

статтях фахових журналів, зокрема 3 в закордонних науково-технічних виданнях, а також оприлюднені на 11 науково-технічних конференціях. Автореферат в повній мірі відображає зміст дисертаційної роботи.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи:

1. У висновках до розділу 2 (пункт 1) не конкретизовано, які саме властивості спекл-структур, сформованих на виході багатомодових оптичних волокон, було описано в даному розділі.

2. В роботі не розглянуто вплив температури навколишнього середовища на стабільність характеристик вимірювальних перетворювачів та відповідну цьому впливу додаткову похибку вимірювання поздовжньої деформації та частоти вібрації волокна.

3. В третьому розділі роботи відзначається вплив конструктивних параметрів установки для визначення деформованого стану волокна на результати вимірювань. В тому числі – це роздільна здатність ПЗЗ матриці. Вважаю, що цей момент потрібно було більш детально дослідити, так як вплив частоти дискретизації цифрового зображення може суттєво спотворювати кореляційну картину спекл-зображень.

4. Основні результати експериментальних досліджень, калібрування та вимірювання механічних деформацій в розділах 3 та 4 наведено у вигляді лінійних залежностей. Було б цікавим, на мій погляд, також оцінити нелінійні режими роботи та перетворення фізичних величин, що є притаманними досліджуваним перетворювачам.

Загальний висновок. Дисертаційна робота Варищука Василя Ігоровича “Інтерферометр на полімерному оптичному волокні як перетворювач для вимірювання механічних величин” є цілісною і завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати в області волоконно-оптичних інформаційно-вимірювальних систем, які в сукупності забезпечують розв'язання актуальної наукової

задачі – розроблення методів опрацювання сигналів інтерферометрів на основі багатомодових полімерних оптичних волокон для вимірювання параметрів механічних величин.

Зміст роботи свідчить про належний науковий рівень і кваліфікацію автора, його наукову зрілість та самостійність. Зазначені недоліки і зауваження не є принциповими та не змінюють загальної позитивної оцінки роботи в цілому та вагомість результатів, одержаних в ході дисертаційних досліджень.

Дисертаційна робота В.І. Варищука за актуальністю теми, науковим рівнем та вагомістю отриманих наукових і практичних результатів відповідає вимогам МОН України, які висуваються до робіт поданих на здобуття наукового ступеня кандидата наук, зокрема п. 9, 11 положення про «Порядок присудження наукових ступенів», а її автор заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.01 - прилади та методи вимірювання механічних величин.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри метрології та
інформаційно-вимірювальної
техніки Державного університету
“Житомирська політехніка”,
д. т. н., професор

Ю.О. Подчашинський

Вірність підпису засвідчую
Начальник загального відділу
Тетяна Маржова

