

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Закієва Валіма Ісламовича  
«Прилад безконтактного вимірювання геометричних параметрів  
поверхні виробів методом інтерферометрії», яка  
представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.11.01 – прилади та методи вимірювання  
механічних величин

### 1. Актуальність теми дисертації

Відомо, що геометричні параметри поверхні суттєво впливають на експлуатаційні показники виробів. Амплітудні, шпигові та гібридні характеристики поверхні домінують при оцінці таких експлуатаційних властивостей, як знос, тертя, контактна жорсткість, умови змащування, герметичність, міцність посадок, якість окраски і т.д. В даний час результати аналізу поверхні на основі тривимірного виміру все частіше знаходять використання як в наукових дослідженнях, так і в промисловості.

На сьогоднішній день існує широка номенклатура методів дослідження й відповідного устаткування для виміру геометричних параметрів поверхні. Таке устаткування має роздільну здатність від атомарного до макроскопічного рівня, базується на різних принципах взаємодії з поверхнею, може бути контактним, чи безконтактним. Провідні країни світу мають сучасні апаратно-програмні комплекси з досить непоганими метрологічними характеристиками, однак для вітчизняної промисловості та наукових установ вони є досить коштовними, що суттєво обмежує їх використання. Дивлячись на останні тенденції в науці та високотехнологічному виробництві набуває актуальності проблема розробки більш простих та доступних методів і засобів візуалізації й вимірювання рельєфу поверхні в нанометровому розмірному діапазоні, які можна використати для отримання якісної й кількісної інформації про рельєф поверхні в двох- та тримірних вимірах.

Тому тема дисертаційної роботи В.І. Закієва, яка присвячена розробці безконтактного інтерференційного профілометра для реєстрації та вимірювання геометричних параметрів поверхні виробів, безумовно є актуальною.

Актуальність теми дисертаційної роботи В.І. Закієва у плані застосування розробленого приладу для проведення наукових досліджень визначається також її зв'язком з держбюджетними НДР: «Розробка методів діагностики пошкоджуваності та оцінки залишкового ресурсу елементів авіаційних конструкцій з використанням нанотехнологій», «Прогнозування граничного стану елементів авіаційних конструкцій за параметрами деформаційного рельєфу поверхневого шару», «Метод моніторингу відпрацювання ресурсу літаючих суден з використанням інструментальних засобів контролю зтемненого пошкодження», що виконувалися на кафедрі Конструкції літальних апаратів Національного авіаційного університету.

Окрім цього результати дослідження використано в госпрозрахунковій роботі «Розробка мобільного автоматизованого інтерферометричного пристрою (МАІП) для контролю якості торців армованих волоконних світловодів», яка проводилася кафедрою за замовленням ВАТ «УКРТЕЛЕКОМ».

## **2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність**

Результати та висновки, що отримані у дисертаційній роботі, не заперечують сучасним уявленням методології інтерференційної профілометрії, фізичної оптики, електроніки та положенням електромеханіки та обчислювальної техніки.

Усі наукові положення роботи, а також висновки і рекомендації, що впливають з них, достатньою строго обґрунтовані з використанням апарату теорій фізичної оптики, інтерференції світла, обробки сигналів, методів теоретичної електротехніки та електроніки. При розробці автоматизованої системи керування роботою приладу та програмного забезпечення для проведення вимірювань та представлення результатів автором використовувалися методи статистичної обробки даних та їх регресійного аналізу, комп'ютерних технологій.

## **3. Повнота викладу результатів в опублікованих працях, апробація роботи**

Матеріали дисертації досить широко та у повному обсязі опубліковані автором у наукових виданнях та апробовані на науково-технічних конференціях та симпозіумах. Публікації складаються з 33 найменувань (з яких 3 входять до наукометричної бази Scopus), 14 з яких опубліковано в фахових та спеціалізованих наукових журналах, 2 патенти України на винахід. Результати роботи апробовані автором на 17 НТК.

## **4. Важливість отриманих результатів для науки і практичного використання**

*Наукова новизна* отриманих результатів полягає в тому, що:

1. Розроблена та випробувана оригінальна електронно-механічна система надмалих переміщень еталонного дзеркала на базі електромагнітного актюатора з лінійною характеристикою величини переміщень від сили струму, що надало змогу суттєво спростити конструкцію приладу та забезпечити його оптимальні вагові та габаритні показники.

2. Розроблено методіку налаштування приладу, що базується на інтерференції світла відомої довжини хвилі, що надало змогу відмовитись від еталонів довжини та забезпечити задані метрологічні характеристики приладу.

3. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення яке призначене для управління роботою приладу, реєстрації, обробки та представлення даних, а також проведення розрахунків геометричних параметрів поверхні.

*Практична значимість* отриманих результатів полягає в розробці двох модифікацій інтерференційного безконтактного профілометра, який призначений

для вимірювання топографії поверхні, отримання її тривимірних зображень та проведення кількісної оцінки параметрів рельєфу. Розроблений прилад може використовуватися при проведенні науково-дослідних робіт, а також у промисловості для оперативного та достовірного визначення геометричних параметрів матеріалів і виробів з високою роздільною здатністю. Практичну цінність результатів дисертаційної роботи Закієва В.І. підтверджено їх впровадженням і використанням у провідних науково-дослідних інститутах НАН України, навчально-наукових технічних та медичних університетах. А саме в Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Тернопільському національному технічному університеті ім. І. Пулюя, Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Національному авіаційному університеті, Інституті проблем матеріалознавства ім. І.Н. Францевича НАН України, Національному медичному університеті ім. О.О. Богомольця, Національній медичній академії післядипломної освіти ім. П.Л. Шупіка.

## 5. Оцінка змісту дисертації

*Перший розділ.* Присвячений аналізу стану проблеми, обґрунтуванню задач дослідження. При аналізі стану проблеми автор детально зупинився на сучасних досягненнях у галузі методів та апаратних засобів вимірювання геометричних параметрів поверхні. Проведений критичний огляд та аналіз сучасних засобів візуалізації топографії та виміру геометричних параметрів поверхні показав, що інтерференційна профілометрія є одним з найбільш перспективних методів реєстрації поверхні з високою просторовою роздільною здатністю.

Проведено аналіз основних технічних характеристик та конструктивних особливостей інтерференційних профілометрів, що виробляються провідними фірмами світу. Показано, що ці прилади універсальні, мають високу роздільну здатність, достатній рівень автоматизації та досить схожі технічні характеристики. Однак вони мають велику масу для забезпечення достатньої жорсткості конструкції та високу вартість. Крім цього, для зміщення дзеркала використовуються п'єзо сканери яким притаманні недоліки п'єзоелектричних перетворювачів напруги в переміщення. При цьому автор акцентував увагу на тому, що для налаштування приладів використовуються зразкові міри довжини, а вирівнювання зразка відносно оптичної вісі реалізується за допомогою механічного предметного стола з можливістю нахилу.

Зроблений висновок, що найбільш перспективним приладом для вимірювання геометричних параметрів поверхні є інтерференційний профілометр. При цьому найбільш раціональною оптичною схемою, на думку автора, є схема Лінника, що має найвищі показники оптичного збільшення.

Таким чином, виконаний в роботі аналіз стану проблеми дозволив сформулювати задачі дисертації та обрати відповідні їм методи досліджень.

*Другий розділ.* Присвячений розробці основних вузлів приладу та їх узгодження а також опису конструкції приладу в цілому. До основних компонентів, що впливають на працездатність приладу та його технічні характеристики відносяться: інтерферометр, джерело освітлення, механізму зміщення дзеркала, система відеореєстрації. Розглянуті основні фізичні засади двопрменевої інтерферометрії на яких базується робота приладу та методика реєстрації поверхні.

Автором запропоновано та обґрунтовано використання білого світла в якості джерела освітлення. Біле світло має низьку часову і просторову когерентність освітлення, що призводить до локалізації інтерференційних смуг. Така інтерференційна картина має чітко виражені максимуми та мінімуми інтенсивності освітленості, які спостерігаються при нульовій різниці ходу променів. Відмічено, що використання білого світла значно розширює діапазон вимірювальних висот та спрощує алгоритм обробки інтерферограм без необхідності визначення порядку інтерференційних смуг.

Обґрунтовані робочі параметри системи відеореєстрації зображення для забезпечення ефективної та швидкої реєстрації інтерференційної інформації, що базується на використанні сучасних ПЗЗ матриць. Наведено принцип роботи, та узгоджено роздільну здатність оптичного блоку приладу та ПЗЗ матриці.

Автором розроблена оригінальна конструкція електромагнітного актюатора зразкового дзеркала профілометра з застосуванням сучасного магніту на основі сплаву Nd-Fe-B. Треба відмітити запропоновані автором цікаві конструктивні рішення, які забезпечили пересікання магнітним полем постійної кількості провідників у котушці і, відповідно, лінійну характеристику струм – переміщення без застосування складних датчиків зворотного зв'язку. Розроблена конструкція має мініатюрні габарит та низьку напругу керування, що значно спрощує конструкцію приладу.

На основі запропонованих конструктивних рішень окремих вузлів виготовлено дві модифікації профілометра для вимірювання геометричних параметрів поверхні виробів методом інтерферометрії.

*Третій розділ.* Присвячений автоматизації роботи приладу, обробці та представленню результатів вимірів та розрахунку геометричних параметрів поверхні.

Програмне забезпечення приладу складається з двох окремих програм, одна з яких призначена для керування режимами роботи електронних вузлів. Друга програма призначена для керування, налаштування, збору, обробки, зберігання та представлення результатів вимірювань. Інтерфейс приладу достатньо компактний та зручний у використанні. Для спрощення роботи з приладом реалізовані алгоритми визначення екстремуму інтенсивності, автоматичного налаштування яскравості освітлення, встановлення початкового положення рухомого дзеркала. Для представлення зареєстрованих даних запропоновані алгоритми фільтрації та виключення лінійного тренду поверхні. Для розрахунку геометричних параметрів



поверхні програмне забезпечення має спеціальний додаток який дозволяє автоматично визначити параметри шорсткості поверхні, площу поверхні радіус заокруглення і т.д.

Автором розроблена та інтегрована методика юстирування приладу, що базується на інтерференції світла, яка задовольняє метрологічним вимогам.

У четвертому розділі наведені результати експериментальних досліджень геометричних параметрів поверхні з використанням розробленого приладу. Слід відмітити, що проведені дослідження наочно демонструють можливості практичного використання розробленого приладу для вирішення різноманітних науково-практичних задач.

В роботі експериментально підтверджені методика автоматизованого вимірювання геометричних параметрів поверхні торця оптичного ферула, можливість застосування розробленого інтерференційного профілометра в медичній галузі для вимірювання та контролю якості поверхонь зубних імплантатів та ендопротезів кульшових суглобів, можливість застосування розробленого інтерференційного профілометра для проведення контролю поверхні інтегральних мікросхем при їх виготовленні, можливість та ефективність застосування розробленого інтерференційного профілометра для вимірювання параметрів поверхневого пластичного деформування металів при втомі, можливість та ефективність застосування розробленого інтерференційного профілометра при дослідженні фізико-механічних властивостей поверхневих шарів матеріалів методами індентування та склерометрії, можливість застосування розробленого інтерференційного профілометра для підвищення точності вимірювання величини зносу поверхні матеріалу при проведенні трибологічних дослідженнях різними методами.

У розділі приведені результати досліджень геометричних параметрів різних матеріалів та виробів, які були отримані з застосуванням розробленого приладу.

## 6. Зауваження по дисертації

До матеріалів досліджень, викладених в дисертації, слід зробити такі зауваження:

1. У роботі недостатньо пророблені питання метрологічного забезпечення розробленого приладу. Так, не наведено значення похибок перетворення електричного току в переміщення еталонного дзеркала (с. 74). З якою похибкою виконане налаштування рухомого дзеркала (рис. 2.40)? Не наведені відомості стосовно похибок вимірювання геометричних параметрів поверхні.

2. Схема автоматизації приладу (рис. 2.14, с.82), яка включає цифрові перетворюючі елементи (АЦП, ЦАП і т.п.), що працюють спільно з ЕОМ, повинна супроводжуватися блок-схемою алгоритму роботи, тобто послідовністю виконання логічних та керуючих операцій. Тільки інтерфейс вікна ЕОМ є недостатнім для розкриття новизни та оригінальності розробленого приладу.

3. В розділі 1.4 (с. 46), який присвячений опису сучасних інтерференційних профілометрів та аналізу їх основних технічних характеристик не наведені посилання на використані джерела, чи хоча б на сайти виробників.

4. В четвертому розділі не наведені кількісні характеристики геометричних параметрів поверхонь кульшових суглобі, а лише представлені тривимірні топографії та профілограмми.

5. Є ряд зауважень загального характеру: орфографічні та стилістичні неточності за текстом дисертації.

### 7. Висновки про відповідність дисертації

У цілому, незважаючи на зазначені вище недоліки, дисертація за актуальністю, науковою новизною, особистим внеском автора, практичною значимістю, вірогідністю результатів, обсягом і рівнем публікацій відповідає основним вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, що ставляться до дисертації і авторефератів на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

За обсягом, назвою і предметом досліджень, цілями та задачами, отриманими результатами дисертаційна робота Закієва В.І. відповідає паспорту спеціальності 05.11.01 – прилади та методи вимірювання механічних величин.

Автореферат достатньо повно віддзеркалює основний зміст дисертації.

### 8. Висновок по дисертації в цілому

Усе викладене вище дозволяє вважати, що дисертація Закієва В.І. є закінченим науковим дослідженням, у якому отримані нові науково обґрунтовані теоретичні й експериментальні результати. Робота відповідає вимогам, які висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор – Закієв Вадим Ісламович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.01 – прилади та методи вимірювання механічних величин.

Офіційний опонент, кандидат технічних наук  
доцент кафедри технологій машинобудування та  
деревообробки Чернігівського національного технологічного  
університету

П.Л. Ігнатенко

Підпис П.Л. Ігнатенка ЗАСВІДЧУЄ  
проректор з науково-педагогічних питань  
Чернігівського національного технологічного  
університету  
д.т.н., професор



В.В. Кальченко