



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **86936** (13) **U**  
(51) МПК (2013.01)  
**G01N 3/00**  
**G01N 27/00**  
**G01R 19/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: <b>u 2013 10226</b>	(72) Винахідник(и): <b>Писаренко Георгій Георгійович (UA), Войналович Олександр Володимирович (UA), Майло Андрій Миколайович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>19.08.2013</b>	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.01.2014</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.01.2014, Бюл.№ 1</b>	(73) Власник(и): <b>ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МІЦНОСТІ ІМ. Г.С. ПИСАРЕНКА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ,</b> вул. Тимірязєвська, 2, м. Київ, 01014 (UA)
	(74) Представник: <b>Марченко Тетяна Віталіївна, реєстр. №163</b>

## (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОМПОНЕНТІВ ТЕНЗОРУ ДЕФОРМАЦІЇ ЗА ДІЇ СКЛАДНОГО ЗМІННОГО НАВАНТАЖУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

### (57) Реферат:

Спосіб визначення компонентів тензору деформації за дії складного змінного навантажування конструкційних матеріалів, за допомогою електромеханічної системи, а саме до поверхні контрольованого об'єкта притискають нерезонансний стрижень-індентор датчика, чутливою частиною якого є п'єзокерамічний диск з діаметральними розрізами електродного покриття кераміки, після чого надають п'єзокерамічному диску неосесиметричних резонансних планарних коливань для створення у локальній зоні контакту індентора датчика з поверхнею матеріалу контрольованого об'єкта тангенційних деформацій. Додатково на верхньому кінці нерезонансного стрижня встановлюють співвісно з віссю симетрії п'єзокерамічного диска резонансний датчик, призначений для сприйняття нормальної компоненти тензору деформацій поверхні контрольованого об'єкта, інший кінець стрижня жорстко з'єднують з поверхнею контрольованого об'єкта, та вимірюють електричні сигнали, отримані по трьох каналах вимірювання зазначеної електромеханічної системи, що пропорційні амплітудам деформації та функціонально пов'язані між собою через п'єзосталі деформацій матеріалу датчика відповідно напрямкам компонент тензору деформацій у локальній зоні контрольованого об'єкта.

UA 86936 U

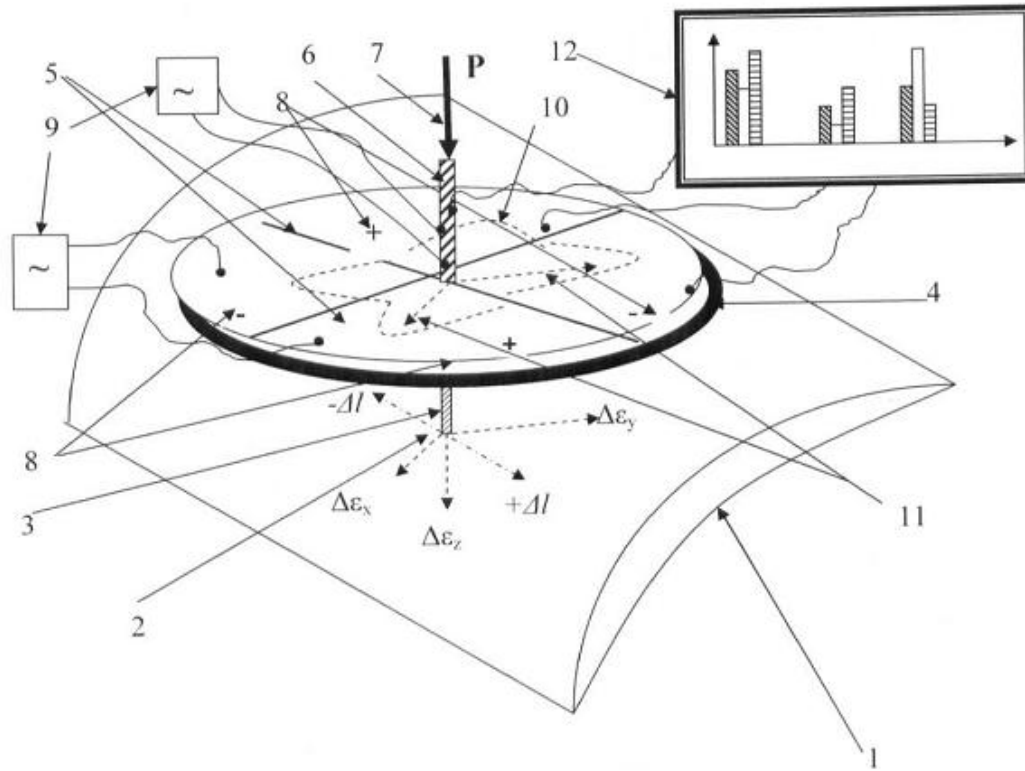


Fig. 1

Пропонована корисна модель належить до методів дослідження нелокалізованого пошкодження металоконструкцій, а більш точно - до способу оцінення деформаційного стану металоконструкцій внаслідок дії складного змінного (динамічного) навантажування і, як наслідок - дозволяє визначити компоненти тензору деформацій за дії складного навантажування, наприклад у таких відповідальних конструкціях, як робочі лопатки газотурбінних двигунів, компресорів тощо, а отже встановити граничний стан металоконструкції з метою прогнозування її залишкового ресурсу.

Відомим є спосіб оцінення ступеня пошкодженості контрольованого об'єкта внаслідок дії експлуатаційного навантажування шляхом визначення параметрів тангенційних деформацій у локальній зоні поверхні [Патент України на корисну модель № 75682, МПК (2012.01): G01N3/00, G01N27/00, G01R19/00; опубл. 10.12.2012], згідно з яким, вимірюють значення зсуву фаз між ортогональними компонентами тангенційних деформацій, створених притискуванням до поверхні контрольованого об'єкта індентора датчика, силочутливою частиною якого є п'єзокерамічний диск з діаметральними розрізами електродного покриття кераміки, що зазнає неосесиметричних резонансних планарних коливань. Ортогональні компоненти тангенційних деформацій відповідають деформаційній взаємодії елементів структури контрольованого об'єкта з трансверсально-ізотропною структурою матеріалу датчика через опір лінійному переміщенню індентора за умов локального поверхневого деформування матеріалу контрольованого об'єкта.

Недоліком описаного способу є визначення лише часових параметрів зсуву двох ортогональних компонентів тангенційних деформацій, що не дозволяє оцінити амплітудні співвідношення параметрів компонентів векторів ортогональних деформацій у точці поверхні, що важливо для визначення напружено-деформованого стану контрольованого об'єкта за дії складного навантаження.

Під час проведення патентно-інформаційних досліджень для підготовки цієї заявки авторами не було виявлено способів визначення компонентів тензору деформації у локальній зоні поверхні за циклічного навантажування конструкційних матеріалів, тому в основу запропонованої корисної моделі поставлено задачу створення такого способу.

У пропонованому способі визначення компонентів тензору деформації у локальній зоні поверхні за дії складного змінного (динамічного) навантажування конструкційних матеріалів датчик жорстко притискають до поверхні контрольованого об'єкта. Датчик є коливальною системою, яка контактує з поверхнею контрольованого об'єкта через нерезонансний металевий стрижень, що аксіально з'єднано з електродованим п'єзокерамічним диском з металевим покритвом, розділеним на чотири рівні за площею електродів сектори, з метою утворення ортогональних, взаємно-розв'язаних кондуктивно ділянок, які є окремими чутливими елементами, що вибірково-чутливо зорієнтовані до напрямків ортогональних тангенційних компонентів тензора деформацій і відповідають квадрантам полярної діаграми розподілу коефіцієнта електромеханічного перетворення енергії неосесиметричних коливань п'єзокерамічного диска на першій формі планарних коливань. Елементом коливальної системи, чутливим до нормального складника тензору деформацій, є резонансний датчик, який розташований співвісно з віссю симетрії п'єзодиска та сприймає нормальну компоненту тензору деформацій поверхні контрольованого об'єкта через нерезонансний стрижень, який жорстко з'єднаний з поверхнею об'єкта контролю. Електричні сигнали, отримані по трьох каналах вимірювання за допомогою зазначеної електромеханічної системи, пропорційні амплітудам деформації і функційно пов'язані між собою через п'єзосталі деформацій матеріалу датчика відповідно напрямкам компонент тензору деформацій.

Також запропонована коливальна система забезпечує можливість контролю силового (для кожної компоненти тензору деформації) та деформаційного гістерезисів матеріалу в зоні локального контакту датчика з поверхнею контрольованого об'єкта.

Суть запропонованої корисної моделі пояснюють графічні матеріали:

На фіг. 1 схематично показано здійснення запропонованого способу.

На фіг. 2 показано у вигляді гістограми результати визначення в окремих точках поверхні контрольованого об'єкта трьох головних компонент тензору деформації як зсуву фаз між електричними напругами на електродах покриття диска датчика, а також на резонансному датчику, нормальному до поверхні диска. Безрозмірна величина  $I/I_0$  на осі ординат відповідає пронормованому значенню кута зсуву фаз.

Позицією 1 позначено поверхню контрольованого об'єкта - фрагмента робочої лопатки газотурбінного двигуна. Позицією 2 - точку на об'єкті 1, через яку діють на нього індентором датчика 3. Індентор 3 - це нерезонансний металевий стрижень датчика 4. Чутливими елементами датчика 4 є п'єзокерамічний диск та резонансний датчик. Позицією 5 позначено два діаметральні розрізи електродного покриття диска, що утворюють чотири взаємно-розв'язаних

кондуктивно сектори, які відповідають чотирьом квадрантам полярної діаграми розподілу коефіцієнта електромеханічного перетворення за умов циклічного деформування чутливого елемента диска на першій формі планарних резонансних коливань. Положенням 6 позначено резонансний датчик, який розташовано співвісно з нормальною віссю симетрії п'єзодиска.

5 Положенням 7 - нормоване зусилля  $P$  притискання індентора 3 датчика 4 до поверхні контрольованого об'єкта 1 у точці 2. Положенням 8 - силозбуджувальні зони п'єзокерамічного диска датчика (електроди). Положенням 9 - електричне джерело збудження датчика 4. Положенням 10 позначено полярну діаграму значень вектора механічної деформації, яку умовно суміщено з поверхнею диска датчика 4. Положенням 11 - вектори максимального значення механічної

10 деформації секторів диска датчика 4, які відповідають напрямкам максимумів коефіцієнтів трансформації для вибраної форми резонансних коливань диска датчика 4. Положенням 12 - реєстраційний пристрій сигналів з п'єзокерамічного диска та резонансного датчика 6.

На поверхні контрольованого об'єкта 1 - фрагменті робочої лопатки газотурбінного двигуна, де внаслідок термосилового навантажування сформувалися пошкодження мікроструктури, - визначено точку 2, призначену для дії через неї на об'єкт 1 індентором 3 (нерезонансним металевим стрижнем) датчика 4, чутливими елементами якого є п'єзокерамічний диск, на якому виконано два діаметральні розрізи 5 електродного покриття диска, що утворюють чотири

15 взаємно-розв'язаних кондуктивно сектори, які відповідають чотирьом квадрантам полярної діаграми розподілу коефіцієнта електромеханічного перетворення за умов циклічного деформування чутливого елемента диска на першій формі планарних резонансних коливань, та

20 резонансний датчик 6, який розташовано співвісно з нормальною віссю симетрії п'єзодиска та сприймає нормальну компоненту тензору деформацій поверхні контрольованого об'єкта через нерезонансний індентор 3, який жорстко з'єднаний з поверхнею об'єкта контролю. Індентор 3 датчика 4 притискають до поверхні контрольованого об'єкта 1 у точці 2 нормованим зусиллям  $P$

25 (позиція 7 на фіг. 1).

Силозбуджувальні зони п'єзокерамічного диска датчика (електроди 8), які відокремлено розрізами 5 диска 4, формують знакозмінне переміщення індентора 3 уздовж напрямку поверхні контрольованого об'єкта, зумовлене дією п'єзоелектричного ефекту, що виникає у разі

30 подавання на електродний покрив датчика 4 змінного сигналу від електричного джерела збудження 9, яким може бути генератор звуковий, наприклад ГЗ-109.

Схему розподілу коефіцієнтів трансформації п'єзокерамічного диска датчика 4 представлено у вигляді полярної діаграми значень вектора механічної деформації 10, яку умовно суміщено на фіг. 1 з поверхнею диска датчика 4. Вектори 11 максимального значення механічної деформації секторів диска датчика 4, які відповідають напрямкам максимумів коефіцієнтів трансформації

35 для вибраної форми резонансних коливань диска датчика, є ортогональними і характеризуються вибірковістю щодо корисного сигналу внаслідок вибору електричного потенціалу або заряду того квадранта еквіпотенціальних поверхонь керамічного резонатору датчика, що співпадає з напрямом вимірюваних компонентів тензору механічних деформацій поверхні об'єкта контролю. Нормальний компонент тензору деформацій сприймає резонансний

40 датчик 6.

Як реєстраційний пристрій 12 сигналів з п'єзокерамічного диска та резонансного датчика 6 можна використати вимірювальну систему, описану в деклараційному патенті України на корисну модель № 17348. Реєстраційний пристрій 12 під'єднують до електродів, які є електрично-розв'язані щодо силозбуджувальної електродної частини датчика 4, та до

45 резонансного датчика 6.

Приклад. Датчик 4 налаштовували на одну з неосесиметричних форм резонансних коливань диска датчика. Внаслідок неосесиметричності коливань диска датчика 4, які можна представити ортогональними векторами  $\varepsilon_x$  та  $\varepsilon_y$  (позиція 11 на фіг. 1), у точці 2 від індентора 3 у напрямках -  $\Delta l$  та  $+\Delta l$  на поверхні контрольованого об'єкта 1 та нормально до поверхні ініціюються циклічні

50 деформації, що взаємодіють із структурними елементами матеріалу контрольованого об'єкта 1, розташованих у напрямках векторів деформацій  $\Delta \varepsilon_x$ ,  $\Delta \varepsilon_y$  та  $\Delta \varepsilon_z$ , що виникають як прояв компонентів тензору локальних деформацій. Амплітудно-часові співвідношення складників тензору локальних деформацій  $\Delta \varepsilon_x$ ,  $\Delta \varepsilon_y$  та  $\Delta \varepsilon_z$ , локальної зони поверхні, як взаємний зсув фаз, реєстрував пристрій 12.

Індентор датчика 4 кінематично пересували по поверхні матеріалу, а реєстраційний пристрій 12 у заданих точках поверхні реєстрував зміну потенціалу електродів покриття датчика, що відповідає реакції певно-зорієнтованих елементів структури твердого тіла - контрольованого об'єкта 1 під дією лінійного навантаження за поверхневого деформування, та змінний сигнал з резонансного датчика 6, а отже забезпечував отримання даних щодо амплітудно-часових

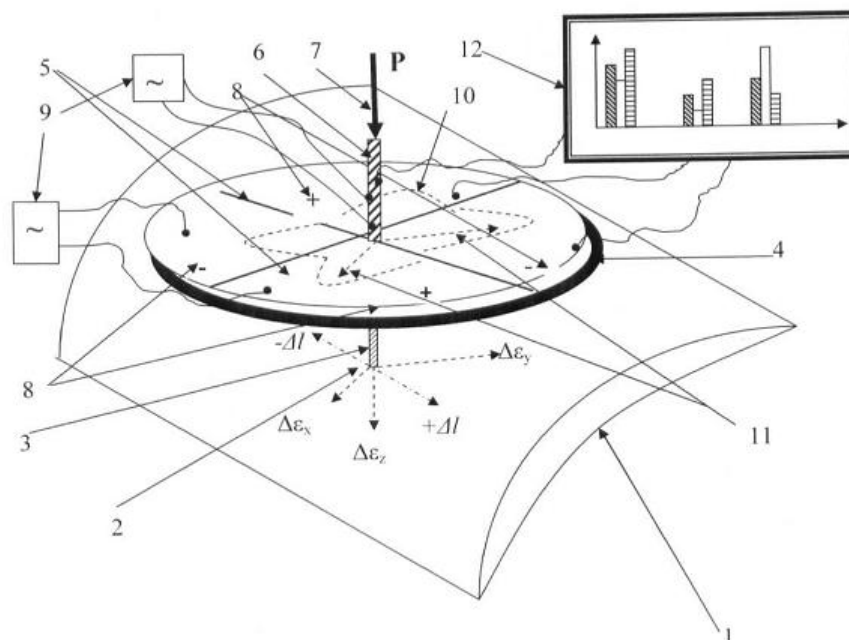
60 співвідношень компонентів тензору деформацій у локальних зонах матеріалу контрольованого

об'єкта 1. Зміни амплітуди та зсув фаз між електричними напругами на електродах покриття датчика, а також сигналом з резонансного датчика 6 відповідають зміні компонентів тензору деформацій у локальних зонах поверхні матеріалу контрольованого об'єкта, а отже ступеню локального пошкодження цих зон від попереднього складного навантажування (статичного, циклічного та ін.).

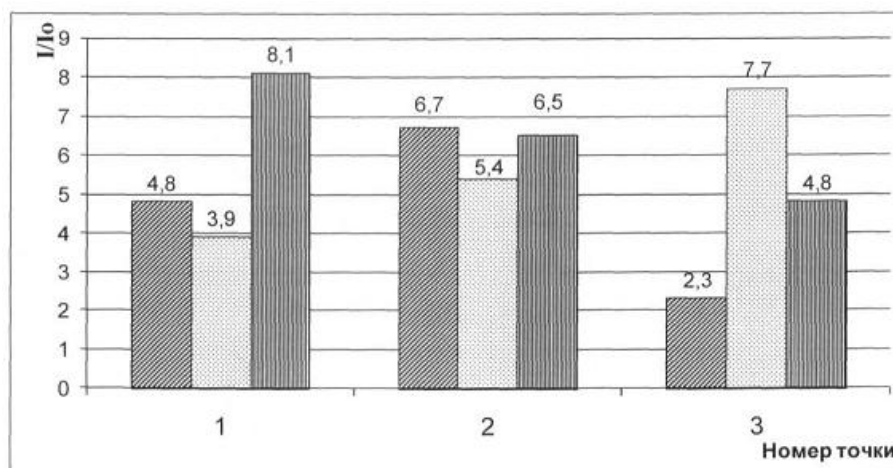
Результати визначення зсуву фаз між електричними напругами на електродах покриття диска датчика, а також сигналом з резонансного датчика 6 за допомогою реєстраційного пристрою 12 показано у вигляді гістограми на фіг. 2, де на осі абсцис зазначено номери точок вимірювання на контрольованій поверхні, в яких було визначено компоненти тензору локальних деформацій, а на осі ординат відкладено прономоване значення кута зсуву фаз для трьох головних компонентів тензору деформацій.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб визначення компонентів тензору деформації за дії складного змінного навантажування конструкційних матеріалів, за допомогою електромеханічної системи, а саме до поверхні контрольованого об'єкту притискають нерезонансний стрижень-індентор датчика, чутливою частиною якого є п'єзокерамічний диск з діаметральними розрізами електродного покриття кераміки, після чого надають п'єзокерамічному диску неосесиметричних резонансних планарних коливань для створення у локальній зоні контакту індентора датчика з поверхнею матеріалу контрольованого об'єкта тангенційних деформацій, ортогональні компоненти яких відповідають деформаційній взаємодії елементів структури контрольованого об'єкта з трансверсально-ізотропною структурою матеріалу п'єзокерамічного диска датчика через опір лінійному переміщенню індентора за умов локального поверхневого деформування матеріалу контрольованого об'єкта, вимірюють значення зсуву фаз між ортогональними компонентами тангенційних деформацій, яке приймають за характеристику ступеня пошкодження локальної зони поверхні контрольованого об'єкта внаслідок дії складного змінного навантажування, який відрізняється тим, що додатково на верхньому кінці нерезонансного стрижня встановлюють співвісно з віссю симетрії п'єзокерамічного диска резонансний датчик, призначений для сприйняття нормальної компоненти тензору деформацій поверхні контрольованого об'єкта, інший кінець стрижня жорстко з'єднують з поверхнею контрольованого об'єкта, та вимірюють електричні сигнали, отримані по трьох каналах вимірювання зазначеної електромеханічної системи, що пропорційні амплітудам деформації та функціонально пов'язані між собою через п'єзосталі деформацій матеріалу датчика відповідно напрямкам компонент тензору деформацій у локальній зоні контрольованого об'єкта.



Фіг. 1



Фіг. 2

---

Комп'ютерна верстка В. Мацело

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601