



УКРАЇНА

(19) UA (11) 87864 (13) C2
(51) МПК (2009)
G01N 29/00
G01N 29/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

1

(21) а200702489

(22) 06.03.2007

(24) 25.08.2009

(46) 25.08.2009, Бюл. № 16, 2009 р.

(72) ЄРЕМЕНКО ВОЛОДИМИР СТАНІСЛАВОВИЧ,
КУЦЬ ЮРІЙ ВАСИЛЬОВИЧ, МОКІЙЧУК ВАЛЕНТИН
МИХАЙЛОВИЧ, СУСЛОВ ЄВГЕНІЙ ФЕДОРОВИЧ

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(56) SU 1679357 A1, 23.09.1991

SU 1555659 A1, 07.04.1990

RU 2168722 C2, 10.06.2001

RU 2167419 C2, 20.05.2001

EP 1724578 A1, 22.11.2006

US 3888108 A, 10.06.1975

(57) 1. Спосіб неруйнівного контролю матеріалів і виробів, що включає нанесення низькошвидкісного удару по контрольованій зоні виробу за допомогою бойка, вимірювання параметрів імпульсів сили ударної взаємодії, який відрізняється тим, що енергію удару змінюють за випадковим законом з

2

відомими статистичними характеристиками, а рішення про наявність дефекту у контрольованій зоні приймають згідно зі статистичними критеріями.

2. Пристрій для неруйнівного контролю матеріалів і виробів, що містить генератор імпульсів, електромагнітний ударний механізм, послідовно з'єднані датчик сили, який механічно зв'язаний з електромагнітним ударним механізмом, підсилювач, аналого-цифровий вимірювальний перетворювач, а також джерело напруги, що управляється, та ключ, вхід управління якого підключено до генератора імпульсів, а вихід - до електромагнітного ударного механізму, який відрізняється тим, що додатково містить генератор випадкових числових послідовностей, вихід якого під'єднано до управляючого входу джерела напруги, та блок статистичної обробки, з'єднаний з виходом аналого-цифрового перетворювача.

Винахід відноситься до акустичних методів неруйнівного контролю і призначений для неруйнівного контролю композиційних та багатошарових матеріалів та виробів з них.

Відомий спосіб неруйнівного контролю, що включає нанесення низькошвидкісного удару по контрольованій зоні виробу за допомогою бойка, вимірювання параметрів імпульсів сили ударної взаємодії бойка із контрольованою зоною виробу, визначення змін цих значень порівняно зі значеннями в еталонній (бездефектній) зоні по яким визначається наявність дефектів у контрольованій зоні [1].

Недоліком даного способу є залежність параметрів імпульсів сили ударної взаємодії від кінетичної енергії яку має боек у момент удару. Наприклад, амплітуда та тривалість імпульсів сили ударної взаємодії визначаються за рівняннями [2], в які входить значення швидкості бойка в момент, що передуює удару, а швидкість бойка і визначає енергію ударної взаємодії:

$$F_m = 1,283 \cdot m^{\frac{1}{2}} \cdot V^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1 - \mu^2}{E} \right)^{\frac{1}{2}} R^{\frac{1}{2}},$$

$$\tau_{im} = 4,53 \left[\frac{1 - \mu^2}{\pi E} \right]^{\frac{1}{2}} m^{\frac{1}{2}} \cdot R^{\frac{1}{2}} \cdot V^{\frac{1}{2}}$$

де μ - коефіцієнт Пуассона матеріалу контрольованого виробу;

E - модуль Юнга матеріалу контрольованого виробу;

R - радіус кривизни бойка;

m - маса бойка;

V - швидкість бойка в момент, що передуює удару.

Стан поверхні контрольованого виробу (шорсткість, радіус кривизни контрольованих зон та ін.) також впливають на зміни інформативних параметрів. Ці залежності апіорно визначити і урахувати

(13) C2

(11) 87864

(19) UA

неможливо, тому вони призводять до зменшення вірогідності контролю.

Найбільш близьким по технічній суті до способу, що заявляється, є спосіб неруйнівного контролю, що включає нанесення низькошвидкісного удару по контрольованій зоні виробу за допомогою бойка, вимірювання параметрів імпульсів сили ударної взаємодії бойка з контрольованою зоною виробу, визначення кінетичної енергії в момент удару, по значенню якої вноситься поправка в значення параметрів імпульсів сили, визначення зміни значень параметрів порівняно зі значеннями в еталонній зоні, за якими визначається наявність дефектів у контрольованій зоні [3].

Такий спосіб дозволяє частково усунути похибки, що виникають внаслідок нестабільності енергії удару, але потребує виконання додаткових операцій вимірювання і ускладнення конструкції як первинного перетворювача, так і дефектоскопа в цілому. Цей спосіб не дозволяє враховувати стан поверхні контрольованої зони і не усуває похибки цим обумовлені. Другим недоліком цього способу є необхідність створення еталонів дефектних та бездефектних зон для кожного типу виробів, які необхідно контролювати та створення бібліотек параметрів імпульсів ударної взаємодії, що відповідають цим зонам, і з якими необхідно порівнювати виміряні параметри досліджуваних зон. Це значно ускладнює процес неруйнівного контролю виробів і підвищує його собівартість.

Відомий пристрій для неруйнівного контролю, що включає імпульсний генератор, електромагнітний ударний механізм, послідовно з'єднані датчик сили, що механічно зв'язаний з бойком ударного механізму, перший підсилювач заряду, двоканальний аналого-цифровий вимірювальний перетворювач та комп'ютер, акселерометр, що також механічно зв'язаний з ударним механізмом і під'єднаний через другий підсилювач заряду до другого входу двоканального аналого-цифрового вимірювального перетворювача [3].

Працює пристрій наступним чином. Імпульсний генератор формує послідовність імпульсів зі сталою енергією, які приводять в дію електромагнітний ударний механізм, який бойком наносить удари по контрольованій поверхні виробу. Імпульси сили ударної взаємодії, що вимірюються датчиком сили, через перший підсилювач заряду поступають на перший канал двоканальний аналого-цифровий вимірювальний перетворювач, де перетворюються в масиви чисел, що аналізуються комп'ютером. Швидкість бійка ударного механізму в момент удару вимірюється за допомогою акселерометра і через другий підсилювач заряду подається на другий вхід двоканальний аналого-цифровий вимірювальний перетворювач. По виміряній швидкості бійка комп'ютер розраховує енергію удару і, в залежності від її значення, визначає поправки в значення виміряних параметрів імпульсу сили.

Даний пристрій дозволяє частково усунути похибки, що виникають внаслідок нестабільності енергії удару, але потребує обробки вимірювальної інформації по двом каналам, що ускладнює конструкції як первинного перетворювача, так і дефектоскопа в цілому.

Найбільш близьким по технічній суті до пристрою, що заявляється, є пристрій для контролю якості матеріалів, який складається з генератора імпульсів, електромагнітного ударного механізму, послідовно з'єднаних датчика сили, який механічно зв'язаний з електромагнітним ударним механізмом, першого підсилювача, аналого цифрового вимірювального перетворювача, блока усереднення, регістра та індикатора, послідовно з'єднаними акселерометром, який механічно зв'язаний з електромагнітним ударним механізмом, другим підсилювачем, інтегратором, амплітудним детектором, блоком порівняння, джерелом напруги, що управляється, та ключем, формувач опорної напруги, що регулюється, підключений виходом до другого входу блока порівняння. Вхід управління ключа з'єднаний з виходом генератора імпульсів, а вихід - з електромагнітним ударним механізмом який виходом управління підключений до виходу генератора імпульсів, виходом - до електромагнітного ударного механізму [4].

Працює пристрій наступним чином. Генератор імпульсів формує послідовність імпульсів, які через ключ подаються на електромагнітний ударний механізм, що наносить своїм бойком удари по контрольованому зразку. Датчик сили перетворює імпульси сили ударної взаємодії в електричні імпульси, які через перший підсилювач подаються на аналого-цифровий перетворювач. Вихідний код перетворювача пропорційний параметрам ударного імпульсу, поступає на блок усереднення, де проводиться накопичування результатів та їх усереднення. Середні значення параметрів заносяться в регістр та подаються на індикатор. Акселерометр реєструє максимальне прискорення бійка в момент удару і перетворює його в електричну напругу, яка через другий підсилювач подається на інтегратор, де перетворюється в сигнал, пропорційний швидкості бійка. Значення цього сигналу вимірюється амплітудним детектором і подається на перший вхід блока порівняння. На другий вхід блока порівняння подається опорна напруга з виходу формувача опорної напруги. Різницевий сигнал, сформований блоком порівняння, подається на вхід джерела напруги, що управляється, зміна вихідної напруги якого пропорційна різницевому сигналу. Ця напруга використовується для живлення ключа. Даний пристрій дозволяє автоматично стабілізувати швидкість бійка в момент удару і, відповідно, його енергію.

Основним недоліком даного пристрою є апаратурна надлишковість та складність налагодження, яка не дозволяє повністю виключити похибки що виникають внаслідок нестабільності енергії ударної взаємодії.

В основу першого із групи винаходів поставлено задачу підвищення вірогідності методу неруйнівного контролю матеріалів і виробів шляхом визначення статистичних характеристик інформативних параметрів, які опосередковано залежать від характеристик дефектності виробу і практично не залежать від впливу випадкових факторів, що виникають при проведенні неруйнівного контролю.

В основу другого із групи винаходів покладено задачу удосконалення пристрою для неруйнівного контролю матеріалів і виробів.

Перша поставлена задача вирішується тим, що спосіб неруйнівного контролю матеріалів і виробів, який включає нанесення низькошвидкісного удару по контрольованій зоні виробу за допомогою бойка, вимірювання параметрів імпульсів сили ударної взаємодії у якому згідно з винаходом енергію удару змінюють за випадковим законом з відомими статистичними характеристиками, а рішення про наявність дефекту у контрольованій зоні приймають згідно статистичних критеріїв.

Друга поставлена задача вирішується тим, що пристрій для неруйнівного контролю матеріалів і виробів, який містить генератор імпульсів, електромагнітний ударний механізм, послідовно з'єднані датчик сили, який механічно зв'язаний з електромагнітним ударним механізмом, підсилювач, аналого-цифровий вимірювальний перетворювач, а також джерело напруги, що управляється та ключа вхід управління якого підключено до генератора імпульсів, а вихід до електромагнітного ударного механізму, який згідно винаходу додатково містить генератор випадкових числових послідовностей, вихід якого під'єднано до управляючого входу джерела напруги та блок статистичної обробки, з'єднаний з виходом аналого-цифрового перетворювача.

Згідно з винаходом процес діагностування методом низькошвидкісного удару полягає у впливі на виріб, або його зону, серії однорідних ударних імпульсів, яку можна представити у вигляді послідовності випадкових незалежних імпульсів

$$\Delta\eta(\tau_j) = \eta(\tau_{j+1}) - \eta(\tau_j), j = 1, 2, \dots,$$

що виникають у випадкові моменти часу τ_j і задовольняють умові незалежності приростів на інтервалах часу, що не перетинаються [3]. Тоді породжуючий процес у довільні моменти часу t описується однорідним випадковим процесом з незалежними приростами, моменти часу якого збігаються з моментами виникнення окремих імпульсів, а величини сигналів визначаються енергією імпульсів

$$\eta(t) = \sum_{\tau_j} \Delta\eta(\tau_j), 0 \leq \tau_j \leq t.$$

Якщо розглядати процес ударної взаємодії як лінійний в області пружних деформацій, то сигнал $\xi(t)$ який фіксується датчиком сили, встановленим на бойку ударного механізму, можна розглядати як відгук лінійної системи з імпульсною реакцією $\varphi(\tau, t)$ на прирости породжуючого процесу $\Delta\eta(\tau_j)$. Цей відгук описується стохастичним інтегралом за випадковою функцією і також є лінійним випадковим процесом, інтегральне зображення якого

$$\xi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\tau, t) d\eta(\tau), t \in T,$$

де T - область визначення процесу.

Параметри ядра $\varphi(\tau, t)$ процесу $\xi(t)$ визначаються механічними властивостями контрольованої ділянки, які в свою чергу залежать від наявності

дефектів у виробі. Якщо вважати дану систему інваріантною в часі

$$\varphi(\tau, t) = \varphi(\tau - t),$$

то її відгуком є лінійний стаціонарний процес, який використовується в якості стохастичної моделі сигналів ударної взаємодії. Цей процес має задовольняти умові фізичної реалізованості і мати скінчену потужність

$$M(\xi^2(t)) < \infty,$$

тобто дисперсія приростів процесу $\eta(t)$ має бути скінченною, а ядро процесу інтегрованим у квадраті. Цим умовам задовольняє клас гільбертових лінійних випадкових процесів.

Лінійну ланку з імпульсною реакцією $\varphi(\tau, t)$ яка моделює перетворення породжуючого процесу в інформативний сигнал на виході датчика сили, можна представити у вигляді механічної системи "маса-пружина-демпфер" з одним ступенем вільності, на яку діє сила збурення у вигляді послідовності імпульсів $\eta(t)$. Причому, піддатливість пружини в даній моделі визначається піддатливістю зони зіткнення B , а закріплена на пружині маса відповідає масі бойка γ ударного механізму. Імпульсна реакція даної ланки визначається виразом

$$\varphi(\tau) = U(\tau) \frac{\omega^2}{\psi} e^{\beta\tau} \sin(\psi\tau),$$

де β - коефіцієнт затухання; ω - резонансна частота; $\psi = \sqrt{\omega^2 - \beta^2}$;

$$U(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \text{ - функція Хевісайда.}$$

В свою чергу піддатливість B зони удару буде визначатися, в основному, піддатливістю матеріалу виробу в точці удару (так як бійок виконаний із металу, піддатливість якого на декілька порядків нижча за піддатливість композиційного матеріалу, що контролюється):

$$B \approx \frac{\left(1 - \frac{\mu^2}{E}\right)^{\frac{1}{4}}}{1,82 \sqrt[3]{F_m R}}$$

де μ , E відповідно коефіцієнт Пуассона і модуль Юнга контрольованого матеріалу;

R - площа контакту бойка з виробом при ударній дії;

F_m - максимальне значення сили ударної дії.

При умові постійності площі контакту, пружна піддатливість веде себе як лінійна пружина. Тому наявність дефекту в контрольованому виробі аналогічна вводу пружини з піддатливістю B_d між бойком та виробом, жорсткість якої зменшується зі збільшенням величини дефекту:

$$B^1 = B + B_d.$$

В загальному випадку розрахувати піддатливість ділянки не є можливим, тому що не визначена форма дефекту, граничні умови, координати ударної дії. Отже, наявність дефекту у виробі призводить до зміни піддатливості механічної системи та її імпульсної реакції.

За виглядом імпульсів сили ударної дії можна приблизно описати перехідну характеристику $\varphi(\tau)$ імпульсною реакцією ланки другого порядку.

Для того, щоб перетворити прийняту у якості моделі механічну систему в аперіодичну ланку необхідно розглядати граничний випадок, коли дійсне демпфіювання C наближається до критичного $C_k = 2\sqrt{B\gamma}$. Тоді коефіцієнт відносного демпфіювання $\gamma = C/C_k \rightarrow 1$, а затухання $\beta \rightarrow \omega$. В цьому випадку імпульсну реакцію можна розрахувати як границю в вигляді:

$$\lim_{\beta \rightarrow \omega} \varphi_1(\tau) = \lim_{\beta \rightarrow \omega} \omega^2 e^{-\beta\tau} \frac{\sin \psi\tau}{\psi\tau} U(\tau) = \omega^2 e^{-\omega\tau} U(\tau)$$

Для дійсного гільбертового лінійного процесу $\xi(t)$ математичне сподівання та дисперсію можна записати у вигляді:

$$M\xi(t) = \kappa_1 \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\tau, t) d\tau,$$

$$D\xi(t) = \kappa_2 \int_{-\infty}^{\infty} \varphi^2(\tau, t) d\tau,$$

де $\kappa_1 = M\eta(t)$ та $\kappa_2 = D\eta(t)$ - відповідні кумулянти вхідного процесу $\eta(t)$.

Для стаціонарного вхідного процесу $\kappa_1 = \text{const}$, $\kappa_2 = \text{const}$, тоді зміни математичного сподівання та дисперсії процесу $\xi(t)$, що реєструється датчиком сили, будуть визначатися тільки параметрами ω , ψ , β перехідної характеристики $\varphi(t)$, які залежать від механічних властивостей контрольованої зони виробу.

Аналогічні розмірковування можна розповсюдити і на моменти третього і більш високих порядків. Таким чином, на основі приведеного вище можна зробити висновок, що стохастичні характеристики процесу ударної дії $\xi(t)$ залежать від механічних властивостей контрольованої зони виробу і можуть бути використані в якості інформативних параметрів при діагностиці виробів.

Викладені вище теоретичні положення підтверджують експериментальні результати отримані при неруйнівному контролі стільникових панелей методом низькошвидкісного удару. Експериментальні дослідження проводились на зразках композитних панелей зі стільниковим заповнювачем типу "ИСП-1" та обшивкою на основі склотканини Т42/1-76. Товщина панелі становить 12мм, товщина обшивки - 1,5мм. Моделями дефектів є зони з нанесеним точковим ударом с нормованою енергією $A_{уд}$ в діапазоні від 2,0 до 5,1кДж.

На Фіг.2 наведені гістограми емпіричних законів розподілів тривалості імпульсів ударної взаємодії, а на Фіг.3 - амплітуди імпульсів ударної взаємодії для бездефектної зони - 1 та зон з ударними пошкодженнями з енергією 2,297кДж - 2, з енергією 2,812кДж - 3, з енергією 3,240кДж - 4, з енергією 5,108кДж - 5. У табл.1 та табл.2 подані значення статистичних характеристик (математичного сподівання та середньоквадратичного відхилення) цих законів. Кінетична енергія бойка при вимірюваннях змінювалася за рівномірним законом.

Таблиця 1

Статистичні параметри тривалості імпульсів	дефектність зони (енергія руйнівного впливу, [кДж])				
	бездеф.	2,297	2,812	3,240	5,108
мат. сподівання, [мс]	489,4	732,4	494,6	888,9	1233,8
с.к.в. [мс]	10,3	2,9	7,5	4,9	7,1

Таблиця 2

Статистичні параметри амплітуди імпульсів	дефектність зони (енергія руйнівного впливу, [кДж])				
	бездеф.	2,297	2,812	3,240	5,108
мат. сподівання, [В]	1,82	0,74	0,69	0,46	0,18
с.к.в. [В]	0,25	0,11	0,09	0,07	0,02

У табл.3 подані розраховані значення Т-статистики критерію однорідності Лемана-Розенблата [6] для значень тривалості і амплітуди імпульсів у бездефектній зоні і зонах з відпові-

дними ударними пошкодженнями для вибірок об'ємом 20 значень, а також граничне значення для довірчої ймовірності, що дорівнює 0,95.

Таблиця 3

Значення Т-статистики при порівнянні параметрів	Дефектність зон (енергія руйнівного впливу [кДж])			
	2,297	2,812	3,240	5,108
Тривалості імпульсів	3,376	3,376	3,376	3,376
Амплітуди імпульсів	3,376	3,376	3,376	3,376
Граничне значення Т-статистики для $\alpha=0,95$	0,47			

Як видно з наведених прикладів, статистичні характеристики параметрів імпульсів ударної взаємодії суттєво різняться в бездефектній та дефектних зонах і, таким чином, можуть бути використані в якості інформативних параметрів при неруйнівному контролі. Крім того, отримані значення статистики критерію однорідності перевищують граничне значення, що дає можливість з ймовірністю 0,95 стверджувати, що виміряні параметри у бездефектній зоні та зонах з пошкодженнями належать до різних генеральних сукупностей і не є однорідними.

На Фіг.1 зображено блок-схему пристрою контролю матеріалів та виробів, що заявляється. Пристрій містить генератор імпульсів 1, електромагнітний ударний механізм 2, послідовно з'єднані датчик сили 3, який механічно зв'язаний з електромагнітним ударним механізмом 2, підсилювач 4, аналого-цифровий вимірювальний перетворювач 5, а також джерело напруги 6, що управляється, ключа 7, вхід управління якого підключено до генератора імпульсів 1, а вихід до електромагнітного ударного механізму 2. До складу пристрою також входить генератор випадкових числових послідовностей 8, вихід якого під'єднано до управляючого входу джерела напруги 6 та блока статистичної обробки 9, з'єднаного з виходом аналого-цифрового перетворювача 5.

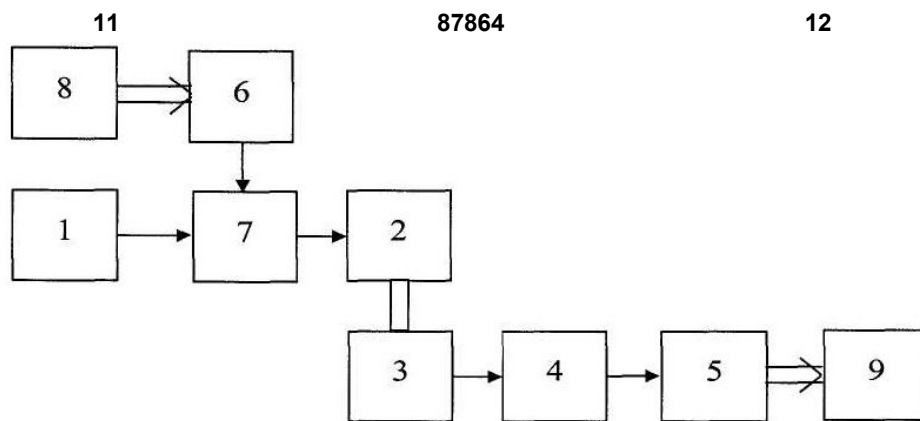
Пристрій працює наступним чином. Генератор випадкових числових послідовностей 8 генерує випадкову числову послідовність з заданими статистичними параметрами: математичним сподіванням, дисперсією, формою закону розподілу, яка подається на управляючий вхід джерела напруги 6. Вихідна напруга джерела 6, яка залежить від коду на управляючому вході, поступає на ключ 7 на виході якого за допомогою імпульсного генератора 1 формуються імпульси напруги, енергія яких змінюється по випадковому закону. Ці імпульси подаються на котушку соленоїда електромагнітного ударного механізму 2, який розганяє бойок. Таким чином змінюється по випадковому закону енергія ударної взаємодії бойка з контрольованою зоною виробу. Імпульс сили ударної взаємодії перетворюється в електричний сигнал за допомогою датчика сили 3 та подається на аналого-цифровий перетворювач 5, який перетворює цей сигнал у числовий вектор і передає його в блок статистичної обробки 9 для подальшого аналізу та обробки. Блок статистичної обробки розраховує значення вимірюваних параметрів імпульсів сили ударної взаємодії, проводить їхнє накопичування та статистичну обробку. Розраховуються характеристики положення, моменти та гістограми законів розпо-

ділу вимірюваних параметрів, також розраховуються значення відповідних статистик для критеріїв, що використовуються (наприклад, критерії згоди та однорідності). Блок статистичної обробки може бути реалізований на базі персонального комп'ютера з відповідним програмним забезпеченням.

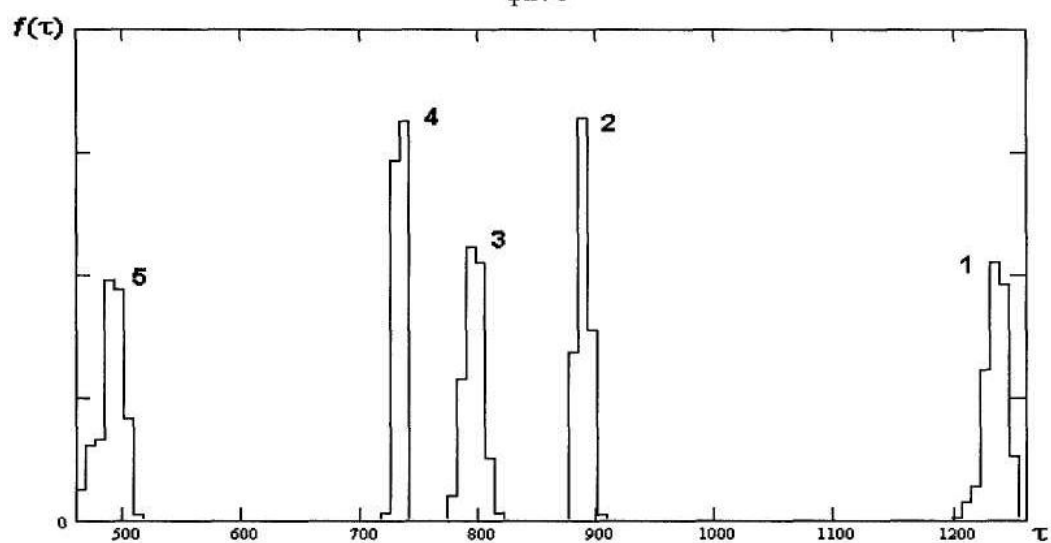
Спосіб неруйнівного контролю матеріалів і виробів і пристрій для його здійснення, що заявляються, дають можливість проводити неруйнівний контроль композиційних та багат шарових матеріалів по опосередкованим параметрам, які являють собою статистичні характеристики параметрів імпульсів ударної взаємодії. Статистичні характеристики є інтегральними величинами, що розраховуються по деякій множині значень параметрів імпульсів і тому мало залежать від впливу випадкових факторів при проведенні неруйнівного контролю. Крім того, статистичні критерії, наприклад, критерій однорідності, дозволяють з певною довірою ймовірністю визначати чи належать виміряні характеристики до однієї генеральної сукупності - цьому випадку буде відповідати відсутність дефектів у контрольованій зоні, чи не належать - у випадку наявності дефектів у зоні. Застосування статистичних характеристик у якості діагностичних ознак та відповідних статистичних критеріїв дає можливість уникнути використання еталонів при неруйнівному контролі, які не завжди можливо виготовити для виробів із композиційних матеріалів.

Джерела інформації

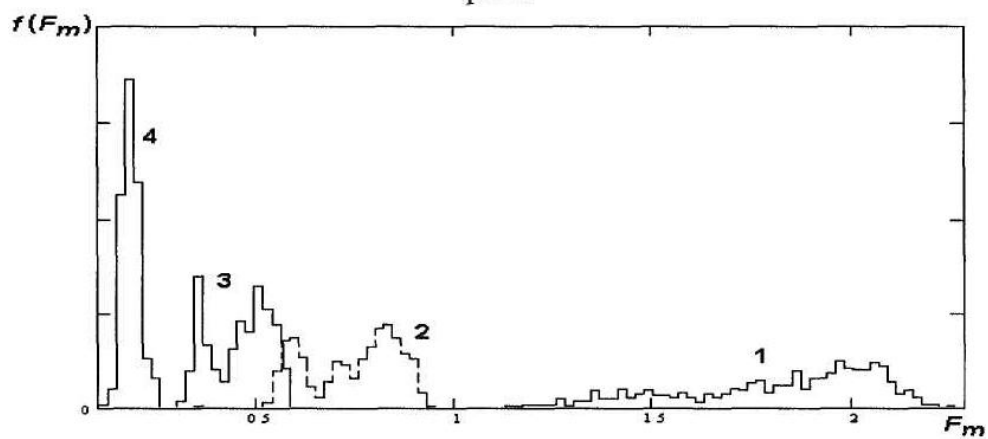
1. Adams R.D., Cawley P. Low-velocity impact inspection of bonded structures // Proceedings of the international conference on structural adhesives in engineering. Bristol, 1986, - P. 139-142.
2. Ланге Ю.В., Ногин С.И. Ударный амплитудно-временной метод определения прочности бетона // Дефектоскопия, 1983, №3. С. 28-34.
3. Cawley P., Adams R.D. The mechanics of the coin-tap method of non-destructive testing. Journal of sound and vibration. - №2 (122). - 1988. P. 299-313.
4. Устройство для контроля качества материалов. А.с. 1679357 СССР, МКИ G01N 29/04. В.С. Еременко, Ю.В. Снегур-Грабовский, А.М. Николаенков (СССР). Заявлено 17.10.1989г.; Опубл. 23.09.1991г., Бюл. №35.
5. Еременко В.С., Марченко Б.Г., Мокийчук В.М. Використання ймовірнісних моделей при діагностиці композитів методом низькошвидкісного удару // Вісник Національного авіаційного університету. №3 - 4.2003. С. 2-6.
6. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1983. - 474с.



фiр. 1



фiр. 2



фiр. 3