



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **84911** (13) **C2**
(51) **МПК (2006)**
G01N 29/12
G01M 7/02 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ЗСУВІВ КОНСТРУКЦІЙ

1

(21) a200610738
(22) 10.10.2006
(24) 10.12.2008
(46) 10.12.2008, Бюл.№ 23, 2008 р.
(72) БАБАК ВІТАЛІЙ ПАВЛОВИЧ, UA, ФІЛОНЕНКО
СЕРГІЙ ФЕДОРОВИЧ, UA, КОРНІЄНКО-
МІФТАХОВА ІРИНА КОСТЯНТИНІВНА, UA
(73) БАБАК ВІТАЛІЙ ПАВЛОВИЧ, UA, ФІЛОНЕНКО
СЕРГІЙ ФЕДОРОВИЧ, UA, КОРНІЄНКО-
МІФТАХОВА ІРИНА КОСТЯНТИНІВНА, UA
(56) RU 2140625 C1, 27.10.1999
JP 9126941, 16.05.1997
RU 2254426 C1, 20.06.2005
SU 1777018 A1, 23.11.1992
JP 4360976, 14.12.1992
JP 2003108618, 11.04.2003

2

(57) Спосіб визначення динамічних зсувів констру-
кцій, що включає реєстрацію за допомогою датчи-
ків прискорення або швидкості виникаючих в ре-
зультаті динамічного навантаження коливань
(вібрацій) з наступним їх перетворенням в сигнал
зсуву і визначенням його характеристик, за якими
визначають динамічний зсув і роблять висновки
про стан і несучу здатність конструкції, який **відрі-
зняється** тим, що при реєстрації коливань спочат-
ку визначають частоту виникаючих коливань (віб-
рацій), за якою встановлюють час перетворення
сигналів прискорення або швидкості в сигнал зсу-
ву, а потім проводять їх перетворення в сигнал
зсуву з урахуванням часу перетворення з визна-
ченням його характеристик, за якими визначають
динамічний зсув і роблять висновки про стан і не-
сучу здатність конструкції.

Винахід стосується контролю і технічної діаг-
ностики конструкцій, а саме визначення парамет-
рів їх динамічних зсувів за сигналами прискорення
або швидкості коливань (вібрацій), які залежать від
напружено-деформованого стану і несучої здатно-
сті конструкцій.

Відомий, найбільш близький за технічною сут-
тю до об'єкту, що заявляється, є спосіб визначен-
ня динамічних зсувів конструкцій [див. Электриче-
ские измерения. Средства и методы измерений /
Под общей редакцией Е.Г. Шрамкова. - М.: Выс-
шая школа, 5972. - С.445-448, 57-61], який вклю-
чає реєстрацію за допомогою датчиків прискорен-
ня або швидкості виникаючих коливань (вібрацій) з
наступним їх перетворенням в сигнал зсуву і ви-
значенням його характеристик, за якими роблять
висновки про динамічний зсув і, як наслідок, стан і
несучу здатність конструкції. В якості вище згада-
них характеристик використовують параметри, що
описують динамічний зсув конструкцій, а саме ам-
плітуду сигналу зсуву або резонансну амплітуду в
спектрі сигналу зсуву, які визначають за парамет-
рами реєстрованих сигналів коливань (вібрацій).

Недоліки цього способу витікають з того, що
при його реалізації використовують перетворення

прискорення або швидкості в зсув за допомогою,
відповідно, подвійного або одинарного інтегруван-
ня з використанням постійної величини часу пере-
творення. Однак, при проведенні випробувань
конструкцій та об'єктів, з використанням збуджен-
ня коливань (вібрацій), їх резонансні частоти мо-
жуть змінюватися в достатньо широкому діапазоні
значень, що залежить від виду конструкції, вико-
ристаних матеріалів, технології виготовлення,
строків експлуатації тощо. Використання же по-
стійного значення часу перетворення приводить
до виникнення не лінійності коефіцієнту перетво-
рення від частоти, тобто при переході від прискорення до швидкості відбувається зменшення коефіцієнта перетворення зі збільшенням частоти, а при переході від швидкості до зсуву це зменшення ще більше. При цьому відбувається і зменшення частотного діапазону реєстрації сигналів коливань.

Існування подібних залежностей пов'язано з тим, що амплітуда сигналу зсуву після перетворення при заданому значенні постійної перетворення залежить від резонансної частоти реєстрованого вхідного сигналу, що потребує використання номограм для визначення коефіцієнту перетворення в залежності від частоти. Таким

(13) **C2**

(11) **84911**

(19) **UA**

чином, використання постійного значення часу перетворення приводить до значного зменшення чутливості, розрізнявальної здатності і достовірності визначення динамічних зсувів конструкцій, і, як наслідок, виникненню значних похибок визначення їх динамічних характеристик, які можуть досягати 100 % дійсних величин. Крім того, це може приводити до похибок в прийнятті рішень; про технічний стан конструкцій. В той же час, можливо використати безпосередньо датчики зсувів. Однак, це приводить до збільшення ваги (десять кілограмів тільки для датчиків) і габаритів апаратуного забезпечення, необхідності застосування додаткових громіздких пристосувань його розташування на конструкції, значного збільшення вартості обладнання та його транспортування, збільшення часу на проведення випробувань та їх трудомісткості.

В основу винаходу покладено задачу такого удосконалення способу визначення динамічних зсувів конструкцій, при якому за рахунок визначення початку частоти (періоду) виникаючих коливань (вібрацій) за якою визначають і встановлюють постійну часу перетворення сигналів прискорення або швидкості в сигнал зсуву, а потім виконується проведення їх перетворення в сигнал зсуву з визначенням його характеристик, забезпечується зниження похибки вимірювань динамічних зсувів конструкцій та прийняття рішень про їх стан, підвищується достовірність результатів вимірювань, знижується трудомісткість, тривалість та витрати на проведення випробувань, підвищується їх технологічність.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі визначення динамічних зсувів конструкцій, що включає реєстрацію за допомогою датчиків прискорення або швидкості виникаючих коливань (вібрацій) з наступним їх перетворенням в сигнал зсуву і визначенням його характеристик, за якими роблять висновки про динамічний зсув і, як наслідок, стан і несучу здатність конструкції, згідно винаходу, спочатку визначають частоту (період) виникаючих коливань (вібрацій) за якою визначають і встановлюють постійну часу перетворення сигналів прискорення або швидкості в сигнал зсуву, а потім проводять їх перетворення в сигнал зсуву з визначенням його характеристик, за якими роблять висновки про динамічний зсув і, як наслідок, стан і несучу здатність конструкції.

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак, що заявляються і технічними результатами, що досягаються полягає у наступному. При прикладенні до конструкції любого динамічного навантаження, наприклад, удар, вітрові потоки, рух транспортних засобів тощо, відбувається виникнення її коливань (вібрацій). При цьому відомо, що найбільш чутливими до коливань є датчики прискорення або швидкості, які мають достатньо широку смугу пропускання, незначну вагу та габарити. Однак при діагностиці стану конструкцій важливим є визначення їх динамічних зсувів. Це потребує переходу від прискорень і швидкості до зсувів, тобто проведення необхідного перетворення реєстрованих сигналів за допомогою, відповідно, подвійного або одинарного інтегрування

$$U_B(t) = \frac{k}{\delta_0} \int_0^t \int_0^t a(\tau) d\tau d\tau, \quad 0 < t \leq \delta_0, \quad (1)$$

$$U_B(t) = \frac{k}{\delta_0} \int_0^t v(\tau) d\tau, \quad 0 < t \leq \delta_0. \quad (2)$$

де U_B - вихідна напруга, яка пропорційна зсуву; k - коефіцієнт пропорційності; $a(\tau)$ - прискорення; $v(\tau)$ - швидкість; δ_0 - постійна перетворення.

При такому перетворенні необхідно вибирати і задавати постійну перетворення δ_0 . Це забезпечується за допомогою електронних засобів, а саме R і C елементів інтегруючого ланцюга. Оскільки вони є незмінними, то постійна перетворення $\tau = RC$ є незмінною і не залежить від частоти реєстрованого сигналу коливань.

Однак, як показують дослідження її значення, в залежності від частоти реєстрованого сигналу прискорення або швидкості, має значний вплив на амплітуду вихідного сигналу зсуву, за якою визначається дійсний динамічний зсув конструкції. Дослідження показали, що при відомій частоті коливань (періоду) існує певний інтервал значень часу перетворення, при яких амплітуда сигналу зсуву після перетворення практично є постійною величиною, якій відповідає достовірне визначення величини динамічного зсуву, тобто визначення зсуву з мінімальною похибкою (Фіг.1). Даній умові відповідає інтервал значень часу перетворення, який пов'язаний з періодом реєстрованого сигналу прискорення або швидкості

$$\delta = \frac{6}{16} T \div \frac{11}{16} T, \quad (3)$$

де $T = 1/f$ - період сигналу прискорення або швидкості коливань, а f - їх частота.

В даний інтервал величин входить і значення $\delta = T/2$, тобто величина, яка дорівнює половині періоду сигналу. При даній умові, наприклад, для датчика швидкості, перетворення, згідно виразу (2), на інтервалі часу рівному половині періоду коливань буде відбуватися у вигляді

$$U_B(t) = \frac{k}{\delta} \int_0^t v(\tau) d\tau, \quad 0 < t \leq \delta, \quad (4)$$

де $\delta = T/2$ - час, якій дорівнює половині періоду коливань, а на інтервалі часу більше половини періоду коливань

$$U_B(t) = \frac{k}{\delta} \int_{1-\delta}^t v(\tau) d\tau, \quad t > \delta. \quad (5)$$

При проведенні перетворення, згідно з виразами (5) і (6), з урахуванням визначення частоти (періоду) сигналу прискорення або швидкості коливань, а потім визначення і застосування значення часу перетворення, згідно виразу (3), з наступним перетворенням сигналів в сигнал зсуву, за амплітудою якого визначається дійсне значення динамічного зсуву.

Якщо не проводити попереднє визначення частоти прискорення або швидкості коливань, а потім встановлювати значення часу перетворення для заданої частоти, згідно виразу (3), то, наприклад, при частоті швидкості коливань 3Гц з макси-

мальною амплітудою 6,073 В похибка визначення тільки амплітуди електричного сигналу зсуву коливань з частотою 3Гц, може становити більш 70%. За даних умов при визначенні дійсного значення динамічного зсуву ця похибка буде також становити більш 70% (Фіг.1).

Отже при реєстрації сигналів прискорення або швидкості коливань конструкції з визначенням спочатку їх частоти, а потім корегуванням часу перетворення дозволяє значно зменшити похибку визначення динамічного зсувів конструкції і, як наслідок, зменшити похибки прийняття рішень про стан і несучу здатність конструкції.

Таким чином, не викликає сумнівів, що використання первинного визначення частоти виникаючих коливань за допомогою датчиків прискорення або швидкості і наступне корегування часу перетворення для визначеної частоти, який враховується при проведенні перетворення сигналів прискорення або швидкості в сигнал зсуву і обробкою його параметрів є ефективним способом зменшення похибки визначення динамічних зсувів (характеристик) конструкцій. При цьому відпадає необхідність використання дорогих і зі значною вагою датчиків зсувів, зменшуються габарити необхідного обладнання, відпадає необхідність застосування додаткових громіздких пристосувань їх розташування на конструкції, значно зменшується вартість обладнання та його транспортування, зменшується час на проведення випробувань та їх трудомісткість, підвищується їх технологічність.

Приклад конкретної реалізації способу, що залягає

Визначався динамічний зсув балки розміром 2000мм×30мм×12мм з невідомою частотою коливань. Балка була виготовлена зі сталі Ст.3. З кожного краю вона була закріплена на нерухомих опорах. В центральній її частині (посередині) був встановлений стандартний індукційний перетворювач типу СВ-10Ц, на виході якого реєструється сигнал швидкості вертикальних переміщень, а також встановлений індикатор стрілочного типу, який фіксував максимальний динамічний зсув (максимальне вертикальне переміщення балки).

Навантаження балки виконували ударом гумового шарика, що був заповнений піском, який падав на балку з висоти 25см, в області встановленого перетворювача. Маса шарика складала 2Н. Одночасно з навантаженням балки виконувалась реєстрація і обробка виникаючих вільних коливань.

Випробування проводилися в два етапи. При первинному навантаженні виконувалась реєстрація виникаючих коливань за допомогою перетворювача швидкості. Проводилась їх обробка з перетворенням сигналу швидкості в сигнал зсуву згідно виразу (2) при довільному значенні часу перетворення з наступним визначенням значення динамічного зсуву за максимальною амплітудою сигналу зсуву. Значення часу перетворення було прийнято рівним $\delta=0,2857\text{с}$, значення якого при періоді сигналу $T=0,3333\text{с}$ лежить за межами часу перетворення згідно виразу (3). Після визначення динамічного зсуву його значення порівнювалось з дійсним динамічним зсувом, який було визначено за допомогою індикатору стрілочного типу, з роз-

рахунками відповідної похибки визначення динамічного зсуву. На другому етапі проводилось повторне ударне навантаження балки з реєстрацією виникаючих сигналів швидкості коливань з визначенням спочатку частоти (періоду) коливань та встановленням часу перетворення, значення якого визначалось як $\delta=T/2$ (лежить в межах значень згідно виразу (3)), а потім проводилось перетворення сигналу швидкості в сигнал зсуву, згідно виразам (4) і (5), з урахуванням часу перетворення, та наступне визначення динамічного зсуву за максимальною амплітудою сигналу зсуву. Після визначення динамічного зсуву його значення порівнювалось з дійсним динамічним зсувом, який було визначено за допомогою індикатору стрілочного типу, з розрахунками відповідної похибки визначення динамічного зсуву.

Результати експериментів проілюстровано на Фіг.1, Фіг.2 та Фіг.3, де на Фіг.1 показано залежність зміни динамічного зсуву від часу перетворення, де: x - амплітуда динамічного зсуву, яка визначається за амплітудою електричного сигналу зсуву коливань; x_d - дійсне значення динамічного зсуву; δ - час перетворення; T - період зареєстрованого сигналу коливань; δ_1, δ_2 - інтервал значень часу перетворення в якому визначається дійсне значення динамічного зсуву. На Фіг.2 показано залежність зміни електричного сигналу швидкості вільних коливань балки, зареєстрованого індукційним датчиком швидкості, при ударному її навантаженні, де: U' - амплітуда електричного сигналу швидкості коливань; t - час реєстрації коливань. На Фіг.3 показано залежність зміни електричного сигналу зсуву вільних коливань балки, після виконання перетворення без проведення корегування часу перетворення з деяким довільним його значенням, яке прийнято рівним $\delta=(6/7)T$ ($T=0,3333\text{с}$ - період зареєстрованого сигналу коливань), де: U - амплітуда електричного сигналу зсуву коливань; t - час реєстрації коливань. На Фіг.4 показано залежність зміни електричного сигналу зсуву вільних коливань балки, після виконання перетворення з проведенням корегування часу перетворення (згідно виразу (3)), значення якого дорівнює $\delta=T/2$ (значення $T=0,3333\text{с}$ відповідає періоду коливань зареєстрованого сигналу), де: U - амплітуда електричного сигналу зсуву коливань; t - час реєстрації коливань.

При первинному ударному навантаженні балки зареєстровано сигнал швидкості коливань (Фіг.2). При цьому дійсний зсув, визначений за допомогою індикатору стрілочного типу склав $x_d=19,26\text{мм}$. Згідно виразу (2) проведено перетворення сигналу швидкості коливань в сигнал зсуву (Фіг.3) з довільним значенням часу перетворення, величина якого була прийнята рівною $\delta=0,2857\text{с}$. За максимальною амплітудою сигналу зсуву визначено величину динамічного зсуву, значення якого склало $x_e=14,14\text{мм}$. Отже похибка визначення динамічного зсуву складає $\Delta_1=26,6\%$. При цьому обробка сигналу швидкості показала, що його частота складала 3Гц, а період - 0,3333с. За таких умов застосована величина часу перетворення лежить за межами інтервалу значень, згідно виразу (3). За результатами обробки сигналу швидкості коливань балки при її повторному ударному нава-

нтаженні визначено, що період виникаючих коливань балки складає $T=0,3333\text{с}$, тобто частота коливань складає $3,0\text{Гц}$, так як і в першому випадку. При цьому дійсний зсув, який визначено за допомогою індикатора стрілочного типу склав $x_d=19,45\text{мм}$. Згідно визначеної частоти застосовано значення часу перетворення, у відповідності з виразом (3), величина якого дорівнювала $\delta=T/2=0,16665\text{с}$, та за виразами (4) і (5) проведено перетворення сигналу швидкості коливань в сигнал зсуву (Fig.4). За максимальною амплітудою сигналу зсуву визначено величину динамічного зсуву, значення якого склало $x_b=20,15\text{мм}$. Отже

похибка визначення динамічного зсуву складає $\Delta_2=3,5\%$.

Таким чином похибка визначення динамічного зсуву без корегування значення часу перетворення, відповідно до частоти реєстрованих коливань, склала $26,6\%$, в той час, як введення корегування часу перетворення, відповідно до частоти реєстрованих коливань, дозволяє визначити дійсні значення динамічного зсуву з похибкою $3,5\%$. Отже відбувається зниження похибки визначення динамічного зсуву в більш ніж в 7 разів, що, безумовно, значно підвищує точність вимірювань.

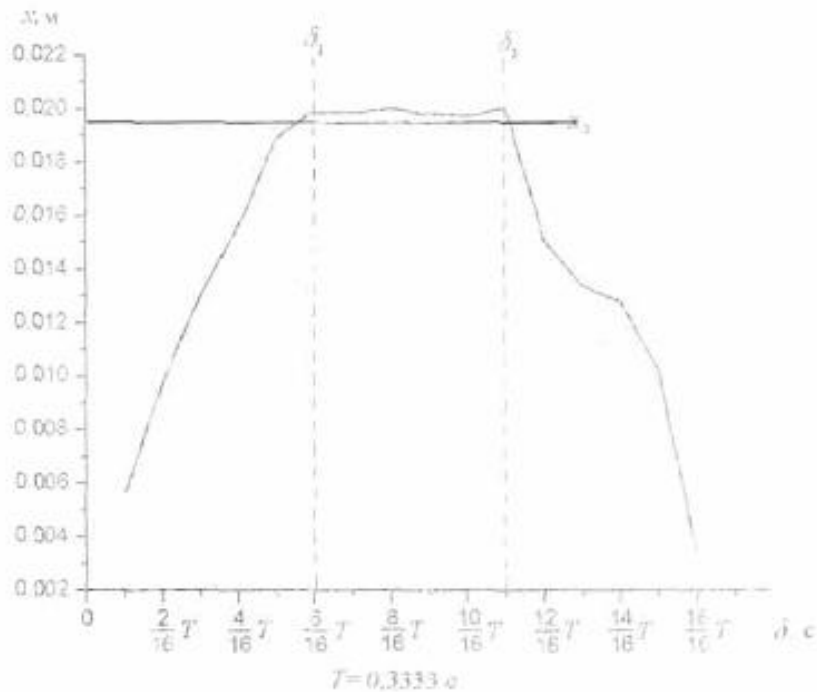


Fig. 1

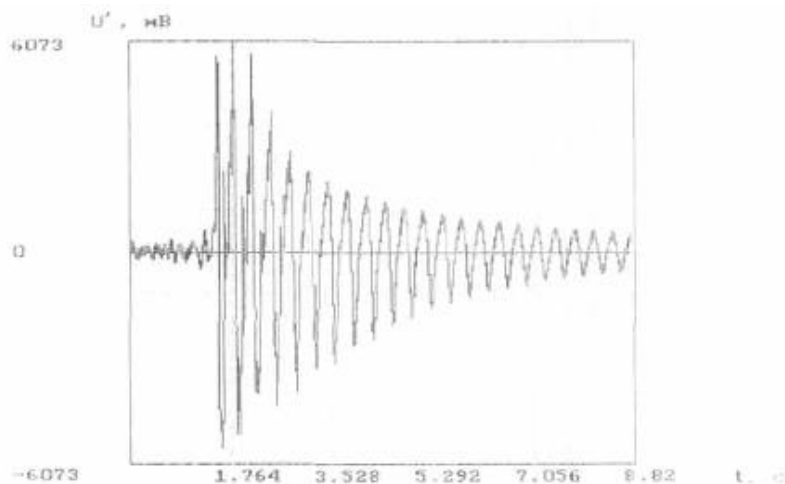


Fig. 2

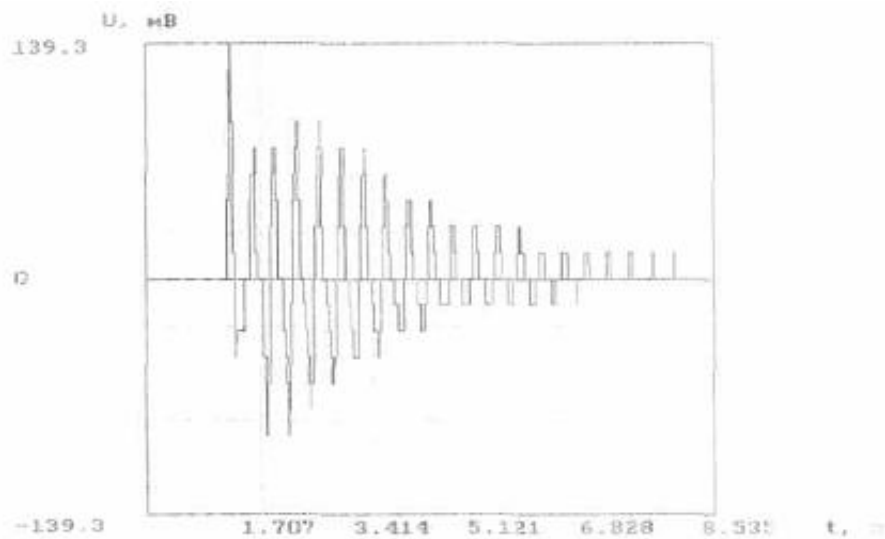


Fig. 3

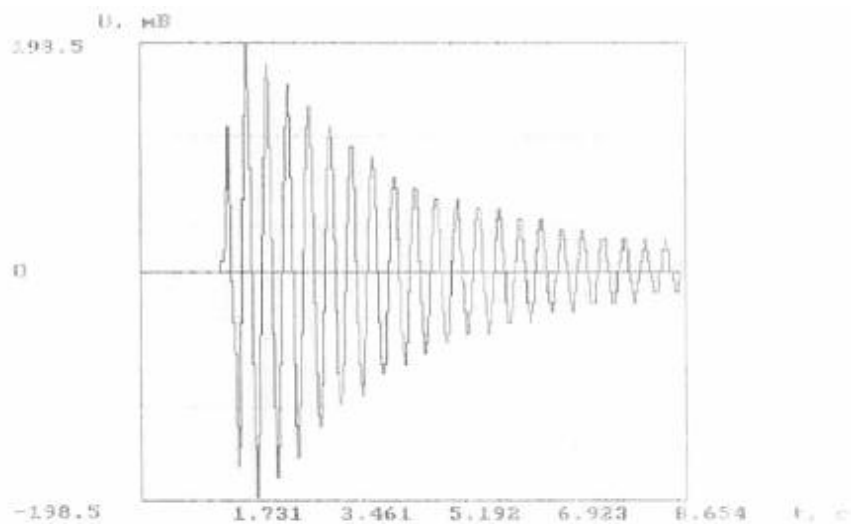


Fig. 4