



УКРАЇНА

(19) UA (11) 38438 (13) A

(51) 7 G01M7/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ РОБОТИ МАШИНИ

(21) 2000073932

(22) 04.07.2000

(24) 15.05.2001

(33) UA

(46) 15.05.2001, Бюл. № 4, 2001 р.

(72) Нагорний В'ячеслав Михайлович

(73) Сумський державний університет (СумДУ)

(57) Спосіб визначення залишкового ресурсу роботи машини, що полягає в періодичному проведенні кількаретрових вимірів у звуковому діапазоні частот амплітуди коливань корпусу машини, усередненні цих вимірів і наступному опрацюванню результатів, який відрізняється тим, що виміри амплітуди коливань проводять у широкополосному звуковому діапазоні частот, який включає ділянки частотного спектру, що містять частоти коливань обраних вузлів машини, у найближчих до них на корпусі машини точках контролю по черзі, у обраних у цих точках напрямках, і розраховують залишковий ресурс для кожного з напрямків вимірів у кожній із точок контролю за формулою:

$$t_{\text{зал}} = T_p - t_{\text{пот}},$$

де: $t_{\text{пот}}$ - наробіток машини на момент визначення її залишкового ресурсу;

T_p - дослідний параметр, який обирають шляхом апроксимації часової залежності для амплітуди коливань $A(t)$

$$A(t) = A_0[(T_p - t_0)/(T_p - t_i)]^n,$$

де t_0, t_i - наробіток машини, відповідно, на момент першого і наступних вимірів;

A_0 - амплітуда коливань, яка реєструється при початковому вимірі;

$A(t)$ - розрахункове значення амплітуди коливань на момент наробітку t ,

n - показник ступеню, що відбиває фізику руйнування машини,

а як залишковий ресурс машини приймається мінімальне з розрахованих.

Винахід відноситься до машинобудування і може бути використаний для прогнозування під час експлуатації залишкового ресурсу роботи машини з обертовим або зворотно-поступальним рухом її робочого органу, зокрема, насосів і ДВЗ.

Відомий спосіб визначення залишкового ресурсу роботи машини, застосовуваний для підшипникових вузлів (ас. СРСР № 1552043, кл. G 01 M 13/04, 1987). Суть способу полягає у вимірі в ультразвуковому діапазоні частот амплітуди коливань корпусу підшипникового вузла машини, що характеризуються величиною енергії $W_{\text{ае}}$ акустичної емісії (АЕ), що випромінюється підшипником, який обертається.

Залишковий ресурс роботи вузла ($t_{\text{зал}}$) обчислюють за формулою

$$t_{\text{зал}} = 1/c - t, \quad (1)$$

Параметр c є одним з аргументів формули (2), що описує тимчасову залежність $W_{\text{ае}}(t)$ для енергії АЕ.

$$W_{\text{ае}}(t) = (a + bt)/(1 - ct), \quad (2)$$

Коефіцієнти b і c визначаються із системи рівнянь

$$W_{\text{ае}}(t_1) = (a + bt_1)/(1 - ct_1),$$

$$W_{\text{ае}}(t_2) = (a + bt_2)/(1 - ct_2),$$

які описують розмір енергії АЕ при наробітку t_1 і t_2 .

Розмір a визначається як значення $W_{\text{ае}}(t)$ при $t = 0$, тобто спочатку експлуатації вузла ($a = W_{\text{ае}}(t = 0)$).

Проте даний спосіб має недостатню точність визначення залишкового ресурсу машин, оскільки вібрації, що виникають при їхній роботі, є істотним джерелом перехід для сигналу АЕ. Це пояснюється тим, що енергія цих вібрацій на декілька порядків більше енергії сигналу АЕ.

За прототип обрано спосіб визначення залишкового ресурсу роботи машини (Попков В.И. и др. Виброакустическая диагностика в судостроении. Л.: Судостроение, 1989. - 256 с., стр. 69-70).

Періодично і щораз неодноразово проводять виміри в звуковому діапазоні частот амплітуди коливань корпусу машини. Результати цих вимірів

(13) A

(11) 38438

(19) UA

усереднюють і піддають наступному опрацюванню, при якому залишковий ресурс роботи машини ($t_{\text{зап}}$) визначають за формулою (3), що отримана з формули (4), шляхом розв'язання її відносно t і підстановці в ліву частину логарифму гранично припустимої за нормами віброактивності амплітуди коливань A_p .

$$t_{\text{зап}} = [\ln A_p - (\ln A)_{\text{ср}}] / a - t_{\text{ср}}, \quad (3)$$

Формула (4) описує часову залежність для натурального логарифма $\ln A(t)$ амплітуди коливань $A(t)$.

$$\ln A(t) = (\ln A)_{\text{ср}} + a(t - t_{\text{ср}}), \quad (4)$$

де: $(\ln A)_{\text{ср}}$ - величина логарифму амплітуди коливань, що відповідає наробіткові, рівному середньому значенню початкового і поточного наробітків машини;

$t_{\text{ср}}$ - середнє значення наробітку;

a - коефіцієнт розмірності, що визначається із рівняння

$$a = \frac{\ln A(t) - (\ln A)_{\text{ср}}}{t - t_{\text{ср}}}.$$

Недолік цього способу полягає в тому, що контроль за станом вузлів машини, які цікавлять, проводиться непрямым чином, шляхом виміру коливань корпусу машини в одному просторовому напрямку в точках, досить далеко віддалених від цих вузлів. Проте коливання корпусу в точці контролю, як правило, істотно відрізняються від вихідних коливань вузлів.

По-перше, коливання корпусу являють собою нелінійну суперпозицію коливань усіх працюючих вузлів машини, що зазнали до того ж істотних змін як за амплітудою, так і за фазою на шляху поширення коливань від вузла до контрольної точки.

По-друге, потрібно реєструвати максимальну амплітуду коливань корпусу машини, проте орієнтація амплітуди в просторі початкове невідома і, крім того, з часом у міру зміни технічного стану машини орієнтація змінюється. Виняток складають машини із зворотно-поступальним рухом робочого органу, наприклад, ДВЗ, де орієнтація максимальних коливань корпусу не змінюється тому, що ці коливання постійно спрямовані перпендикулярно корпусу машини.

До недоліків слід також віднести використання при обробці результатів вимірів гранично припустимого розміру амплітуди коливань $A_{\text{гп}}$. Цей розмір не можна задати індивідуально для кожного аналізованого зразка машини. За своєю природою вона є середньостатистичним параметром і ставиться до конкретного зразка машини з визначеною долею ймовірності, як правило дуже малої, що призводить до істотної розбіжності між розрахунковим і фактичним ресурсом машини.

Зазначені недоліки знижують точність визначення індивідуального ресурсу машини. В основу винаходу поставлена задача удосконалення способу визначення залишкового ресурсу роботи машини шляхом виміру в широкому звуковому діапазоні частот по черзі в обраних просторових напрямках коливань її корпусу в найближчих до обрано-

го вузла машини точках, що мінімізує розходження між результатами вимірів і коливаннями вузла машини, що цікавить, і забезпечує тим самим підвищення точності визначення індивідуального залишкового ресурсу машини.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі визначення залишкового ресурсу роботи машини, переважно з обертальним або зворотно-поступальним рухом робочого органу, періодично проводять кількісні виміри в звуковому діапазоні частот амплітуди коливань корпусу машини, усереднюють ці виміри і піддають наступній обробці, відповідно до винаходу вимірюють амплітуди коливань у широкополосному звуковому діапазоні частот, що включає ділянки частотного спектра, які містять частоти коливань обраних вузлів машини, у найближчих до них на корпусі машини точках контролю, по черзі в обраних у цих точках напрямках і розраховують залишковий ресурс для кожного з напрямків вимірів у кожній із точок контролю за формулою:

$$t_{\text{зап}} = T_p - t_{\text{пот}}, \quad (5)$$

де: $t_{\text{пот}}$ - наробіток машини на момент визначення її залишкового ресурсу;

T_p - дослідний параметр, який обирають шляхом апроксимації часової залежності для амплітуди коливань $A(t)$

$$A(t_i) = A_0[(T_p - t_0)/(T_p - t_i)]^n, \quad (6)$$

де: t_0 , t_i - наробіток машини, відповідно, на момент першого і наступних вимірів;

A_0 - амплітуда коливань, яка реєструється при початковому вимірі;

$A(t_i)$ - розрахункове значення амплітуди коливань на момент наробітку t_i ,

n - показник ступеню, що відбиває фізику руйнування машини, а як залишковий ресурс машини приймається мінімальне з розрахованих.

Таким чином, здійснення способу, що пропонується, в сукупності з всіма істотними ознаками, включаючи відмінні, дозволяє підвищити точність визначення індивідуального ресурсу машин за рахунок виміру коливань корпусу машини в точках, розташованих у безпосередній близькості від її вузлів, які цікавлять, у широкополосному діапазоні частот, що включає всі ділянки частотного спектра, де виявляються частоти коливань, які генеруються цими вузлами і в обраних у кожній із точок взаємно ортогональних напрямках, що дозволяє мінімізувати зміни коливань на шляху від вузла машини, що їх генерує, до точки їхньої реєстрації, по-перше, за рахунок граничного скорочення шляху поширення коливань від вузла машини, який цікавить, до точки їхньої реєстрації, по-друге, - гарантованого охоплення всіх ділянок частотного спектра, де виявляються коливання вузлів, які цікавлять, і, по-третє, - гарантованого виміру довільно орієнтованої в просторі максимальної амплітуди коливань за рахунок реєстрації її ортогональних складових. Підвищення точності визначення залишкового ресурсу обумовлене також використанням при опрацюванні результатів вимірів апроксимуючої функції, яка обирається на основі фізики руйнування, що дозволяє уникнути застосування

середньостатистичного по своїй природі, і тому стосовного, з малою долею можливості, до конкретного зразка машини, значення граничного рівня коливань.

На фіг. 1 показана схема реалізації способу визначення залишкового ресурсу роботи машини з обертальним рухом робочого органу, наприклад, відцентрового насосу, на фіг. 2 - те ж для машини з зворотно-поступальним рухом робочого органу, наприклад, ДВЗ.

Запропонований спосіб визначення залишкового ресурсу машин здійснюється таким шляхом. На корпусі машини 1, у найближчих до обраних вузлів 2 і 3 машини точках 4, 5 контролю по черзі в обраних у цих точках напрямках за допомогою віброретворювача (датчика) 6 і віброметра 7 вимірюють амплітуду коливань (фіг. 1, 2). Наприклад, для машин з обертальним рухом робочого органу амплітуду коливань вимірюють по черзі в трьох взаємно перпендикулярних напрямках у точці 4 контролю - 4x, 4y, 4z, у точці 5 контролю - 5x, 5y, 5z (фіг. 1); для машин із зворотно-поступальним рухом робочого органу - в одному напрямку, перпендикулярно корпусу машини в точці 4 контролю - 4x і в точці 5 контролю - 5x (фіг. 2).

Виміри проводять у широко полосному звуковому діапазоні частот, що включає ділянки частотного спектра, що містять частоти коливань обраних вузлів машини, періодично протягом усього терміну експлуатації машини, щораз неодноразово. Результати вимірів для одержання статистичної достовірності усереднюють і перетворюють у масив даних, складений із значень залишкових ресурсів $t_{\text{зан}}$, отриманих розрахунково для кожного з напрямків вимірів, проведених у кожній із точок контролю. Розрахунок проводиться за формулою

$$t_{\text{зан}} = T_p - t_{\text{пот}}, \quad (7)$$

де: $t_{\text{пот}}$ - поточний наробіток;

T_p - параметр, що входить у формулу (8).

$$A(t_i) = A_0[(T_p - t_0)/(T_p - t_i)]^n, \quad (8)$$

де: t_0, t_i - наробіток машини, відповідно, на момент першого і наступних вимірів;

A_0 - амплітуда коливань, яка реєструється при початковому вимірі;

$A(t_i)$ - розрахункове значення амплітуди коливань на момент наробітку t_i ;

n - показник ступеня, що відбиває фізику руйнування машини.

Розмір T_p , а також показник ступеню n , визначаються в результаті апроксимації зміни в часі амплітуд коливань корпусу, одержуваних у результаті їхніх регулярних вимірів. Як залишковий ресурс машини приймається мінімальне з належних до зазначеного масиву даних значення залишкового ресурсу.

$$t_{\text{зан}} = t_{\text{зан}}^{\min}.$$

Приклад. Для визначення залишкового ресурсу насосного агрегату АВН 60/198, що використовується для подачі споживачам гарячої води з котельної, регулярно через кожні сім днів протягом місяця вимірювалися амплітуди коливань опорних вузлів 2 і 3 у точках 4 і 5 контролю на корпусі 1 насосу (фіг.1). Виміри проводилися в широко полосному звуковому діапазоні частот по черзі в трьох взаємно перпендикулярних напрямках у точці 4 контролю - 4x, 4y, 4z і в точці 5 контролю - 5x, 5y, 5z щораз неодноразово (5 разів). Результати вимірів після їх усереднення наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Усереднені результати виміру коливань опор насосу А, мм/сек

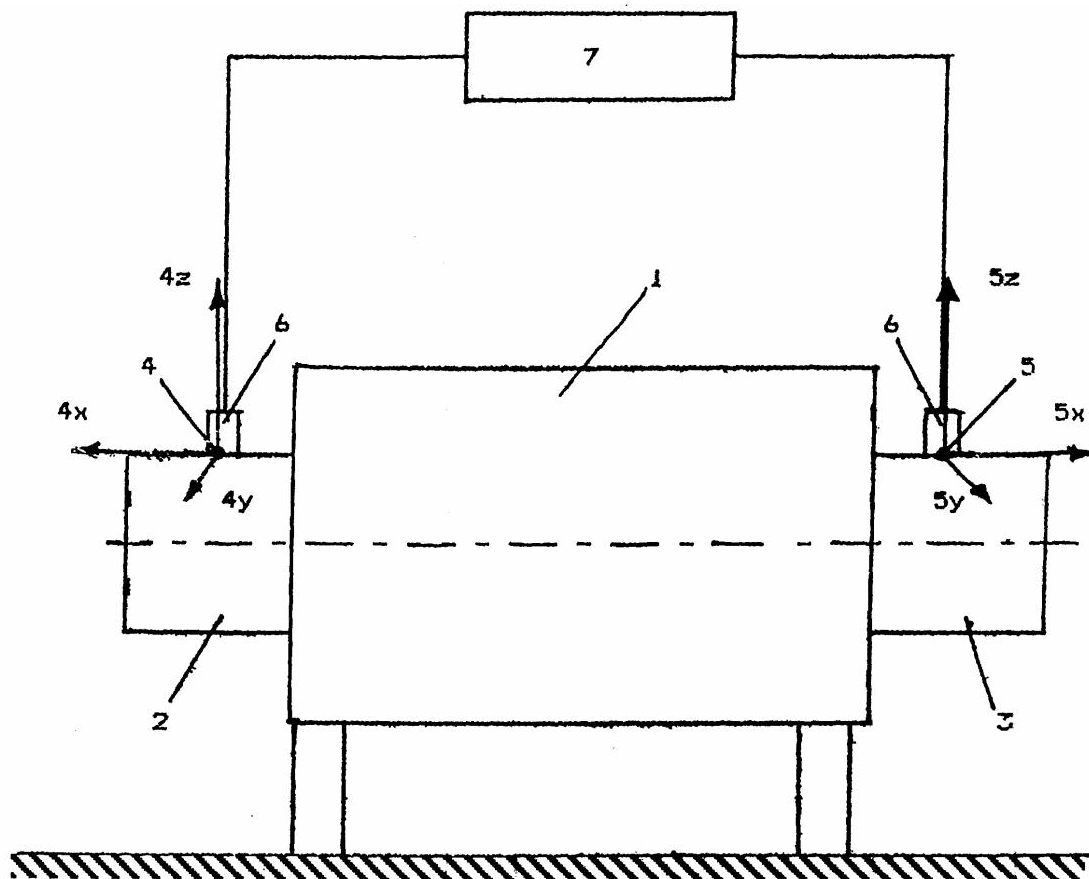
Точка і напрямлення вимірів	Наробіток насосу на момент вимірів у добі			
	0	7	14	21
4x	1,15	1,14	1,10	1,20
4y	2,00	3,10	2,10	2,30
4z	2,90	3,20	4,40	4,20
5x	0,90	1,10	0,97	1,18
5y	1,70	2,50	2,80	2,90
5z	2,10	1,76	2,90	2,80

Результати розрахунку залишкового ресурсу ($t_{\text{зан}}$), виконаного за формулою (5), наведені в таблиці 2.

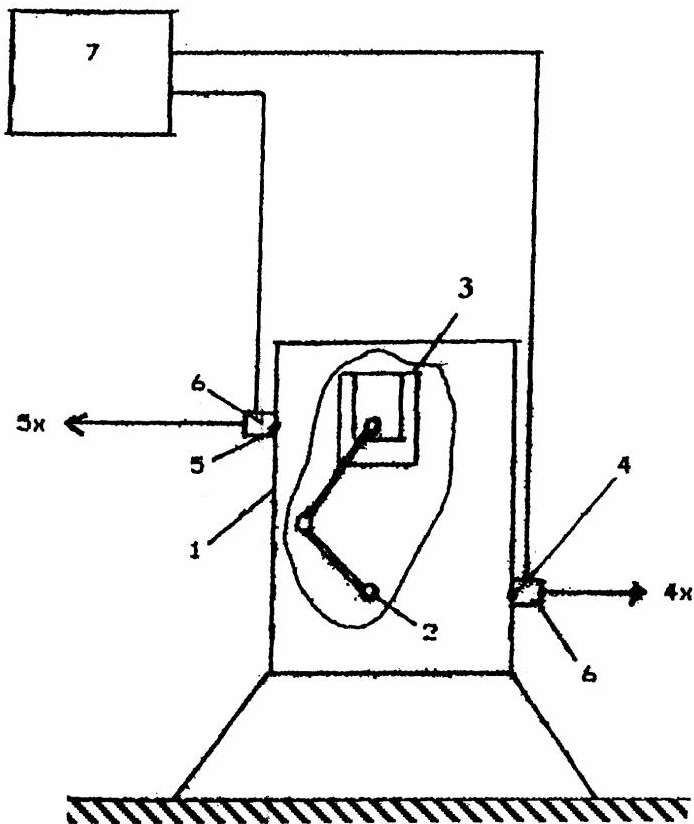
Як впливає з таблиці 2 на 21 добу наробітку як залишковий ресурс варто прийняти 26 діб.

Результати розрахунку залишкового ресурсу $t_{\text{зал}}$, діб

Точка і напрямлення, для якого визначався ресурс	Наробіток насоса на момент вимірів у добі			
	0	7	14	21
4x	-	133	266	63
4y	-	13	56	84
4z	-	40	5	39
5x	-	28	79	63
5y	-	13	21	26
5z	-	133	5	32



Фіг. 1



Фіг. 2

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
 Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
 (044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60x84 1/8.
 Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
 (044) 268-25-22