



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 102549

(13) U

(51) МПК

G01M 7/02 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2015 02866**

(22) Дата подання заявки: **30.03.2015**

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **10.11.2015**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **10.11.2015, Бюл.№ 21**

(72) Винахідник(и):

**Ігуменцев Євген Олександрович (UA),
Прокопенко Олена Олександрівна (UA)**

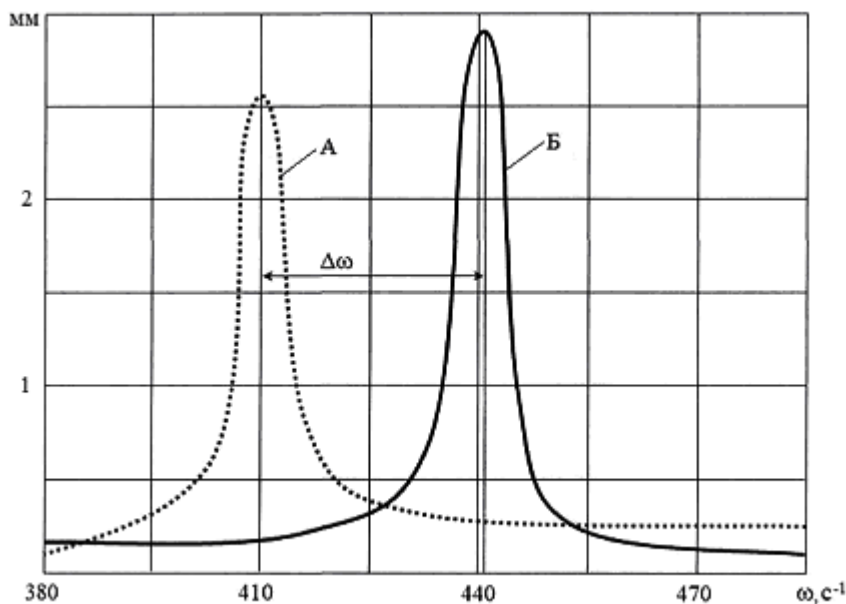
(73) Власник(и):

**УКРАЇНСЬКА ІНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГІЧНА
АКАДЕМІЯ,
вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003
(UA)**

(54) СПОСІБ КОНТРОЛЮ СТАНУ РОБОЧИХ ЛОПАТОК ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ

(57) Реферат:

Спосіб контролю лопаток газоперекачувального агрегату шляхом реєстрації миттєвої віброшвидкості корпусу турбомашини нерухомим датчиком, обробки отриманого сигналу і подальшого вибору величини амплітуди вібрацій лопаток. Реєстрацію миттєвої віброшвидкості корпусу ГПА виконують на частоті обертання ротора, кратність якої відповідає частоті власних коливань лопаток контрольованого рівня. За величину амплітуди вібрацій лопаток приймають величину амплітуди резонансної гармоніки, виділеної з зареєстрованого сигналу.



Фиг. 3

UA 102549 U

Корисна модель належить до техніки вимірювання амплітуди вібрацій рухомих лопаток в турбомашині, яка працює, і може бути використана у всіх галузях народного господарства, для контролю резонансних вібрацій робочих лопаток турбін і компресорів в процесі експлуатації [1].

Відомий спосіб контролю шляхом вимірювання вібрацій лопаток при їх нормальній роботі.

5 Спосіб заснований на використанні магнітних датчиків, встановлених в певних точках кола ротора. При проходженні лопаток датчиками виробляються електричні сигнали, які порівнюють по фазі. В результаті видається напруга, яка показує наявність випередження або відставання одного сигналу відносно до іншого і величину цього випередження або відставання. Цей відомий спосіб характеризується трудомісткістю при препаруванні корпусу турбомашини і порушенням геометрії її проточної частини, що змінює розрахунковий режим роботи.

10 Відомий також спосіб контролю стану робочих лопаток рівня турбомашини шляхом реєстрації миттєвої кутової швидкості обертання ротора нерухомим датчиком, обробки отриманого сигналу і подальшого вибору величини амплітуди вібрацій лопаток [2]. Проте і він не дозволяє контролювати коливання лопаток всіх рівнів турбіни і компресора одночасно. Використання цього способу пов'язано з поступовим змінням швидкості обертання валу, що не завжди є можливим в умовах експлуатації турбомашин. Тим часом, для підвищення надійності і запобігання руйнуванню турбомашин вимір резонансних вібрацій в умовах експлуатації є дуже важливим, оскільки у багатьох випадках саме ці коливання представляють найбільшу небезпеку.

20 Задача корисної моделі полягає в розширенні діапазону вживання способу в умовах експлуатації. Задача вирішується тим, що реєструють миттєву кутову швидкість на частоті обертання ротора, кратність якої відповідає частоті власних коливань лопаток контрольованого рівня, а за величину амплітуди вібрацій лопаток приймають величину амплітуди резонансної гармоніки, виділеної з зареєстрованого сигналу.

25 На фіг. 1 представлений графік зміни амплітуди крутильного моменту при резонансі лопаток першого рівня ротора осьового компресора газоперекачувального агрегату (ГПА) ГТК-10-2 з третьою роторною гармонікою, де по осі абсцис відкладені значення відношення частоти збуджуючої сили до власної частоти, а по осі ординат - амплітуда крутильного моменту; на фіг. 2 - спектр віброшвидкості корпусу газоперекачувального агрегату (резонанс з третьою роторною гармонікою), де по осі абсцис відкладені номери роторних гармонік, а по осі ординат амплітуди цих гармонік в спектрі віброшвидкості корпусу ГПА; на фіг. 4 - блок-схема пристрою для реалізації описуваного способу.

30 Розглядаючи контрольований об'єкт, наприклад лопатку турбомашини, як коливальну систему з демпфуванням, пропорційним швидкості, отримуємо для кожного рівня турбіни і компресора математичний опис крутильного моменту на роторі турбомашини.

$$M(t) = \frac{\sum_{k=1} A_k \sin(k\omega t + \varphi_k)}{\sqrt{\left(1 - z_k^2\right)^2 + \left(\frac{\delta}{\pi} z_k\right)^2}}, \quad (1)$$

де A_k - коефіцієнт, який залежить від матеріалу, геометричних розмірів лопатки і аеродинамічного зусилля, яке діє на неї;

40 $z_k = \frac{\omega}{\omega_0}$ - відношення частоти збуджуючої сили до власної частоти лопатки;

ω - кругова частота обертання ротора;

ω_0 - власна кругова частота лопатки;

δ - логарифмічний декремент згасання;

φ_k - зрушення фази збуджуючою силою і викликаним нею коливанням;

45 z - число лопаток ступеня;

t - час.

Крутильний момент викликає крутильні коливання ротора турбомашини і створює спектр складного сигналу кутової швидкості обертання. Синусоїди цього спектра проходять по валопроводу (каналу) незалежно один від одного і, отже, в спектрі кутової швидкості є присутніми всі гармонійні складові, які викликані роторними гармоніками крутильного моменту. Інтенсивні крутильні коливання валопроводу, величина зміни кутової швидкості яких може бути зареєстрована, викликаються крутильним моментом при резонансних коливаннях лопаток. При

цьому максимальне значення амплітуди моменту визначається лише резонансною роторною гармонікою і виразом:

$$M = \frac{A_m}{\sqrt{\left(1 - z_m^2\right)^2 + \left(\frac{\delta}{\pi} z_m\right)^2}}, \quad (2)$$

- 5 де m - порядок роторної гармоніки (ціле число), який є відповідним резонансу лопаток при частоті $z = \frac{m\omega}{\omega_0} \approx 1$

Всі останні роторні гармоніки крутильного моменту, а отже, і кутової швидкості належать до неминучих перешкод виміру. Графік функції $M = f(z)$ показаний на фіг. 1 при значенні логарифмічного декременту $\delta = 0,3$.

- 10 При вимірі віброшвидкості на корпусі ГПА датчиком для одержання посиленого сигналу встановлюють частоту обертання ротора ГПА, ціла кратність якої є близькою до власної частоти коливань лопатки контрольованого рівня. Зареєстрований сигнал надходить в аналізатор гармонік, де виконується спектральний аналіз віброшвидкості, що полягає у виділенні простих гармонійних складових. Спектр віброшвидкості показаний на фіг. 3.
- 15 Визначення амплітуди резонансних коливань лопатки по виділеній роторній гармоніці віброшвидкості засновано на тому, що в законі руху амплітуда коливань лопатки на контрольованому рівні пов'язана з гармонікою кратності m співвідношенням:

$$Y = F \cdot \Phi_m,$$

де Y - амплітуда коливань корпусу турбомашини;

- 20 Φ_m - роторна гармоніка віброшвидкості корпусу ГПА;

F - передавальна функція, визначення якої для кожного типу турбомашини виконується експериментально або по розрахункам.

- Пристрій містить ротор 1 (див. фіг. 4), який спирається на підшипники 2, що закріплені на корпусі 3, де встановлений датчик 4, пов'язаний з генератором 5 і підсилювачем 6, сполученими з демодулятором 7, підключеним до аналізатора гармонік 8, пов'язаному з регістратором рівня 9 (персональний комп'ютер (ПК)).

- 30 При обертанні ротора 1 з кутовою швидкістю, яка змінюється за законом резонансних коливань лопаток, вібрація через підшипник 2 передається на корпус 3, що знімається з датчика 4, має форму модульованого по амплітуді сигналу з несучою частотою, яка дорівнює частоті напруги живлення датчика, і огибаючої, яка відтворює закон зміни віброшвидкості. Генератор 5 служить для живлення первинної обмотки датчика 4 синусоїдальним струмом заданої частоти, підсилювач 6 - для посилення, а демодулятор 7 - для виділення огибаючої. Сигнал з демодулятора надходить в аналізатор гармонік 8, де виконується спектральний гармонічний аналіз огибаючої. Виділені гармоніки фіксуються у регістраторі 9, як регістратор
- 35 використовується ПК.

Використання способу в умовах експлуатації дозволить встановлювати міжремонтні терміни ГПА по їх фактичному стану, що в два-три рази зменшить обсяг ремонтних робіт за рахунок виключення переборки таких агрегатів, які знаходяться в хорошому технічному стані, а також дозволить попередити можливі поломки робочих лопаток, а отже, і всього ротора ГПА.

- 40 Джерела інформації:

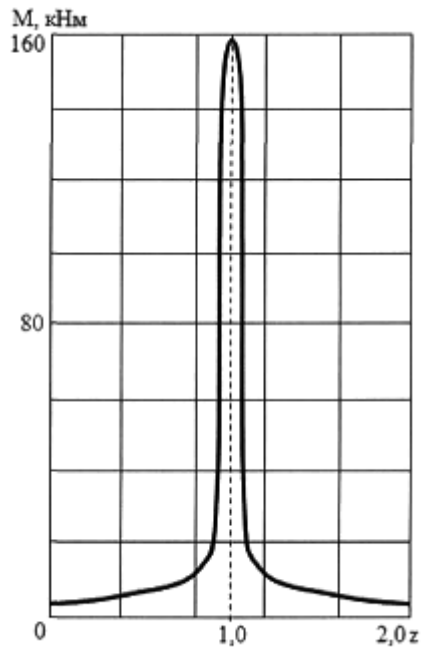
1. Бесклетный М.Е., Изуменцев Е.А., Христензен В.Л. Способ контроля состояния рабочих лопаток ступени турбомшины. А.С. 666454. (СССР) - 2452560, заявлено 14.02.77, Б.И., № 21, 1979.

2. Бесклетный М.Е., Изуменцев Е.А., Христензен В.Л. Способ контроля состояния рабочих лопаток ступени турбомшины. А.С. 700795. (СССР) - 2615635, заявлено 10.05.78, Б.И., № 44, 1979.
- 45

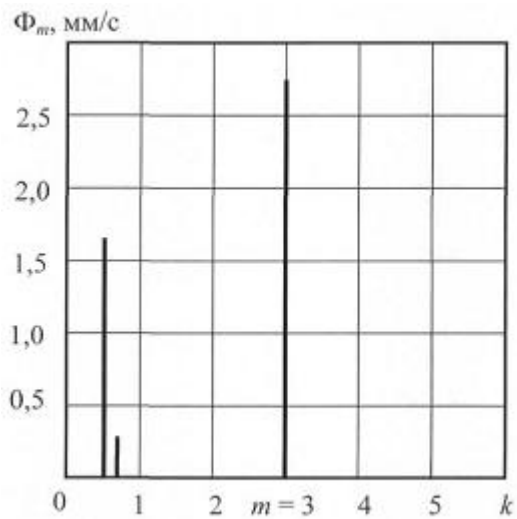
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 50 Спосіб контролю лопаток газоперекачувального агрегату шляхом реєстрації миттєвої віброшвидкості корпусу турбомашини нерухомим датчиком, обробки отриманого сигналу і подальшого вибору величини амплітуди вібрацій лопаток, який **відрізняється** тим, що реєстрацію миттєвої віброшвидкості корпусу ГПА виконують на частоті обертання ротора,

кратність якої відповідає частоті власних коливань лопаток контрольованого рівня, а за величину амплітуди вібрацій лопаток приймають величину амплітуди резонансної гармоніки, виділеної з зареєстрованого сигналу.



Фиг. 1



Фиг. 2

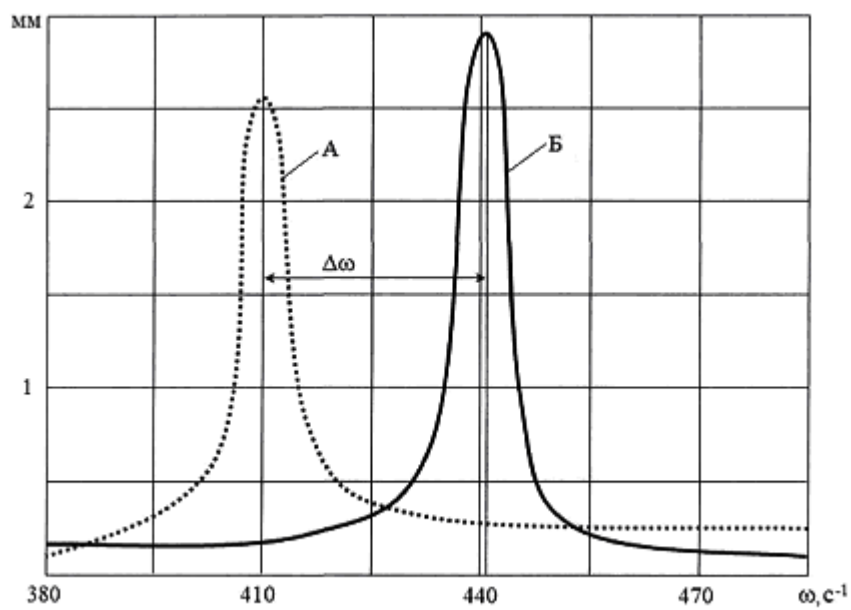


Fig. 3

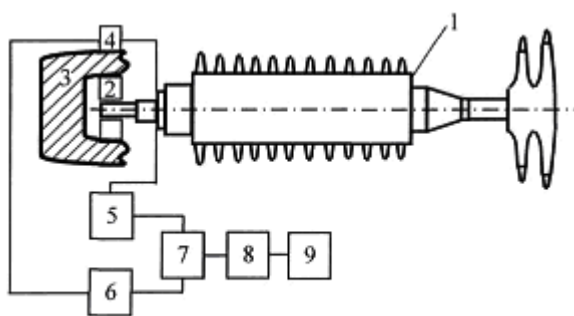


Fig. 4

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

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

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