



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **148263** (13) **U**  
(51) МПК (2021.01)  
**G09B 23/06** (2006.01)  
**G01M 7/00**

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ"

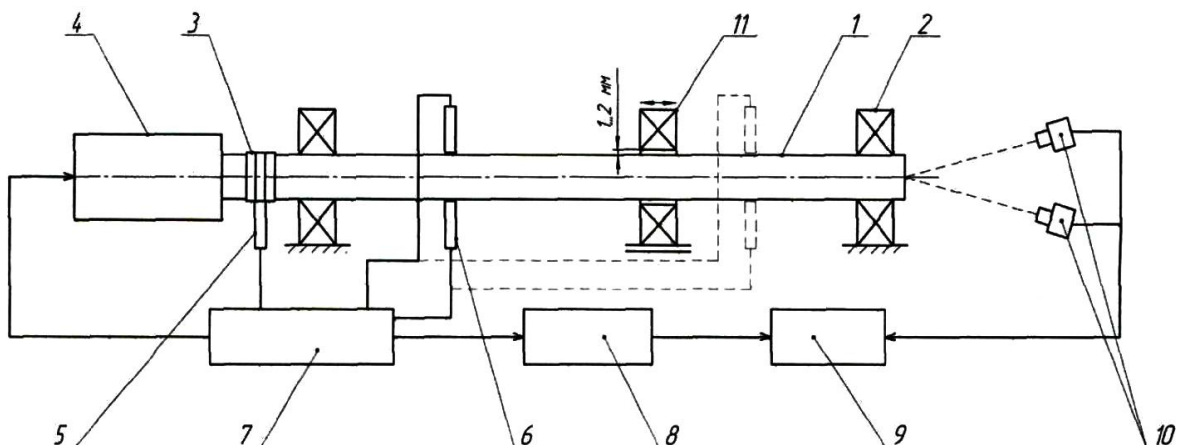
## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: <b>u 2021 01033</b>	(72) Винахідник(и): <b>Ткачук Віталій Павлович (UA), Савицький Юрій Віталійович (UA), Ковтун Ігор Іванович (UA), Горошко Андрій Володимирович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>02.03.2021</b>	
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>22.07.2021</b>	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>21.07.2021, Бюл.№ 29</b>	(73) Володілець (володільці): <b>ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016 (UA)</b>

## (54) УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ ГНУЧКОГО РОТОРА ПРИ ПРОХОДЖЕННІ ЧЕРЕЗ РЕЗОНАНС

### (57) Реферат:

Установка для дослідження коливань гнучкого ротора при проходженні через резонанс містить вал на двох опорах, приводний електродвигун з можливістю регулювання частоти і напрямку обертання, систему вимірювання прогину. Також установка містить високоточну електронну систему керування, датчики безконтактного контролю вібрацій, високошвидкісні відеокамери, а також додаткову третю опору, яка має можливість переміщуватись вздовж вала (за рахунок наявності зазору 1...2 мм) та при цьому змінювати міжопорну відстань для дослідження поведінки ротора на перехідних режимах.



UA 148263 U



Корисна модель належить до засобів дослідження та навчання, зокрема до експериментальних досліджень зниження вібрацій при проходженні через резонанс шляхом перетворення критичних обертів у некритичні, навчальних і наочних засобів з теоретичної механіки та опору матеріалів.

5 Відомо, що ротори, як елементи конструкцій, знаходять широке застосування в машинобудуванні, авіаційній, корабельній, автомобільній та іншій техніці. Встановлено також, що при обертанні на певних режимах спостерігаються великі прогини вала. Робота на цих оборотах, що називаються критичними, супроводжується великими вібраціями, які в деяких випадках призводять до руйнування конструкції. Тому при дослідженнях та навчаннях у ЗВО  
10 необхідно звертати особливу увагу не тільки на вміння розраховувати критичні оберти роторів, а також вміти експериментально визначати небезпечні режими обертання різними способами та знати заходи боротьби з їх негативним впливом на конструкцію. Для ротора, у якого диск розташований посередині довжини вала, критичні оберти можна визначити за формулою, представленою, наприклад, в роботі [1]:

$$15 \quad n_{кр} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{c}{m}},$$

де:

$n_{кр}$  - величина критичних обертів ротора;

$c$  - жорсткість вала, що визначається теоретично в залежності від характеру опор;

$m$  - маса диска ротора.

20 Формула (1) виведена в припущенні, що маса вала дорівнює нулю.

До аналогів корисної моделі можна віднести принципові схеми установок, запропонованих у роботі [1], Фіг. 8.01, Фіг. 8.18.

Основними елементами відомих установок є вал, на якому розташований або в центрі, або на консолі диск. Опори, на яких закріплений вал, можуть бути шарнірними або зацемлені.  
25 Величину критичних обертів для схеми визначають за формулою (1). Відома схема дозволяє лише візуально спостерігати прецесійний рух обертового ротора.

Відома також лабораторна установка для демонстрації прецесійних рухів ротора [1] с. 295. Установка містить об'єкт дослідження - вал на двох стаціонарних опорах, диск якого може встановлюватися в будь-якому місці між опорами за допомогою цангового затиску. Є додаткова  
30 опора з обмежувачем прогину вала. Установка не дозволяє досліджувати вплив жорсткості опор ротора на величину критичних обертів ротора.

Найбільш близькою до корисної моделі є установка, описана в патенті [2].

Навчальна установка містить вал на двох опорах із жорстко та стаціонарно закріпленим в його середній частині диском, обмежувач прогину, приводний електродвигун з можливістю  
35 регулювання числа обертів і напрямку обертання, збудник прецесії на іншому кінці вала, систему вимірювання динамічного прогину вала і числа обертів вала, причому одна з опор виконана опорою змінної жорсткості, а в іншій опорі вкручений гвинт, стаціонарний диск, забезпечений штоком в площині обертання для установки на нього вантажів, змінний диск, встановлений на вільній консолі вала за допомогою цангового затиску. Крім того, установка  
40 обладнана системою вимірювання частоти власних коливань ротора, що складається з чутливого п'єзоелемента, що реєструє частоту поперечних коливань, генератора частоти і пристрою, виконаного на базі електронно-променевого осцилографа, для порівняння і візуального спостереження власних поперечних коливань ротора з частотою генератора.

Недоліками даної установки є неможливість зміни жорсткості ротора (величини критичної частоти) під час роботи та дослідження коливань на перехідних режимах, відсутність безконтактних засобів контролю прогину ротора в міжопорній зоні, відсутність можливості цифрової обробки результатів запису вібрацій та неможливість спостереження за процесами в сповільненому режимі.

В основу корисної моделі поставлено задачу розширити область експериментальних  
50 досліджень та наочність при вивченні небезпечних режимів обертання роторів шляхом вивчення зв'язку критичних обертів з частотою власних поперечних коливань, із жорсткістю вала на згин, впливу жорсткості опор і прецесійного руху ротора на величину коливань, а також дослідження методів їх зниження шляхом перетворення критичних обертів у некритичні.

Поставлена задача вирішується тим, що установка для дослідження коливань гнучкого  
55 ротора при проходженні через резонанс, що містить вал на двох опорах, приводний електродвигун з можливістю регулювання частоти і напрямку обертання, систему вимірювання прогину, згідно з корисною моделлю, містить високоточну електронну систему керування, датчики безконтактного контролю вібрацій, високошвидкісні відеокамери, а також додаткову

третю опору, яка має можливість переміщуватись вздовж вала (за рахунок наявності зазору 1...2 мм) і змінювати міжопорну відстань для дослідження поведінки ротора на перехідних режимах

Таким чином, запропонована експериментально-навчальна установка, що зображена на кресленні, має істотні відмінності від найближчого аналога. Система містить: ротор - 1, встановлений у 2-х підшипниках кочення - 2 і з'єднаний через муфту - 3 з електродвигуном - 4. Максимальна частота обертання двигуна приводу повинна бути більшою 2-ї критичної вала. Також система містить цифрову систему керування (комп'ютер - 9, регістратор - 8; контролер - 7); дві високошвидкісні (300 кадрів в секунду) камери - 10; датчик швидкості - 5, що використовується для передачі сигналу в систему керування для забезпечення високої точності частоти обертання; безконтактні, індуктивні датчики - 6 для контролю величини вібрацій (прогину вала); додаткову опору - 11, яка має можливість переміщуватись вздовж вала (за рахунок наявності зазору 1...2 мм) і змінювати міжопорну відстань для дослідження коливань на перехідних режимах.

Експериментальна установка містить досліджуваний ротор, що складається із вала, який закріплений на двох опорах, систему вимірювання параметрів та їх реєстрації (ЕОМ). Установка має третю рухому опору, яка може переміщуватись вздовж вала та вступати в роботу при обертах, що близькі до критичних. Ротор приводиться в обертання електродвигуном, що має систему керування і дозволяє безступінчато регулювати оберти від 0 до 24000 об/хв. Частоти власних коливань ротора визначаються наступними способами: по статичному прогину ротора шляхом його навантаження статичним зусиллям в поперечному напрямку; збудженням власних коливань ударом; візуально по тахометру і за результатами обробки записів вібрацій.

Джерела інформації:

1. Г.С. Скубачевский *Авиационные газотурбинные двигатели*, М.: Машиностроение, 1969. - 544 с.

2. Патент RU2024953С1, Учебная установка для демонстрации способов определения критических оборотов ротора, Г.П. Белов, Ю.А. Дмитриев, Е.В. Ерохина, И.Н. Куприянов, 1994-12-15.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Установка для дослідження коливань гнучкого ротора при проходженні через резонанс, що містить вал на двох опорах, приводний електродвигун з можливістю регулювання частоти і напрямку обертання, систему вимірювання прогину, яка **відрізняється** тим, що містить високоточну електронну систему керування, датчики безконтактного контролю вібрацій, високошвидкісні відеокамери, а також додаткову третю опору, яка має можливість переміщуватись вздовж вала (за рахунок наявності зазору 1...2 мм) та при цьому змінювати міжопорну відстань для дослідження поведінки ротора на перехідних режимах.

