



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **159914** (13) **U**  
(51) МПК

**G01M 1/12** (2006.01)

**G01M 1/22** (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ  
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2025 00164</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>14.01.2025</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>17.07.2025</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>16.07.2025, Бюл.№ 29</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Філімоніхін Геннадій Борисович (UA), Остапчук Юлія Олександрівна (UA), Гур'євська Олександра Миколаївна (UA), Гуцул Василь Іванович (UA), Кривоблоцька Лариса Миколаївна (UA)</b></p> <p>(73) Володілець (володільці): <b>ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,</b> просп. Університетський, 8, м. Кропивницький, 25030 (UA)</p>
---	--

## (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ НЕЗРІВНОВАЖЕНОСТІ ПОВІТРЯНОГО ГВИНТА

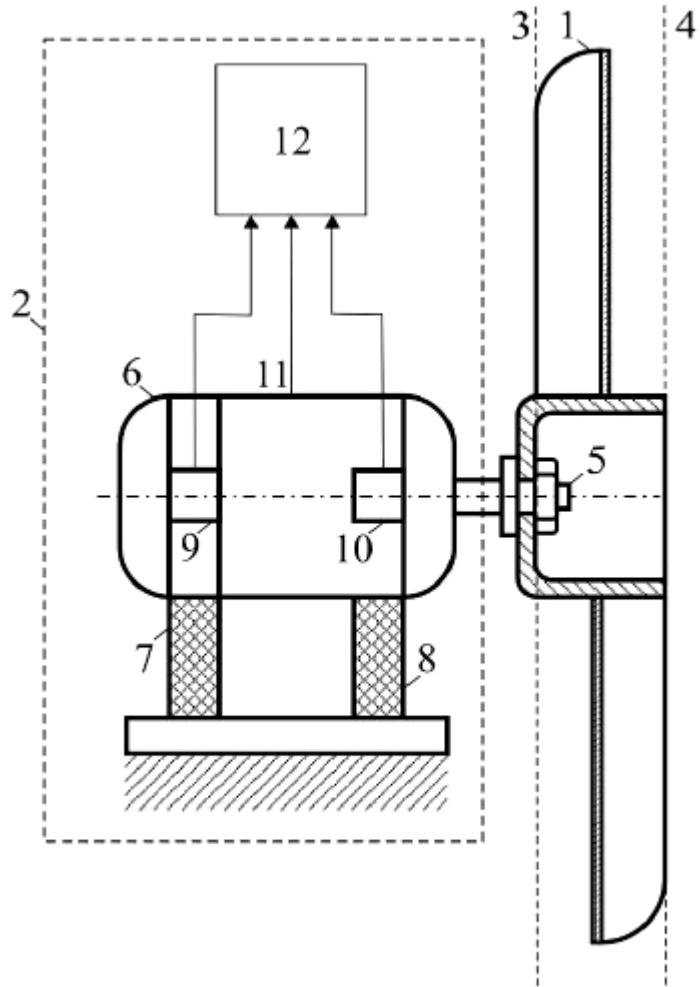
### (57) Реферат:

Спосіб визначення незрівноваженості повітряного гвинта, відповідно до якого повітряний гвинт встановлюють на балансувальний верстат для динамічного балансування і визначають на ньому динамічну незрівноваженість повітряного гвинта  $U_{01}$ ,  $U_{02}$  у двох площинах корекції, де комплексні числа  $U_{01}$ ,  $U_{02}$  визначають як модуль незрівноваженості, так і фазу. При цьому, аналогічним чином, визначається динамічна незрівноваженість повітряного гвинта  $U_{11}$ ,  $U_{12}$  при змінній температурі повітря, а незрівноваженість мас і аеродинамічна незрівноваженість розраховують за таким чином:

$$U_{01}^{(m)} = \frac{U_{11} T_0 - U_{12} T_1}{T_0 - T_1}, \quad U_{01}^{(a)} = \frac{(U_{11} - U_{01}) T_1}{T_0 - T_1},$$
$$U_{02}^{(m)} = \frac{U_{02} T_0 - U_{12} T_1}{T_0 - T_1}, \quad U_{02}^{(a)} = \frac{(U_{12} - U_{02}) T_1}{T_0 - T_1},$$

де  $T_0$  - початкова, а  $T_1$  - змінена температура повітря в Кельвінах.

UA 159914 U



Корисна модель може бути використана для визначення аеродинамічної незрівноваженості і незрівноваженості мас повітряного гвинта.

Найближчим аналогом є спосіб визначення незрівноваженості повітряного гвинта, відповідно до якого повітряний гвинт встановлюють на балансувальний верстат для динамічного балансування і визначають на ньому динамічну незрівноваженість повітряного гвинта  $U_{01}$ ,  $U_{02}$  у двох площинах корекції, де комплексні числа  $U_{01}$ ,  $U_{02}$  визначають як модуль незрівноваженості, так і фазу. [ДСТУ ISO 21940-21:2017 (ISO 21940-21:2012, IDT) Вібрація механічна. Балансування ротора. Частина 21. Опис та оцінка балансувальних верстатів].

Недоліком найближчого аналога є те, що визначається динамічна незрівноваженість  $U_{01}^{(m)}$ ,  $U_{02}^{(m)}$ , яка є сумою незрівноваженості мас  $U_{01}^{(m)}$ ,  $U_{02}^{(m)}$  і аеродинамічної незрівноваженості  $U_{01}^{(a)}$ ,  $U_{02}^{(a)}$ :

$$U_{01} = U_{01}^{(m)} + U_{01}^{(a)}, \quad U_{02} = U_{02}^{(m)} + U_{02}^{(a)}. \quad (1)$$

Задачею корисної моделі є окреме визначення як незрівноваженості мас, так і аеродинамічної незрівноваженості повітряного гвинта.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі визначення незрівноваженості повітряного гвинта, відповідно до якого повітряний гвинт встановлюють на балансувальний верстат для динамічного балансування і визначають на ньому динамічну незрівноваженість повітряного гвинта  $U_{01}$ ,  $U_{02}$  у двох площинах корекції, де комплексні числа  $U_{01}$ ,  $U_{02}$  визначають як модуль незрівноваженості, так і фазу, згідно з корисною моделлю, аналогічним чином визначається динамічна незрівноваженість повітряного гвинта  $U_{11}$ ,  $U_{12}$  при зміні температурі повітря, а незрівноваженість мас і аеродинамічна незрівноваженість

розраховується таким чином:

$$U_{01}^{(m)} = \frac{U_{01} T_0 - U_{11} T_1}{T_0 - T_1}, \quad U_{01}^{(a)} = \frac{(U_{11} - U_{01}) T_1}{T_0 - T_1},$$

$$U_{02}^{(m)} = \frac{U_{02} T_0 - U_{12} T_1}{T_0 - T_1}, \quad U_{02}^{(a)} = \frac{(U_{12} - U_{02}) T_1}{T_0 - T_1},$$

де  $T_0$  - початкова, а  $T_1$  - змінена температура повітря в Кельвінах.

Спосіб працює наступним чином.

Повітряний гвинт встановлюють на балансувальний верстат для динамічного балансування і визначають на ньому динамічну незрівноваженість повітряного гвинта  $U_{01}$ ,  $U_{02}$  у двох площинах корекції, де комплексні числа  $U_{01}$ ,  $U_{02}$  визначають як модуль незрівноваженості, так і фазу.

Оскільки аналогічним чином визначається динамічна незрівноваженість повітряного гвинта  $U_{11}$ ,  $U_{12}$  при зміні температурі повітря, то з'являється можливість окремого визначення незрівноваженості мас і аеродинамічної незрівноваженості за формулами (2).

Дійсно, нехай змінена температура повітря до величини  $T_1$ . Це призведе до зміни повної незрівноваженості:

$$U_1 = U_{01}^{(m)} + U_{11}^{(a)}, \quad U_2 = U_{02}^{(m)} + U_{12}^{(a)}. \quad (3)$$

Тут враховано, що незрівноваженість мас при зміні температурі повітря не зміниться.

Аеродинамічна незрівноваженість прямопропорційна щільності газу [Филимонихин Г.Б., Олійниченко Л.С. Дослідження можливості зрівноваження аеродинамічного дисбалансу крильчатки осьового вентилятора корегуванням мас, ЕЕJET, т. 5, вип. 7(77), с. 30-35, Жов 2015. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.511195>].

Тому

$$U_{11}^{(a)} = \frac{\rho_1}{\rho_0} U_{01}^{(a)}, \quad U_{12}^{(a)} = \frac{\rho_1}{\rho_0} U_{02}^{(a)}, \quad (4)$$

де  $\rho_0$  - щільність повітря при початковій температурі  $T_0$ , а  $\rho_1$  - щільність повітря при зміні температурі  $T_1$ .

Підставляємо (4) в (3), одержуємо

$$U_1 = U_{01}^{(m)} + \frac{\rho_1}{\rho_0} U_{01}^{(a)}, \quad U_2 = U_{02}^{(m)} + \frac{\rho_1}{\rho_0} U_{02}^{(a)}. \quad (5)$$

З (1) і (5) знаходимо такі формули для визначення складових від незрівноваженості мас і аеродинамічної незрівноваженості повітряного гвинта при початковій температурі повітря:

$$U_{01}^{(m)} = \frac{U_{01} \rho_1 - U_{11} \rho_0}{\rho_1 - \rho_0}, \quad U_{01}^{(a)} = \frac{(U_{11} - U_{01}) \rho_0}{\rho_1 - \rho_0}$$

$$U_{02}^{(m)} = \frac{U_{02} \rho_1 - U_{12} \rho_0}{\rho_1 - \rho_0}, \quad U_{02}^{(a)} = \frac{(U_{12} - U_{02}) \rho_0}{\rho_1 - \rho_0} \quad (6)$$

У рамках молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу щільність газу

$$\rho = \frac{M}{R \cdot T} \quad (7)$$

5 де  $\rho$  - тиск,  $T$  - температура повітря в Кельвінах,  $R$  - універсальна газова стала,  $M$  - молярна маса повітря.

При зміні тільки температури повітря

$$\rho_0 = \frac{M}{R \cdot T_0}, \quad \rho_1 = \frac{M}{R \cdot T_1} \quad (8)$$

Підстановка (8) в (6) дає формули (2)

10 Рекомендується, для підвищення точності визначення незрівноваженості мас і аеродинамічної незрівноваженості змінювати температуру повітря на 70 і більше градусів. Це призведе до зміни щільності повітря на 30 і більше відсотків. Немає принципового значення на якому балансувальному верстаті чи балансувальному стенді і яким методом визначається динамічна незрівноваженість повітряного гвинта. Швидкість обертання повітряного гвинта при

15 другому визначенні його динамічної незрівноваженості може відрізнитися від цієї швидкості при першому визначенні динамічної незрівноваженості.

Спосіб може бути використаний на етапі виготовлення повітряного гвинта як для його балансування, так і для відбракування при значній аеродинамічній незрівноваженості. Повітряним гвинтом може бути пропелер літака чи іншого літального апарата, крильчатка

20 осьового вентилятора чи вітрогенератора тощо.

На кресленні зображено реалізацію способу визначення незрівноваженості повітряного гвинта.

Приклад конкретного виконання.

25 На кресленні зображено повітряний гвинт 1, встановлений на балансувальний верстат для динамічного балансування 2, дві площини корекції 3, 4, складові балансувального верстата для динамічного балансування - вал 5, двигун 6, дві пружні опори 7, 8, два датчики вібрацій 9, 10, датчик обертів 11, балансувальний прилад 12.

Спосіб працює наступним чином.

30 Повітряний гвинт 1 встановлюється на балансувальний верстат для динамічного балансування 2. Балансувальний верстат має вал 5 для встановлення повітряного гвинта, електродвигун 6 для надання обертання вала, дві пружні опори 7, 8, що утримують двигун, два датчики вібрацій 9, 10, по одному встановленому біля кожної опори, датчик обертів 11, балансувальний прилад 12, який обробляє сигнали з датчиків вібрацій 9, 10 і з датчика обертів 11, та розраховує незрівноваженість повітряного гвинта у двох площинах корекції.

35 За допомогою балансувального верстата 2 перший раз визначається незрівноваженість повітряного гвинта при початковій температурі повітря  $T_0$ . В результаті визначається динамічна незрівноваженість повітряного гвинта  $U_{01}$ ,  $U_{02}$  у двох площинах корекції 3, 4, відповідно, де комплексні числа  $U_{01}$ ,  $U_{02}$  визначають як модуль незрівноваженості, так і фазу.

40 Далі, температура повітря замінюється до  $T_1$ . Потім, аналогічним чином, визначається динамічна незрівноваженість повітряного гвинта  $U_{11}$ ,  $U_{12}$ . Після цього окремо визначаються незрівноваженість мас і аеродинамічна незрівноваженість за формулами (2).

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

45 Спосіб визначення незрівноваженості повітряного гвинта, відповідно до якого повітряний гвинт встановлюють на балансувальний верстат для динамічного балансування і визначають на ньому динамічну незрівноваженість повітряного гвинта  $U_{01}$ ,  $U_{02}$  у двох площинах корекції, де комплексні числа  $U_{01}$ ,  $U_{02}$  визначають як модуль незрівноваженості, так і фазу, який **відрізняється** тим, що аналогічним чином, визначається динамічна незрівноваженість

50 повітряного гвинта  $U_{11}$ ,  $U_{12}$  при змінній температурі повітря, а незрівноваженість мас і аеродинамічна незрівноваженість розраховуються таким чином:

$$U_{01} = \frac{U_{11} T_0 - U_{11} T_1}{T_0 - T_1}, \quad U_{02} = \frac{U_{12} T_0 - U_{12} T_1}{T_0 - T_1}$$

$$U_{O_2}^{(m)} = \frac{U_{O_2} T_0 - U_{1_2} T_1}{T_0 - T_1}, \quad U_{O_2}^{(a)} = \frac{(U_{1_2} - U_{O_2}) T_1}{T_0 - T_1},$$

де  $T_0$  - початкова, а  $T_1$  - змінена температура повітря в Кельвінах.

