

В.В. Яцун, асп., Г.Б. Філімоніхін, проф., д-р. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

М.М. Огурцов, генеральний директор

ПП «ГРАДВЕНТ»

Технічні рекомендації із застосування пасивних автобалансирів для зрівноваження крильчаток осьових вентиляторів

Запропоновані загальні технічні рекомендації, щодо вибору типу автобалансира та розрахунку його основних параметрів для осьових вентиляторів. Наведений приклад розрахунку однорядного кульового автобалансира з рухомими перегородками для вентилятора ВО 06-300 №4, та результати апробації цих рекомендацій в умовах виробництва на заводі ПП „ГРАДВЕНТ”, м. Харків.
автобалансир, осьовий вентилятор, технічні рекомендації, виробничі випробування

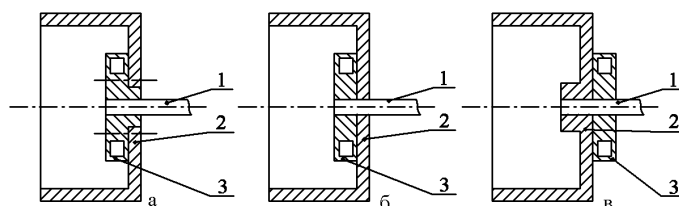
Вступ. В попередніх роботах вперше запропоновані нові конструкції пасивних автобалансирів (АБ) із рухомими перегородками, призначені для зрівноваження роторів із похилою віссю обертання [1,2], була запропонована і досліджена можливість зрівноваження крильчаток осьових вентиляторів АБ різної конструкції [3]. Розроблена методика розрахунку основних параметрів як звичайних, так і АБ із перегородками для зрівноваження осьових вентиляторів [4]. Досліджено роботу різних типів кульових АБ при зрівноважуванні крильчатки осьового вентилятора, як числовим моделюванням [5] так і експериментально [6].

В даній роботі пропонуються загальні технічні рекомендації, щодо вибору типу АБ, та розрахунку його основних параметрів для осьових вентиляторів, приклад розрахунку АБ для осьового вентилятора ВО 06-300 №4 та результати виробничих випробувань працездатності АБ.

1. Загальні технічні рекомендації з послідовності проектування і встановлення АБ на вентилятор.

а) Обрання місця розташування АБ.

Вентилятор зрівноважується на ходу статично – одним АБ у одній площині корекції. АБ встановлюється на вал електродвигуна як можна ближче до площини крильчатки (рис. 1). Можливі варіанти: крильчатка насаджується на АБ, а АБ на вал (рис. 1, а); крильчатка насаджується на вал, а потім АБ (рис. 1, б); АБ насаджується на вал, потім - крильчатка (рис. 1, в). Таке розташування АБ не змінює конструкцію вентилятора. Найкраще встановлювати АБ у колекторі, бо його порожнина технологічно не використовується.



1 - вал електродвигуна, 2 - колектор, 3 – АБ
Рисунок 1 - Обрання місця розташування АБ

б) Вибір типу АБ, та розрахунок балансувальної ємності АБ (алгоритм I) і його параметрів (алгоритм II) [3]. Для зрівноваження крильчаток можна використовувати як звичайні, так і АБ з перегородками. Оскільки вентилятор має похилу вісь обертання, що ускладнює розбіг куль у звичайному кульовому АБ, то краще використовувати АБ з нерухомими чи рухомими перегородками. Наявність перегородок на біговій доріжці сприяє швидкому розгону куль, зокрема без використання мастила. Відсутність мастила спрощує конструкцію даних АБ, бо не треба герметизувати корпус. АБ із рухомими перегородками мають симетрію балансувальної ємності, а АБ із нерухомими перегородками – забезпечують найбільшу швидкість настання автобалансування.

Загальна методика розрахунку основних параметрів АБ полягає у тому, що знаючи масу крильчатки, її максимальну кутову швидкість обертання, клас точності балансування, та величину найбільшого її розбалансування в класах точності, яка може виникнути в процесі роботи, визначається максимальний дисбаланс крильчатки після її розбалансування (алгоритм I). По максимальному дисбалансу і відстані від центра обертання до центра мас кулі визначаються параметри АБ, який усуне даний дисбаланс (алгоритм 2). Алгоритм I не залежить від типу АБ, а II - залежить.

в) Перевірка якості установки АБ.

Після установки АБ на вал електродвигуна необхідно перевірити механічні биття бігової доріжки. Вони не повинні перевищувати гранично допустимих значень $\Delta_{\max} \leq 0,01\text{мм}$ - для радіальних, $\delta_{\max} \leq 0,01\text{мм}$ - для торцевих.

г) Правка форми бігової доріжки.

Якщо биття не задовольняють обмеженням, то необхідно виправити форму бігової доріжки механічною обробкою.

д) Динамічне і статичне балансування крильчатки з корпусом АБ до початку експлуатації вентилятора.

Статичне, а при необхідності і динамічне зрівноваження крильчатки і корпуса АБ можливо як окремо для кожної деталі, так і в зборі. Статичне балансування можна проводити на пристосуваннях типа ножі, чи призмах.

2. Приклад розрахунку основних параметрів однорядного кульового АБ з рухомими перегородками для осьового вентилятора ВО 06-300 №4.

а) Місце розташування АБ – крильчатка насаджується на вал, а потім на вал насаджується АБ.

б) Тип АБ – однорядний кульовий із рухомими перегородками.

Алгоритм I (розрахунку найбільшого дисбалансу після розбалансування крильчатки).

1. Введення розрахункових даних: $M = 1900 \text{ г}$ – маса крильчатки; $k=4$ – клас точності зрівноваження крильчатки до початку експлуатації вентилятора; $\Delta k=2$ – найбільше можливе розбалансування крильчатки під час експлуатації у класах точності; $\omega_{\max} = \pi \cdot n / 30 = 3,14 \cdot 1450 / 30 = 152 \text{ рад/с}$ – максимальна кутова швидкість обертання крильчатки.

2. Визначення віброшвидкості, за класом точності k :

$$V_{\max} = 0,4 \cdot 2,5^{k-1} = 0,4 \cdot 2,5^{4-1} = 6,3 \text{ мм/с.} \quad (1)$$

3. Визначення найбільшого залишкового ексцентриситету крильчатки після її зрівноваження, під час виготовлення (до експлуатації)

$$e_{cm} = V_{\max} / \omega_{\max} = 6,3 / 152 = 0,041 \text{ мм.} \quad (2)$$

4. Визначення максимального залишкового дисбалансу після зрівноваження до початку експлуатації

$$S_z = M \cdot e_{cm} = M \cdot e_{cm} = 1900 \cdot 0,041 = 77,9 \text{ г·мм.} \quad (3)$$

5. Визначення максимального дисбалансу крильчатки, виникаючого після експлуатації вентилятора

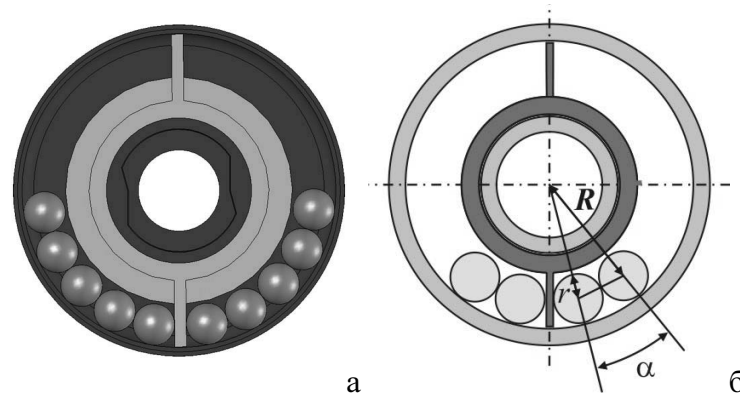
$$S_{\max} = S_3 \cdot 2,5^{\Delta k} = 77,9 \cdot 6,25 = 487 \text{ г}\cdot\text{мм}. \quad (4)$$

II. Алгоритм розрахунку параметрів однорядного кульового АБ із рухомими перегородками (рис. 2, а)

1. Ведення розрахункових даних: $R = 28 \text{ мм}$ – радіус від центра обертання до центра мас кулі; $S_{\max} = 487 \text{ г}\cdot\text{мм}$ – максимальний дисбаланс крильчатки, виникаючий після експлуатації вентилятора.

2. Введення $r = 5 \text{ мм}$ – радіуса кулі і її маси $m = 4,11 \text{ г}$.

3. Визначення величини кута α (рис.2, б)



а) модель АБ; б) розрахункова схема

Рисунок 2 – Однорядний АБ з рухомими перегородками

$$\alpha = 2 \cdot \arcsin(r/R) = 2 \cdot \arcsin(5/28) = 0,359 \text{ (рад)},$$

$$0,359 \cdot 180/\pi = 20,6 \text{ (град)}. \quad (5)$$

4. Визначення дисбалансу, який створюють кулі

$$S(n) = 2 \cdot m \cdot R \cdot \sum_{i=1}^{n/2} \cos[(i-1) \cdot \alpha + \alpha/2],$$

$$S(2) = 226 \text{ г}\cdot\text{мм}, \quad S(4) = 424 \text{ г}\cdot\text{мм}, \quad S(6) = 568 \text{ г}\cdot\text{мм} \quad , \quad (6)$$

де n – кількість куль.

5. Перевіряємо найближчу до S_{\max} ємність автобалансира $S_{\text{нб}} = S(6)$

$$\eta\% = 100 \cdot (S_{\text{нб}} - S_{\max}) / S_{\max} = 100 \cdot (568 - 487) / 487 = 16,4\%,$$

$$3n\% \leq \eta\% \leq 20\%, \quad 0 < 16,4\% < 20\% \quad , \quad (7)$$

де $3n\%$ – запас ємності, якщо він потрібен. Якщо точність забезпечена, то зупиняємо розрахунки, якщо – ні то проводимо розрахунки з п.2 при новому радіусі кулі.

Балансувальна ємність задовольняє потрібним обмеженням.

6. Результати розрахунку:

Остаточню приймаємо 6 куль в АБ, балансувальна ємність АБ склала 568 г·мм.

в) Перевірка якості установки АБ.

Перевірку биттів бігової доріжки пропонується виконувати відповідно до ГОСТ 26542-85 [7] за допомогою індикаторів биття, жорстко закріплених на штативі.

г) Правка форми бігової доріжки.

Один з варіантів правки форми бігової доріжки – жорстко закріпити на токарному верстаті осьовий вентилятор (при серійному виробництві доцільно виготовити спеціальне обладнання). Потім різцем верстату усунути биття при

працюючому двигуні вентилятора – за рахунок вигладжування, для чого забезпечити мінімальну подачу різця, яка не зупиняє двигун вентилятора.

д) Динамічне і статичне балансування крильчатки з корпусом АБ до початку експлуатації вентилятора.

Об'ємний колектор дозволяє проводити як статичне, так і динамічне балансування. Для статичного балансування використовується АБ з двома кулями. Вентилятор запускається і після встановлення руху визначаються положення куль щодо крильчатки. Для цього пропонується використовувати цифрову фотозйомку із фотоспалахом, або стробоскопічне освітлення. Якщо кулі вибудуються одна навпроти одної, то статичний дисбаланс відсутній. Якщо цього не відбудеться, то за відносним положенням куль визначається місце розташування і маса балансувального вантажу, який усуває статичну незрівноваженість крильчатки з корпусом АБ.

3. Виробничі випробування. Виробничі випробування проводились на базі виробничого цеху підприємства з виготовлення осьових вентиляторів і градирень «ГРАДВЕНТ» м. Харків.

Для моделей осьових вентиляторів ВО 06-300 №4 (рис. 4, а), та ВО 06-300 №8 (рис. 4, б) були спроектовані і виготовлені дослідні зразки АБ. Тип цих АБ, та їх основні параметри визначалися за технічними рекомендаціями, створеними в КНТУ.

Відповідно до програми випробування, вимірювались віброприскорення на таких режимах роботи:

1. Робота осьового вентилятора без крильчатки. При цьому визначаються вібраційні характеристики вентилятора без крильчатки. Вони будуть найкращими, бо встановлення крильчатки буде збільшувати незрівноваженість обертових частин.

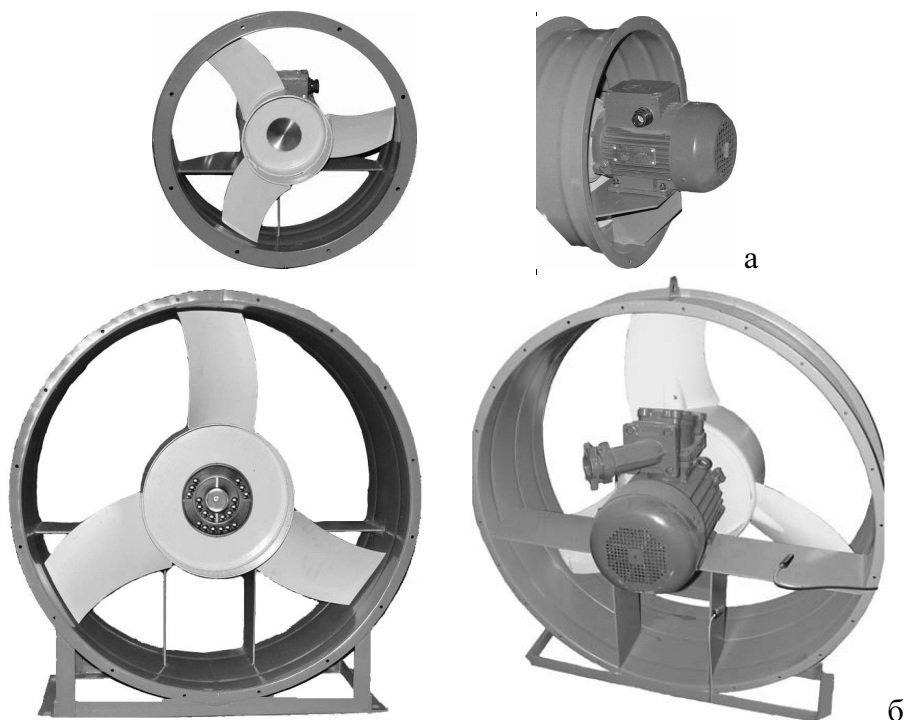
2. Робота осьового вентилятора з крильчаткою. Запускається електродвигун з крильчаткою, зрівноваженою за четвертим класом точності. При цьому визначаються характеристики роботи осьового вентилятора без АБ.

3. Робота осьового вентилятора з крильчаткою і великим дисбалансом. Запускається електродвигун з крильчаткою і великим дисбалансом, утвореним масою, розташованою на периметрі колектора. Визначаються найгірші характеристики роботи осьового вентилятора без АБ.

4. Робота осьового вентилятора з крильчаткою і АБ. Запускається електродвигун з зрівноваженою за четвертим класом точності крильчаткою і АБ. Визначається ефективність роботи АБ при малих дисбалансах (фактичній відсутності дисбалансу) крильчатки.

5. Робота осьового вентилятора з крильчаткою, великим дисбалансом і АБ. Запускається електродвигун з крильчаткою, великим дисбалансом і АБ. Визначається ефективність роботи АБ при великих дисбалансах крильчатки.

Корпус вентилятора був закріплений за допомогою пружних джгутів відповідно до ГОСТ 31350-2007 [8]. Відповідно до ГОСТ 31351-2007 [9] на корпусі вентилятора були установлені малогабаритні акселерометри ММА6231Q 2АХ 1,5; 4 g (масою менше 30 г). Замір рівня віброприскорень був проведений за допомогою аналогово-цифрового осцилографа ADXL202ЕВ-232А з USB інтерфейсом, що був з'єднаний з персональним комп'ютером. Після проведення випробувань були складені відповідні протоколи із занесенням всіх необхідних параметрів згідно ГОСТ 31351-2007 [9].



а) ВО 06-300 №4 з однорядним АБ; б) ВО 06-300 №8 з дворядним АБ

Рисунок 4– Досліджувані моделі

Було встановлено, що єдиним джерелом вібрації є незрівноважена крильчатка, АБ гарантовано усуває вібрацію від 2 до 83%, що залежить від величини дисбалансу, за рахунок приходу куль у те положення, у якому вони зрівноважують крильчатку, зменшує середньоквадратичні значення віброшвидкостей із запасом 1,5 по відношенню до граничної величини (6,3 мм/с), передбаченої ГОСТ 11442-90 [10].

Розрахований економічний ефект від використання АБ, при програмі випуску 1200 штук на рік, складає 91872 грн.

Прийняте рішення про доцільність випуску автобалансирів на підприємстві.

Висновки

Створені технічні рекомендації дозволяють розраховувати основні параметри АБ при зрівноваженні крильчатки осьового вентилятора, та дозволяють забезпечити його працездатність.

Застосування автобалансирів дозволяє:

- зменшувати віброшвидкості зрівноваженої крильчатки не менш ніж на 2%;
- зменшувати віброшвидкості незрівноваженої крильчатки до 83%, що залежить від величини дисбалансу;
- величина зменшеної віброшвидкості менша за гранично допустиму за ГОСТ 31350-2007 (6,3 мм/с) у 1,5 рази;
- зменшення навантажень на підшипники вентилятора дозволить подовжити строк його експлуатації на 20%.

Список літератури

1. Філімоніхін Г.Б. Зрівноваження крильчаток осьових вентиляторів пасивними автобалансирами// Філімоніхін Г.Б. Яцун В.В. Збірник наукових праць КНТУ, 2007, випуск 18.
2. Пат. 26788 України, МПК G01M 1/38 Автобалансирующий пристрій для зрівноваження роторів із похилою віссю обертання / Філімоніхін Г.Б., Яцун В.В., Коваленко О.В. ; заявник та

- патентовласник Кіровоградський нац. техн. університет. – №200704757; заявл. 27.04.2007; опубл. 10.10.2007, Бюл.№16.
3. Пат. 35261 України, МПК G01M 1/100 Автобалансуючий пристрій для зрівноваження роторів із похилою віссю обертання / Філімоніхін Г.Б., Яцун В.В., Коваленко О.В. ; заявник та патентовласник Кіровоградський нац. техн. університет. – №200804424; заявл. 07.04.2008; опубл. 10.09.2008, Бюл.№17.
 4. Філімоніхін Г.Б. Експериментальне дослідження зрівноваження кульовими автобалансирами крильчатки осьового вентилятора // Філімоніхін Г.Б., Яцун В.В. Всеукраїнський н.-т. журнал „Вібрації у техніці та технологіях”. –2007.- №2 (47).- С. 26-32.
 5. Філімоніхін Г.Б. Числове моделювання процесу зрівноваження кульовими автобалансирами крильчатки осьового вентилятора / Філімоніхін Г.Б., Яцун В.В. –2008.- №9 (56).- С. 45-51
 6. Яцун В.В. Експериментальне дослідження ефективності зрівноваження крильчаток осьових вентиляторів пасивними автобалансирами. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / Яцун В.В., Філімоніхін Г.Б. // КНТУ, 2009, випуск 38. -С. 127-132.
 7. ГОСТ 26542-85. Станки металлорежущие. Методы проверки торцового биения поверхностей образца-изделия.
 8. ГОСТ 31350-2007. Вентиляторы промышленные. Требования к производимой вибрации и качеству балансировки.
 9. ГОСТ 31351-2007. Вибрация. Вентиляторы промышленные. Измерения вибрации.
 10. ГОСТ 11442-90. Вентиляторы осевые общего назначения. Общие технические условия.

Предложены общие технические рекомендации, относительно выбора типа автобалансира и расчета его основных параметров при уравновешивании крыльчаток осевых вентиляторов. Приведены пример расчета однорядного шарового автобалансира с подвижными перегородками для вентилятора ВО 06-300 №4, и результаты апробации этих рекомендаций в условиях производства на заводе ПП "ГРАДВЕНТ", г. Харьков.

Offered general technical recommendations, in relation to a choice and calculation of basic parameters of autobalancers for axial fans. Resulted example of calculation of onerow ball autobalancer with immobile partitions for a fan VO 06-300 №8, and results of approbation of these recommendations in the conditions of production at the plant of PP "GRADVENT", Kharkov.