

Зрівноваження крильчаток осьових вентиляторів пасивними автобалансирами

Розглянута задача із зрівноваження змінного дисбалансу крильчаток осьових вентиляторів. Запропоновано зрівноважувати крильчатки на ходу пасивними автобалансирами. Розроблені схема зрівноваження, кульовий автобалансир із рухомою втулкою із перегородками, алгоритм з визначення основних параметрів автобалансира. Запропонований процес зборки вентилятора з автобалансиром із перевіркою параметрів якості. За розробленою методикою розрахований і створений автобалансир для промислового осьового вентилятора ВО 06-300 №4.

автобалансир, крильчатка, осьовий вентилятор, зрівноваження, дисбаланс

Осьові вентилятори (рис. 1) широко використовуються в різних галузях промисловості [1-3], в сільському господарстві, тваринництві тощо. Особливо актуальні в шахтній вентиляції для подачі чистого повітря чи відведення шкідливих газів, при пневмотранспортуванні, для вентиляції на тваринницьких фермах тощо. Крильчатки осьових вентиляторів мало захищені від потрапляння пилю, корозії, зношування під дією твердих абразивних частинок. Це призводить до їх розбалансування, і як наслідок, до погіршення роботи вентилятора, збільшення навантаження на підшипники та їх руйнування. Чищення лопаток вентилятора призводить до їх зношення і деформації, що також збільшує дисбаланс. В процесі роботи вентилятора напрямок і значення дисбалансу постійно змінюється, внаслідок чого балансування крильчатки до початку експлуатації не приносить бажаного ефекту, тому її доцільно балансувати на ходу. Для цього можна використати пасивні автобалансири, які призначені для зрівноваження на ходу швидкообертових тіл [4]. У даній роботі розв'язується задача із зрівноваження крильчаток осьових вентиляторів на ходу у процесі експлуатації пасивними автобалансирами.

Осьовий вентилятор складається з крильчатки 1, (рис. 1), колектора 2, електродвигуна 3, на вал 4 якого насаджується крильчатка, циліндричного кожуха 5, в якому встановлена крильчатка.

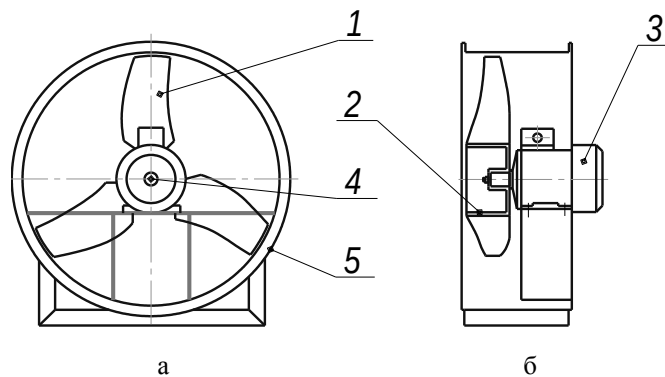


Рисунок 1 – Загальний вигляд осьового вентилятора:
а – вид спереду; б – вид збоку

Крильчатка – короткий ротор. Тому до початку експлуатації її балансують статично у одній площині корекції, що проходить через центр мас крильчатки. Балансування, як правило, проводять за четвертим класом точності по ГОСТ 22061-76 (Класи точності балансування). Так як вентилятор обертається із закритичними швидкостями, то для його зрівноваження на ходу застосовні пасивні автобалансири. Розглянемо особливості їх застосування.

Оскільки вентилятор – це короткий ротор, то його можна зрівноважувати на ходу статично – одним автобалансиром у одній площині корекції. В конструкції осьових вентиляторів присутній колектор, необхідний для покращення аеродинаміки вентилятора, але технологічно його порожнина не використовується. Тому пропонується встановлювати у неї автобалансир. Найбільшу точність зрівноваження ротора на сьогодні забезпечує кульовий автобалансир, тому пропонується його і використовувати. Для підвищення точності встановлення автобалансира пропонується насаджувати його безпосередньо на вал двигуна. Це забезпечить максимальну співвісність бігової доріжки куль і повздожньої осі вала ротора. При цьому можливі такі схеми встановлення автобалансира і крильчатки:

- 1) автобалансир насаджується на вал, потім на автобалансир насаджується крильчатка;
- 2) крильчатка насаджується на вал, потім – автобалансир на вал;
- 3) автобалансир насаджується на вал, потім – крильчатка на вал.

Останній варіант найгірший, оскільки автобалансир не буде у площині центра мас крильчатки (рис. 1), і доступ до нього буде закривати крильчатка. Надалі будемо оцінювати тільки перші два варіанти.

Із-за внесення в конструкцію вентилятора автобалансира змінюється порядок його зборки. Під час зборки вентилятора доцільно встановити за схемою 1 чи 2 крильчатку і автобалансир, після чого перевірити биття бігової доріжки. Вони не повинні перевищувати гранично допустимих значень $\Delta_{\max}$ - для радіальних, $\delta_{\max}$ - для торцевих. Якщо биття не задовольняють обмеженням, то пропонується двигун з крильчаткою і автобалансиром жорстко закріпити на токарному верстаті (при серійному виробництві доцільно виготовити спеціальне обладнання). Потім різцем верстату усунути биття при працюючому двигуні вентилятора, для чого забезпечити мінімальну подачу різця, яка не зупиняє двигун вентилятора.

Наступний етап – статичне і динамічне зрівноваження крильчатки з корпусом автобалансира до початку експлуатації вентилятора. Зауважимо, що об'ємний колектор дозволяє проводити зрівноваження динамічного дисбалансу (рис. 1). Пропонується для цього використовувати автобалансир з двома кулями. У алгоритмі використовуються такі властивості куль: якщо кулі вибудувалися одна навпроти одної, то це свідчить про відсутність статичного дисбалансу; якщо при довільному пробному статичному дисбалансі кулі симетрично вибудувалися навпроти дисбалансу, то це свідчить про відсутність динамічного дисбалансу (він робить розташування куль несиметричним). Для швидкої і точної оцінки місць розташування куль відносно крильчатки пропонується використовувати цифрову фотозйомку із фотоспалахом. Мінімальна кількість запусків вентилятора із пробними масами – два рази. Після цього з'являється можливість розрахунку величини і положення відносно колектора коректувальних мас.

Вентилятор має похилу вісь обертання, що ускладнює розбіг куль у звичайному кульовому автобалансірі. Тому пропонується використовувати автобалансир з перегородками [5] чи з рухомою втулкою, що несе перегородки. Наявність перегородок на

біговій доріжці сприятиме швидкому розгону куль. Якщо перегородки будуть нерухомі, то це призведе до асиметрії балансувальної ємності автобалансира в залежності від напрямку вектора дисбалансу [5]. Для подолання цього недоліку і пропонується перегородки встановлювати на рухому втулку.

Нижче наводяться розроблені алгоритми розрахунків основних параметрів автобалансирів. Загальна методика 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, можна визначити максимальний дисбаланс крильчатки після її розбалансування. По максимальному дисбалансу і відстані від центра обертання до центра мас кулі можна визначити параметри автобалансира, який усуне даний дисбаланс.

I. Алгоритм розрахунку найбільшого дисбалансу після розбалансування крильчатки

1. Введення розрахункових даних: M – маса крильчатки; k – клас точності зрівноваження крильчатки до початку експлуатації вентилятора; Δk – найбільше можливе розбалансування крильчатки під час експлуатації у класах точності; $\omega_{\text{е max}}$ – максимальна кутова швидкість обертання крильчатки.

2. Визначення віброшвидкості, за класом точності k :

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

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

$$e_{\text{cm}} = V_{\text{max}} / \omega_{\text{е max}}. \quad (2)$$

4. Визначення максимального залишкового дисбалансу після зрівноваження до початку експлуатації

$$S_3 = M \cdot e_{\text{cm}}. \quad (3)$$

5. Визначення максимального дисбалансу крильчатки, виникаючого після експлуатації вентилятора

$$S_{\text{max}} = S_3 \cdot 2,5^{\Delta k}. \quad (4)$$

Розрахунок параметрів автобалансира є багатоваріантним. Будемо його проводити для однорядного кульового автобалансира з двома перегородками на біговій доріжці. Розглядаємо випадок, коли перегородки розташовані горизонтально, а дисбаланс спрямований вертикально вгору (рис.2, а). У цьому випадку автобалансир має найменшу балансувальну ємність. При розрахунках приймаємо кулі у кількості 4, 8, 12 штук.

II. Алгоритм розрахунку параметрів автобалансира.

1. Введення розрахункових даних: R – радіус від центра обертання до центра мас кулі; S_{max} – максимальний дисбаланс, виникаючий після експлуатації вентилятора.

2. Введення r – радіуса коригувального вантажу і розрахунок його маси.

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

$$\alpha = 2 \cdot \arcsin(S_{\text{max}} / R) \text{ (рад)}, \quad \alpha \cdot 180 / \pi \text{ (град)}. \quad (5)$$

4. Визначення дисбалансу, який створюють кулі, які знаходяться під перегородками

$$S_1(n) = 2 \cdot m \cdot R \cdot \sum_{i=1}^{n/2} \cos[(i-1) \cdot \alpha + \alpha / 2], \quad (6)$$

де n – кількість куль.

5. Визначаємо дисбаланс, який створюють кулі, які знаходяться над перегородками

$$S_2(n) = 2 \cdot m \cdot R \cdot \sum_{i=1}^{n/2} \sin \left[(i-1) \cdot \alpha + \frac{\alpha}{2} \right]. \quad (7)$$

6. Використовуючи формули (5)-(7), методом послідовних підстановок значень радіуса і маси коригувального вантажу визначаємо ємність автобалансира

$$S(n) = S_1(n) - S_2(n). \quad (8)$$

7. Перевіряємо ємність автобалансира

$$\eta\% = 100 \cdot (S_n - S_{\max}) / S_{\max}, \quad 3n\% \leq \eta\% \leq 20\%, \quad (9)$$

де $3n\%$ – запас ємності, якщо потрібен.

Розрахунки ілюструємо на осьовому вентиляторі ВО 06-300 №4, який виготовляє ЗАТ "Донвентилятор" – завод вентиляційного обладнання в Донецьку. Даний вентилятор широко використовується для вентиляції цехових приміщень на промислових спорудах.

I. Розрахунок найбільшого дисбалансу після розбалансування крильчатки.

1. Введення даних для вентилятора ВО 06-300 №4: $M = 1,9 \text{ кг}$; $k=4$; $\Delta k=2$;
 $\omega_{\max} = \pi \cdot n / 30 = 3,14 \cdot 1450 / 30 = 152 \text{ рад/с}$.

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

$$3. e_{cm} = 63 / 152 = 0,041 \text{ мм}.$$

$$4. S_3 = M \cdot e_{cm} = 1,9 \cdot 0,041 = 0,0779 \text{ кг} \cdot \text{мм}.$$

$$5. S_{\max} = S_3 \cdot 2,5^2 = 0,0779 \cdot 6,25 = 0,487 \text{ кг} \cdot \text{мм}.$$

II. Розрахунок параметрів автобалансира

1. Для розміщення у колекторі автобалансира приймаємо оптимальний радіус від центра обертання до центра мас кулі $R = 28 \text{ мм}$, бо менший радіус ускладнить виготовлення автобалансира, а більший не стане в колектор.

2. Початково приймаємо 4 кулі масою $m = 6,26 \text{ г}$ і радіусом $r = 5,75 \text{ мм}$

$$3. \alpha = 2 \cdot \arcsin \left(\frac{r}{R} \right) = 2 \cdot \arcsin(5,72 / 28) = 0,414 \text{ рад}, \quad 0,414 \cdot 180 / \pi = 23,7 \text{ град}.$$

$$4. S_1(4) = 2 \cdot 0,00626 \cdot 28 \cdot \sum_{i=1}^{4/2} \cos \left[(i-1) \cdot \alpha + \frac{\alpha}{2} \right] = 0,628 \text{ кг} \cdot \text{мм}.$$

$$5. S_2(4) = 2 \cdot 0,00626 \cdot 28 \cdot \sum_{i=1}^{4/2} \sin \left[(i-1) \cdot \alpha + \frac{\alpha}{2} \right] = 0,137 \text{ кг} \cdot \text{мм}.$$

$$6. S(4) = S_1(4) - S_2(4) = 0,628 - 0,137 = 0,49 \approx 0,487 \text{ кг} \cdot \text{мм}.$$

7. Перевіряємо ємність автобалансира

$$\eta\% = 100 \cdot (0,49 - 0,487) / 0,487 = 6,1\%, \quad 0 < 6,1\% < 20\%.$$

За даними розрахунків був спроектований і виготовлений дослідний зразок автобалансира з рухомою втулкою, що несе перегородки (рис. 2, б,в). У виготовленому автобалансирі можна: змінювати кількість і розміри куль, змінювати в'язкість сил тертя, діючих на кулі; встановлювати у нього перегородки, втулку з перегородками, або використовувати як звичайний кульовий автобалансир. Таким чином, один автобалансир може використовуватися як звичайний кульовий, кульовий із перегородками, та кульовий із втулкою з перегородками.

Для перевірки ефективності зрівноваження різними типами кульових автобалансирів крильчатки вентилятора розроблений стенд на базі промислового вентилятора ВО 06-300 №4 (рис. 3). Установка дозволяє змінювати дисбаланс крильчатки, її частоту обертання – за допомогою перетворювача частоти ПЧВ-2, та визначати частоту за допомогою

стробоскопа-тахометра DA-5100 або цифрового тахометра ЦАТ 3М, спостерігати за відносним рухом куль за допомогою стробоскопа-тахометра DA-5100 та стробоскопа MULTITRONICS SC/10, замірювати рівень вібрації системи за допомогою двох датчиків віброприскорень ADXL150/ADXL250, які вимірюють вібрації у двох площинах, і які з'єднані з персональним комп'ютером через аналогово-цифрову плату ADXL202EB-232A з RS-232 інтерфейсом, спостерігати за рухом вала за допомогою лазерного променя, спрямованого по осі вала тощо.

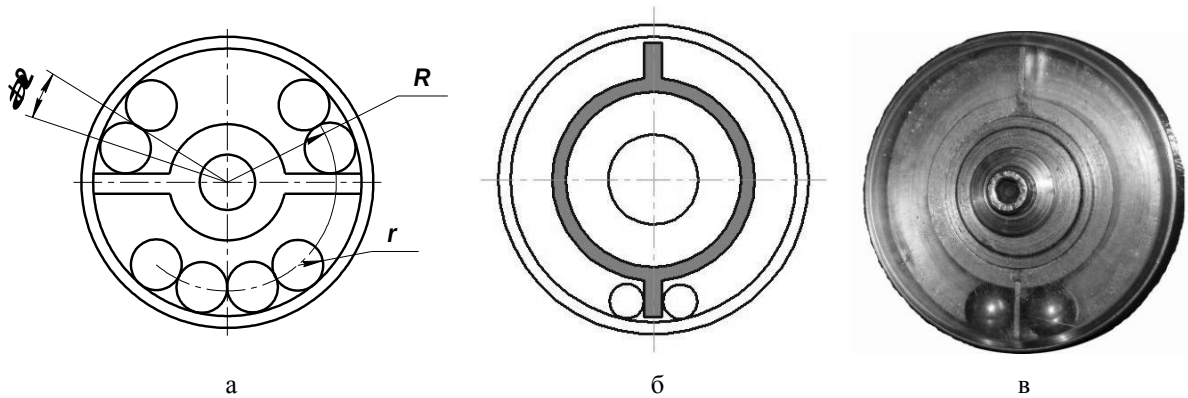


Рисунок 2 – Автобалансир з рухомою втулкою, що несе перегородки
а – схема розрахунку; б – ескіз; в – фото

Проведені дослідження дозволяють зробити такі основні висновки:

- 1) балансування крильчатки до початку експлуатації не приносить бажаного ефекту через її розбалансування у процесі експлуатації;
- 2) крильчатку доцільно балансувати на ходу статично – одним пасивним автобалансиром;
- 3) автобалансир необхідно встановлювати в порожнину колектора, насаджуючи на вал двигуна;



Рисунок 3 – Стенд для перевірки ефективності зрівноваження різними типами кульових автобалансирів крильчатки осьового вентилятора

- 4) доцільно використовувати кульовий автобалансир з перегородками чи з рухомою втулкою, що несе перегородки;

- 5) основні параметри автобалансира розраховуються за розробленими алгоритмами в залежності від маси крильчатки, класу точності зрівноваження крильчатки до початку експлуатації вентилятора, найбільшого можливого розбалансування крильчатки під час експлуатації у класах точності; максимальної кутової швидкості обертання крильчатки, відстані від центра мас кулі до осі вала, радіуса кулі.

Список літератури

1. Калинушкин М. Вентиляторные установки. уч пособ М Высшая школа, 1979.
2. Вахвахов Г. Энергоснабжение и надежность вентиляторных установок. М Стройиздат 1989. -176 с.
3. Ковалевская В.И., Бабак Г.А., Пак В.В. Шахтные вентиляторы. М. Изд-во Недра, 1976. -320 с.
4. Філімоніхін Г.Б. Зрівноваження і віброзахист роторів автобалансирами з твердими коригувальними вантажами: Монографія (за спеціальністю 05.02.09 - динаміка та міцність машин). - Кіровоград: КНТУ, 2004. - 352 с.
5. Автобалансирующий пристрій: Пат. № 75189 Україна, МКІ G01M 1/38 / Г. Б. Філімоніхін, В. С. Майоров (Україна); Г. Б. Філімоніхін, В. С. Майоров. - № 2002032408; Заявл. 27.03.2002; Опубл. 15.03.2006, Бюл.№3.

Рассмотрена задача по уравниванию переменного дисбаланса крыльчаток осевых вентиляторов. Предложено уравнивать крыльчатки на ходу пассивными автобалансирами. Разработаны схема уравнивания, шаровой автобалансира с подвижной втулкой с перегородками, алгоритм определения основных параметров автобалансира. Предложен процесс сборки вентилятора с автобалансиром с проверкой параметров качества. По разработанной методикой рассчитан и создан автобалансира для промышленного осевого вентилятора ВО 06-300 №4.

Is considered the problem of balancing of variable unbalance of blades of axial-type fans. It is offered to counterbalance blades on the move by passive autobalancers. Is developed the scheme of balancing, the balls-type autobalancer with mobile bush with partitions, algorithm of definition of main parameters of the autobalancer. Is offered the process of assembly of fan with autobalancer with checking of parameters of quality. With apply of developed technique are calculated and created the autobalancer for the industrial axial-type fan AF BO 06-300 №4.