

Експериментальне дослідження ефективності зрівноваження крильчаток осьових вентиляторів пасивними автобалансирами

Експериментально досліджена ефективність зрівноваження крильчаток осьових вентиляторів кульовими автобалансирами. Ефективність оцінювалась по віброприскоренням на корпусі вентилятора на різних режимах його роботи. Експерименти проведенні для промислового осьового вентилятора ВО 06-300 №4 на стенді.

автобалансир, крильчатка, осьовий вентилятор, зрівноваження, дисбаланс

В процесі роботи осьового вентилятора напрямок і величина дисбалансу крильчатки змінюється [1,2], внаслідок чого її балансування до початку експлуатації недостатньо. Тому в роботі [3] запропоновано зрівноважувати крильчатки на ходу кульовими автобалансирами (АБ) різних типів, зокрема АБ нової конструкції з перегородками, розробленими в роботах [4,5]. Також в роботі [3] були розроблені схеми зрівноваження крильчатки, алгоритми визначення основних параметрів різних типів АБ, описаний стенд, створений на базі осьового вентилятора ВО 06-300 та дослідні моделі кульових АБ, запропонований процес зборки вентилятора з АБ із перевіркою параметрів якості.

В роботі [6] експериментально досліджена робота різних типів кульових автобалансирів при зрівноважуванні крильчатки осьового вентилятора. Розроблена методика динамічного зрівноважування крильчатки до початку експлуатації вентилятора і методика визначення чутливості автобалансирів до дисбалансу. Проте частину дослідів не було проведено.

Метою цієї роботи є провести спектральний аналіз вібрацій корпусу вентилятора, дослідити ефективність зменшення АБ відповідних віброприскорень і віброшвидкостей. Для експериментів використовується стенд, створений для виміру вібрацій осьових вентиляторів ВО 06-300. Він дозволяє визначати частоту обертання крильчатки за допомогою стробоскопа-тахометра, спостерігати за відносними рухами куль за допомогою стробоскопа, та знімати цей рух за допомогою відеокамери, вимірювати віброприскорення і робити спектральний аналіз коливань осьового вентилятора за допомогою датчиків акселерометрів MMA6231Q 2AX 1,5, що з'єднані з персональним комп'ютером через аналогово-цифрову плату осцилографа ADXL202EB-232A з USB інтерфейсом. Дослідження проводилися для осьового вентилятора В 06-300 №4. Датчики акселерометри вимірюють віброприскорення на корпусі вентилятора в площині, паралельній площини крильчатки (дисбалансу). Прихід куль в необхідне положення фіксується за допомогою цифрової фотозйомки з використанням спалаху.

Визначались миттєві значення віброприскорення (м/с^2) на корпусі вентилятора в діапазоні частот 10-100 Гц (режим осцилографа) і частоти і інтенсивність складових коливань в діапазоні до 100 Гц (режим спектрального аналізатора). Умови проведення випробувань відповідають ГОСТ 11442-90, ГОСТ 10616-90, ГОСТ 10921-90, ГОСТ 12.1.012-90, ГОСТ 31351-2007, ГОСТ 31350-2007 [7-11].

Експерименти проводилися для електродвигуна без крильчатки (рис. 2), для вентилятора до модернізації – з крильчаткою без АБ, і після модернізації – з крильчаткою і АБ за відсутності і наявності додаткового дисбалансу (рис. 3, 4).

Результати експериментів, проведених до модернізації, наступні.

Експеримент 1. Робота осьового вентилятора без крильчатки (рис. 2). При цьому визначаються вібраційні характеристики вентилятора без крильчатки. Вони будуть найкращими, бо встановлення крильчатки буде збільшувати незрівноваженість обертових частин. Результати експерименту занесені до табл. 1, експ. 1.

Встановлена наявність однієї невеликої гармоніки коливань, що відбувається із частотою обертання ротора електродвигуна, і практична відсутність інших гармонік. Це пояснюється зрівноваженістю ротора електродвигуна і безшумністю роботи останнього (рис. 5).

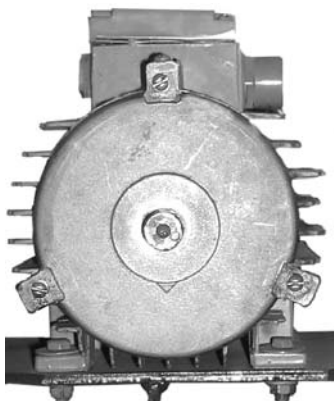


Рисунок 2 – Робота осьового вентилятора без крильчатки



Рисунок 3 – Робота осьового вентилятора з зрівноваженою крильчаткою і АБ



Рисунок 4 – Робота осьового вентилятора з незрівноваженою крильчаткою і АБ

Таблиця 1– Зведені результати експериментів*

№	Спектр і розмах коливань			Коливання (розмах) $U_c, мВ$	Віброприскорення, $м/с^2$		Віброшвидкість, $мм/с$	
	$\omega, об/с$	$U, мВ$	Ефект. АБ, %		амплітуда	середньо-квадратичні	амплітуда	середньо-квадратичні
1	25	24	-	25	0,3	0,21	1,91	1,35
2	25	77		78	0,96	0,68	6,127	4,3
3	25	137		140	1,71	1,21	10,9	7,7
4	25	75	2,6	77	0,94	0,67	5,97	4,22
5	25	75	83	77	0,94	0,67	5,97	4,22

*Розмах віброприскорень вимірюється у мілівольтах.

Дані в комірках білого кольору прийняті за базу для порівняння віброприскорень, а в темно-сірого – для розрахунку позитивного ефекту від застосування АБ.

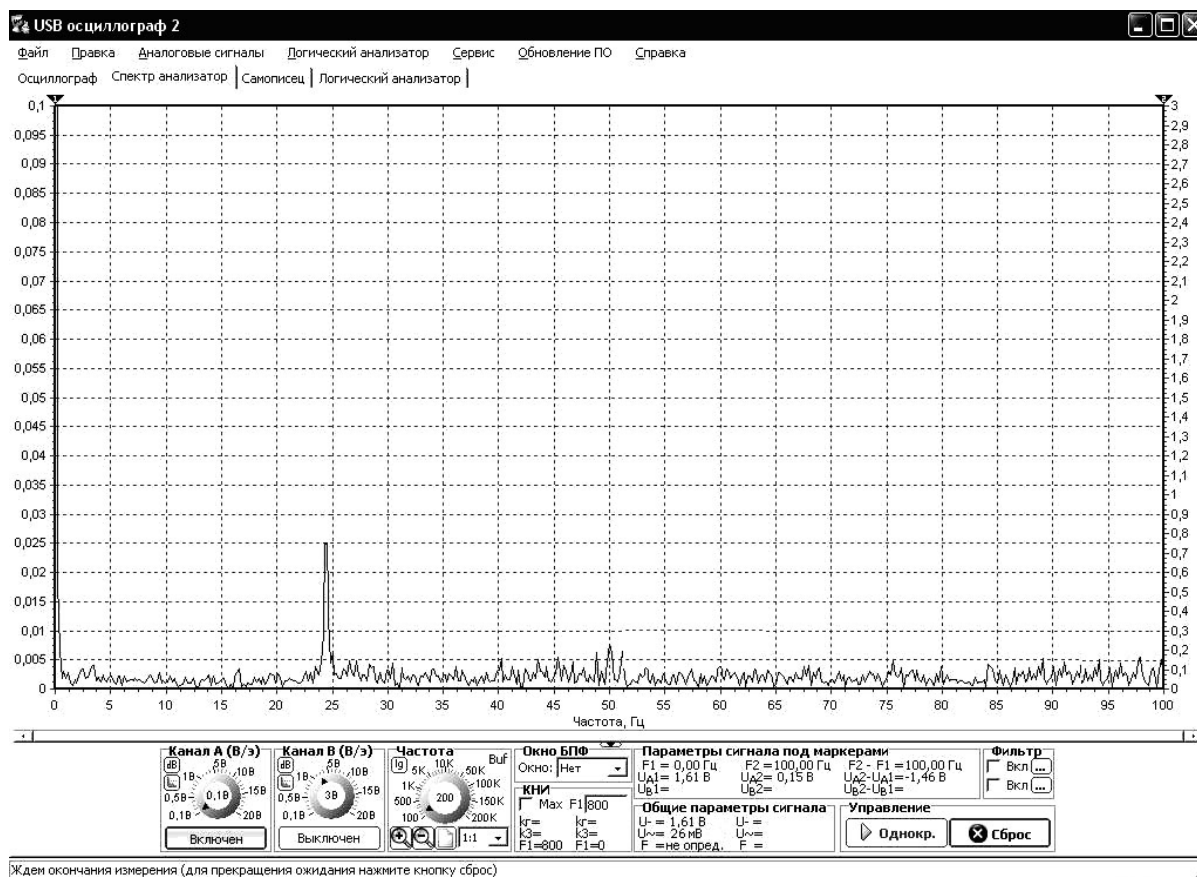


Рисунок 5 – Робота осьового вентилятора без крильчатки і АБ (тільки вал) – спектральний аналіз

Було встановлено, що єдиним джерелом вібрацій є обертання незрівноважених мас із частотою обертання ротора електродвигуна, що видно з:

- а) графіку спектрального аналізатора, на якому спостерігається чіткий пік (25 Гц), що відповідає частоті обертання вала електродвигуна;
- б) осцилограми коливань (рис. 6), на якому утворена правильна синусоїда, із якого впливає наявність одного джерела вібрацій від неврівноваженості крильчатки;
- в) того, що розмах сумарних вібрацій майже рівний розмаху коливань, що відбуваються із частотою обертання ротора електродвигуна.

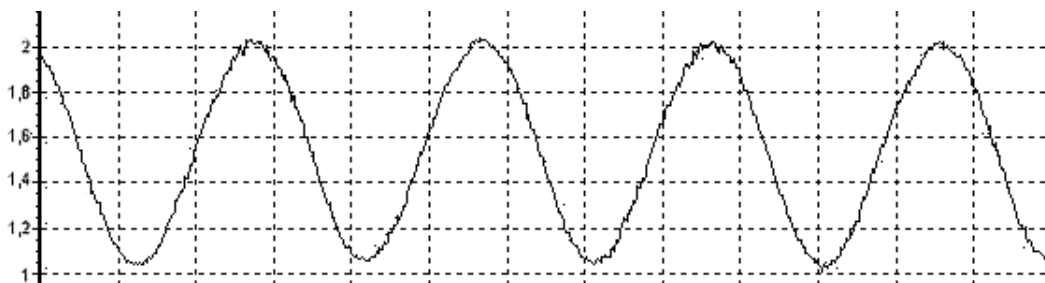


Рисунок 6 – Осцилограма коливань

Експеримент 2. Робота осьового вентилятора з крильчаткою. Запускається електродвигун з крильчаткою, зрівноваженою за четвертим класом точності. При цьому визначаються найкращі характеристики роботи осьового вентилятора без АБ. На спектральному аналізаторі (рис. 7, а) спостерігається збільшення піку, що відповідає

частоті 25 Гц. Це викликано неуврівноваженістю крильчатки. Також спостерігається значно менший пік на частоті 50 Гц, зумовлений наводками струму в мережі живлення. Але сумарні коливання – майже гармонічні, із частотою 25 Гц. Результати експерименту занесені до табл. 1, експ. 2.

Експеримент 3. Робота осьового вентилятора з крильчаткою і великим дисбалансом. Запускається електродвигун з крильчаткою і великим дисбалансом 1050 г·мм, утвореним масою 14 г, розташованою на периметрі колектора (75 мм). Визначаються найгірші характеристики роботи осьового вентилятора без АБ. На спектральному аналізаторі спостерігається значне збільшення піку на частоті 25 Гц (рис. 8, а). Як і в експерименті 3 спостерігається значно менший пік на частоті 50 Гц. Результати експерименту внесені в табл. 1, експ. 4.

Встановлено, що при великому дисбалансі віброприскорення збільшилися, у порівнянні з експериментом 2, на 83%.

Для модернізації вентилятора використовується кульковий АБ з перегородками. Кількість куль в АБ – 6 штук, балансувальна ємність – 1100 г·мм. Результати експериментів наступні.

Експеримент 4. Робота осьового вентилятора з крильчаткою і АБ. Запускається електродвигун (рис. 3) з зрівноваженою за четвертим класом точності крильчаткою і АБ. Визначається ефективність роботи АБ при малих дисбалансах (фактичній відсутності дисбалансу) крильчатки. Результати експерименту занесені в табл. 1, експ. 3.

Встановлено, що кулі прийшли у положення, у якому зрівноважують одна одну (рис. 2), і частково зменшився пік на частоті 25 Гц (рис. 7, б), у наслідку чого віброприскорення зменшилися, у порівнянні з експериментом 2, на 2,6%. Це пояснюється тим, що коливання від дисбалансу крильчатки зменшуються частковим зрівноважуванням кулями малого дисбалансу крильчатки.

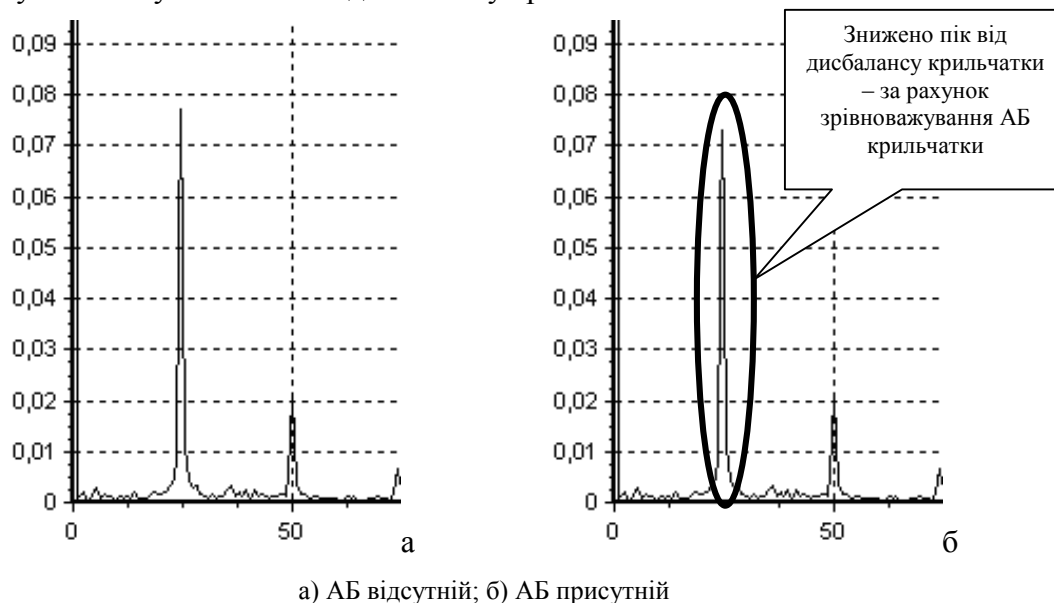


Рисунок 7 – Робота осьового вентилятора з крильчаткою – спектральний аналіз

Експеримент 5. Запускається електродвигун з крильчаткою, великим дисбалансом (1050 г·мм) і АБ (рис. 4). Результати експерименту занесені до табл. 1, експ. 5.

Встановлено, що кулі прийшли у положення, у якому зрівноважують крильчатку (рис. 3), і пік на частоті 25 Гц значно зменшився (рис. 8, б). Завдяки цьому віброприскорення зменшуються, у порівнянні з експериментом 3, на 83%, а в порівнянні з експериментом 2 – на 2,6%.

Експерименти 1-5 проводилися один за одним 5 разів для одного комплексу осьового вентилятора й АБ. Результати всіх експериментів практично збігаються, що говорить про стабільність, повторюваність і вірогідність результатів вимірів.

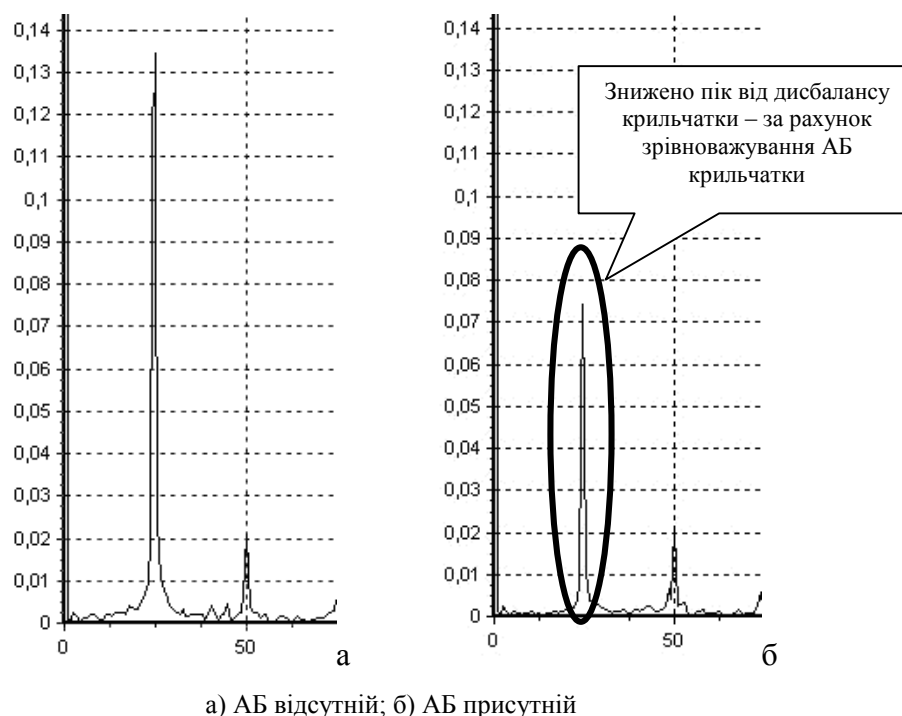


Рисунок 8 – Робота осьового вентилятора з великим дисбалансом – спектральний аналіз

Після проведення експериментів 1-5 і занесення показань датчиків акселерометрів до таблиці 1, були визначені амплітуди і середньоквадратичні значення віброшвидкостей і віброприскорень, які також занесені до табл. 1. При цьому було враховано, що коливання – майже гармонічні, із частотою 25 Гц. Обчислення проводилися відповідно до вимог ГОСТ 31350-2007, ГОСТ ИСО 8041 [12,14] за такими формулами (розрахунок для однієї синусоїдальної складової).

Закон зміни віброприскорення

$$a = A \sin(\omega t) . \quad (1)$$

Амплітуда віброприскорення

$$A = k \cdot U_c / 2 , \quad (2)$$

де $k = 0,025 \text{ мм}/(\text{с}^2 \cdot \text{мВ})$ - коефіцієнт переведення напруження у віброприскорення для датчика віброприскорень MMA6231Q 2AX із чутливістю 1,5g;

U_c – розмах коливань віброприскорення на частоті обертання ротора електродвигуна, мВ.

Амплітуда віброшвидкості

$$V = \frac{A}{\omega} = \frac{A}{2\pi n} , \quad (3)$$

де ω – частота обертання, рад/с;

n – частота обертання, об/хв.

Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості, відповідно

$$A_{r.m.s.} = \sqrt{1/2 \left(\frac{A_1^2}{\omega_1^2} + \frac{A_2^2}{\omega_2^2} + \frac{A_3^2}{\omega_3^2} + \dots + \frac{A_n^2}{\omega_n^2} \right)} = \frac{A}{\sqrt{2}} , \quad V_{r.m.s.} = \frac{A_{r.m.s.}}{\omega} , \quad (4)$$

де A – амплітуда коливань.

Среднеквадратичні значення віброшвидкостей для зрівноваженої крильчатки за вимогами ГОСТ 11442-90 не повинні перевищувати 6,3 мм/с. Величини у табл. 1 свідчать, що застосування АБ дозволяє зменшувати середньоквадратичні значення віброшвидкостей в 1,5 рази.

Висновки:

1. Встановлено, що єдиним джерелом вібрацій корпуса вентилятора є крильчатка і вона вносить значну складову у віброшвидкості, що викликано її неврівноваженістю.

2. Автобалансир – зменшує віброшвидкості і віброприскорення від дисбалансу крильчатки за рахунок приходу куль у положення, у якому вони зрівноважують її.

3. У залежності від величини дисбалансу крильчатки АБ може зменшувати віброшвидкості на 2 – 83%, причому велика ефективність відповідає більшому дисбалансові крильчатк

4. и. Застосування АБ дозволяє зменшувати середньоквадратичні значення віброшвидкостей із запасом 1,5 по відношенню до граничної величини, передбаченої ГОСТ 11442-90.

Список літератури

1. Вахвахов Г. Энергоснабжение и надежность вентиляторных установок. М Стройиздат 1989. -176 с.
2. Калинушкин М. Вентиляторные установки. Уч. пособ. М. Высшая школа, 1979. -244 с.
3. Філімоніхін Г.Б. Яцун В.В. Зрівноваження крильчаток осьових вентиляторів пасивними автобалансирами// Збірник наукових праць КНТУ, 2007, випуск 18.
4. Автобалансирующий пристрій для зрівноваження роторів із похилою віссю обертання: Пат. на корисну модель № 26788 У Україна, МПК G01M 1/38 / Г. Б. Філімоніхін, В. В. Яцун, О.В. Коваленко (Україна); КНТУ - № 200704757; Заявл. 27.04.2007; Опубл. 10.10.2007, Бюл.№16.
5. Автобалансирующий пристрій для зрівноваження роторів із похилою віссю обертання: Пат. на корисну модель № 35261 У Україна, МПК G01M 1/100 / Г. Б. Філімоніхін, В. В. Яцун, О.В. Коваленко (Україна); КНТУ - № 200804424; Заявл. 07.04.2007; Опубл. 10.09.2007, Бюл.№17.
6. Філімоніхін Г.Б., Яцун В.В. Експериментальне дослідження зрівноваження кульовими автобалансирами крильчатки осьового вентилятора // Всеукраїнський н.-т. журнал „Вібрації у техніці та технологіях”. –2007. №2 (47), С. 26-32.
7. ГОСТ 11442-90. Вентиляторы осевые общего назначения. Общие технические условия.
8. ГОСТ 10616-90. Вентиляторы радиальные и осевые. Размеры и параметры.
9. ГОСТ 10921-90. Вентиляторы радиальные и осевые. Методы аэродинамических испытаний.
10. ГОСТ 12.1.012-90 Система стандартов безопасности труда.. Вибрационная безопасность. Общие требования.
11. ГОСТ 31351-2007. Вибрация. Вентиляторы промышленные. Измерения вибрации
12. ГОСТ 31350-2007. Вентиляторы промышленные. Требования к производимой вибрации и качеству балансировки.
13. Бидерман В. Л. Теория механических колебаний: Учебник для вузов. - М.: Высш. школа, 1980. - 408 с.
14. ГОСТ ИСО 8041. Вибрация. Воздействие вибрации на человека. Средства измерений.

Експериментально досліджена ефективність урівноваживання крильчаток осевих вентиляторів шаровими автобалансирами. Ефективність оцінювалась по віброускоренням на корпусі вентилятора на різних режимах його роботи. Експерименти проведені для промислового осевого вентилятора ВО 06-300 №4 на стенде.

Experimentally investigational efficiency of balancing spinners of axial fan by ball balancers. Efficiency was estimated on vibroaccelerations on the corps of fan on different hours. Experiments are conducted for industrial axial fan in BO 06-300 №4 on a stand.