

УДК 62-251 : 62-137

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДИНАМІЧНОГО БАЛАНСУВАННЯ КУЛЬОВИМИ АВТОБАЛАНСИРАМИ КРИЛЬЧАТКИ ОСЬОВОГО ВЕНТИЛЯТОРА

Олійніченко Л.С., Філімоніхін Г.Б.
ЦНТУ, м. Кропивницький, Україна

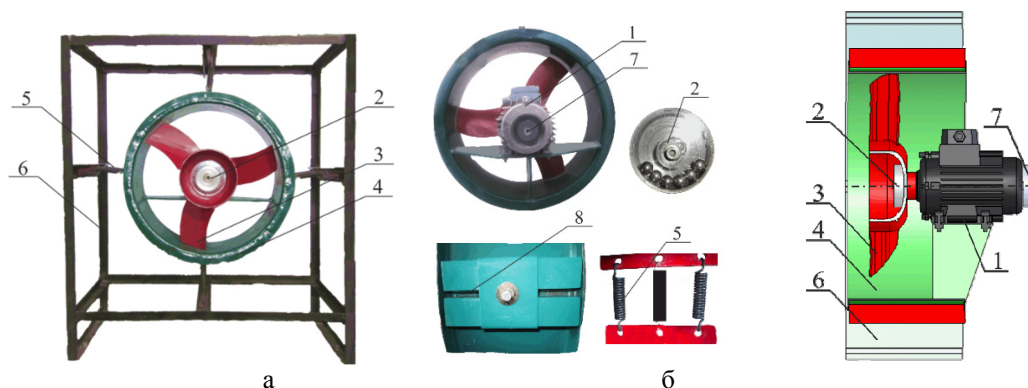
Анотація: Експериментально і комп'ютерним моделюванням досліджено процес динамічного балансування двома кульовими автобалансирами обертових частин в зборі (крильчатка) осьового вентилятора ВО 06-300 (Україна). Визначений вплив автобалансирів на віброшвидкості (віброприскорення) в контрольних точках вентилятора на ділянках розгону, крейсерського руху і вібрігу крильчатки. Оцінена точність балансування крильчатки на ділянці крейсерського руху. Досліджено вплив сил тяжіння, в'язкого опору руху куль на точність балансування. Оцінений вплив ексцентриситетів бігових доріжок автобалансирів на точність балансування. Визначені граничні величини, до яких в принципі можна зменшити вібрації вентилятора автобалансирами.

Ключові слова: осьовий вентилятор, кульовий автобаланси́р, точність балансування, динамічне балансування, автобаланси́р, перехідний процес

Досліджено процес динамічного балансування двома кульовими автобалансирами (АБ) крильчатки осьового вентилятора ВО 06-300 [1, 2].

Експериментальні дослідження проведені на стенді [1], зображеному на рис. 1, а, б.

Комп'ютерне 3D моделювання проведено в САПР SolidWorks з використанням модуля Cosmos Motion. Для цього була створена 3D модель вентилятора [2] (рис. 1, в). В 3D моделі всі параметри такі ж самі, як і у стенда.



1 – асинхронний електродвигун; 2 – АБ, насаджений на вал електродвигуна з боку крильчатки 3; 4 – захисний кожух вентилятора; 5 – пружно-в'язкі опори; 6 – рама; 7 – АБ, насаджений на вал електродвигуна з боку хвостовика; 8 – додаткові маси (кріпляться на кожусі для зміни масо-інерційних характеристик вентилятора)

Рис. 1. Осьовий вентилятор: а – стенд в зборі (вид спереду); б – складові частини стенду; в – 3D модель

Маси деталей: захисного кожуха з корпусом електродвигуна – 12,2 кг; крильчатки (обертювих частин в зборі) – 2,0 кг. Крейсерська швидкість обертання крильчатки 25 об/с.

Параметри АБ: кількість куль – 6, маса кулі – 6,93 г, діаметр кулі – 11,9 мм. Зі сторони крильчатки і хвостовика, відповідно: діаметри бігових доріжок АБ – 68 мм і 64 мм; балансувальні ємності АБ – 878,6 г·мм і 776,4 г·мм.; найбільші величини незрівноваженостей в площинах корекції – 823,5 г·мм і 737,3 г·мм (запас балансувальної ємності АБ більший за 5%).

Вібраційний стан вентилятора оцінюється за величинами віброшвидкостей (віброприскорень), заміряних в 3-х контрольних точках. Точки 1 і 2 розташовані на подовжній осі вентилятора, відповідно, у площині корекції першого і другого АБ (на натурному стенді – як можна ближче до цих точок). По вібраціям в цих точках оцінюється точність балансування крильчатки першим і другим АБ. Точка 3 знаходиться на захисному кожусі. По вібраціям у точці 3 оцінюється точність динамічного балансування крильчатки двома АБ. Величини вібрацій оцінювалися відповідно до рекомендацій міжнародного стандарту ISO 21940-11.

При відсутності АБ і найбільшій незрівноваженості, віброшвидкості в контрольних точках на усталеному русі перевищують гранично допустиму величину (6,3 мм/с) не менше, ніж в 2,5 рази. Це відповідає збільшенню максимально допустимої незрівноваженості крильчатки не менше ніж на один клас точності балансування (ISO 21940-11).

Конфігурації стенду: 1 – без АБ, 2 – з АБ. Відсутність АБ забезпечується відсутністю в них куль. Тривалість кожного експерименту 38 с, з яких крильчатка: 1 с розганяється; 12 с обертається з крейсерською швидкістю; 25 с зупиняється. За результатами кожного експерименту, для контрольних точок 1, 2, 3, будуються відповідні діаграми віброшвидкостей (віброприскорень).

Для оцінки вібраційного стану вентилятора виділяються наступні ділянки на діаграмі віброшвидкостей (віброприскорень): I – від пуску крильчатки до настання автобалансування $t \in [0, 3)$; II – від моменту настання автобалансування до початку гальмування ротору $t \in [3, 13)$; III – від початку гальмування ротору до повної зупинки $t \in [13, 38]$.

В свою чергу, ділянка I ділиться на: Ia – ділянка розгону (від пуску крильчатки до досягнення крейсерської швидкості) $t \in [0, 1)$; Ib – ділянка неусталеного крейсерського руху $t \in [1, 3)$ (перехідний процес, який закінчується настанням автобалансування).

Експериментально встановлено, що АБ: не погіршують процес розгону крильчатки; зменшують під час вибігу крильчатки пікові величини віброприскорень (віброшвидкостей) на 80- 60%. На ділянці крейсерського усталеного руху (як при відсутності, так і при наявності додаткових мас, прикріплених до захисного кожуха вентилятора) АБ зменшують віброприскорення: з боку крильчатки на 47÷81%; з боку хвостовика на 63÷78%; на захисному кожусі на 70÷82%. При цьому АБ балансують крильчатку за класом точності G 2,5.

Залишкові вібрації вентилятора ($1 \div 2,5$ мм/с) можуть викликати: сили тяжіння; застій куль через сухе тертя; ексцентриситети бігових доріжок тощо. При цьому сили тяжіння завжди будуть обмежувати точність балансування крильчатки. Вплив інших факторів можна зменшувати на етапах виготовлення АБ і їх встановлення на ротор електродвигуна.

Основний недолік експериментальних досліджень – це неможливість встановлення, до яких граничних величин можна в принципі зменшити вібрації вентилятора. Для встановлення цих величин проведені експерименти в «ідеальних» умовах – комп'ютерним моделюванням.

Комп'ютерним моделюванням встановлено, що:

а) на ділянці розгону (ділянка Ia, 0–1 с) АБ збільшують величину середнього квадратичного значення віброшвидкості на 20%;

б) на ділянці крейсерського неусталеного руху (ділянка Ib, 1–3 с) АБ зменшують середньоквадратичне значення віброшвидкості на 62%;

в) на всій ділянці I АБ зменшують величини віброшвидкостей на 19%.

Дослідження вібраційного стану вентилятора під час вибігу показало, що АБ зменшують величини віброшвидкостей на двох піках діаграми, відповідно на 61% і 46%. Останнє

пояснюється тим, що на вибігу виникає застій куль і кулі затримуються в балансувальних положеннях майже до зупинки ротора.

На номінальній швидкості обертання 15 об/с крильчатка може бути збалансована не краще, ніж по класу точності G 2,5, а на номінальній швидкості обертання 25 об/с – по класу точності G 1.

У «ідеальних» умовах у порівнянні з натурним експериментом АБ покращують: режим пуску в 2,7 рази; режим вибігу в 1,5 разів; точність балансування – в 16 разів.

Вплив сил тяжіння на точність балансування ротора швидко зменшується з ростом крейсерської швидкості обертання крильчатки. Сили тяжіння найбільш погіршують точність балансування ротора при відсутності або малій незрівноваженості ротора.

При збільшенні сил в'язкого опору руху куль вплив сил тяжіння на точність балансування ротора збільшується. Це пов'язано з уповільненням реакції куль на незрівноваженість. При великих силах в'язкого опору кулі повільно дрейфують до автобалансиального положення.

Оціночно визначений вплив ексцентриситетів бігових доріжок АБ на точність балансування крильчатки (табл.). При перевищенні ексцентриситетом бігової доріжки максимального значення відповідний АБ створюватиме залишкові вібрації, що перевищують допустимі.

Таблиця

Максимальне значення ексцентриситетів бігових доріжок

Частота обертання крильчатки, об/с	$e_{max}, \text{мм}$			
	G 1	G 2,5	G 6,3	G 16
15	0,0106	0,027	0,067	0,170
20	0,008	0,020	0,05	0,127
25	0,0064	0,016	0,04	0,102
50	0,0032	0,008	0,02	0,051
75	0,0021	0,005	0,013	0,034
100	0,0016	0,004	0,01	0,025

З табл. видно, що на швидкообертові крильчатки потрібно більш точно встановлювати АБ. Рекомендується, щоб ексцентриситети бігових доріжок були меншими в 2,5 і більше разів величин, наведених в табл. При цьому залишкові вібрації контрольних точок 1 і 2, викликані тільки ексцентриситетами бігових доріжок, будуть лежати в діапазоні більш високого класу точності балансування.

Залишкові віброшвидкості, викликані тільки ексцентриситетами бігових доріжок, зростають прямопропорційно швидкості обертання крильчатки.

Залишкові віброшвидкості ($1 \div 2,5 \text{ мм/с}$) на стенді вентилятора в основному викликані не силами тяжіння. Ймовірна причина залишкових вібрацій: неточності виготовлення АБ; неточності установки АБ на ротор; застій куль на бігових доріжках тощо. Вібрації від цих чинників можуть бути мінімізовані на етапі виготовлення та складання вентилятора і АБ.

Список літератури:

1. Olijnichenko, L. Experimental study of the process of the static and dynamic balancing of the axial fan impeller by ball auto-balancers / L. Olijnichenko, V. Goncharov, V. Sidei, O. Horpynchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 2, – №1(86). – P. 42–50. doi: 10.15587/1729-4061.2017.96374
2. Olijnichenko, L. On accuracy limitation of balancing by ball auto-balancers of axial fan impeller / L. Olijnichenko, V. Hruban, M. Lychuk, V. Pirigov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 1, – №1(91). – P. 27–35. doi: 10.15587/1729-4061.2018.123025