



УДК 621.452

РОЗРОБКА РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ ПРУЖНОГО ЕЛЕМЕНТА ПІДШИПНИКОВОЇ ОПОРИ

Шень Дунчао, В. С. Чигрин

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

Досліджується ТРДД Д-436-148ФМ, який виконаний за двоконтурною трьохвальною схемою з двовальним газогенератором без зміщення потоків. Особливість трьохвальної схеми – розділення ротора компресора на три самостійні ротори, кожен з яких наводиться в обертання своєю турбіною. Двигун складається з одноступінчастого вентилятора з одним підпірним ступенем, осьового шестиступінчастого компресора низького тиску (КНТ), семиступінчастого компресора високого тиску, кільцевої камери згорання, одноступінчастої осьової турбіни високого тиску, одноступінчастої осьової турбіни низького тиску, триступінчастої осьової турбіни вентилятора (ТВ) і реактивних сопел зовнішнього і внутрішнього контурів.

Найбільшу небезпеку для літака і двигуна представляє відрив лопатки вентилятора. Тому досліджуватимемо коливання двигуна, викликані саме цим чинником. Приймаємо, що обертання інших двох роторів не робить впливу на коливання двигуна.

Усі три ротори встановлені на ідентичних пружних опорах, які закріплені в статорі двигуна. Призначення пружно-демпферних опор – зниження загального рівня вібрацій роторів і усього двигуна в цілому і усунення небезпечних резонансних коливань з робочого діапазону або зміщення їх на безпечні режими.

Передні опори усіх трьох роторів двигуна Д-436-148ФМ – кулькові підшипники, встановлені в пружних елементах «біляче колесо». Пружний елемент є втулкою з великою кількістю прорізів. Втулку з одного боку прикріплюють за допомогою фланця до корпусу, а з іншого боку в неї вставляють підшипник ротора.

Задні опори усіх трьох роторів – роликові підшипники з гідродинамічною масляною плівкою без пружних елементів. Основна гідність гідродинамічної опори – простота конструкції. Масляний шар є таким, що повністю несе навантаження і демпфує коливання ротора.

Для подальшого моделювання коливань ротора вентилятора необхідно створити модель пружної опори.

Кульковий підшипник моделюється жорстким шарніром, встановленим в пружній опорі «біляче колесо». Така модель обґрунтована тим, що, по-перше, деформацією самого шарикопідшипника в порівнянні з деформацією пружної опори можна нехтувати, по-друге, частота вільних коливань ротора на



шарикопідшипниках без пружних опор відрізняється від частоти коливань ротора наявної конструкції у декілька разів.

У Запорізькому КБ «Прогрес» ім. А. Г. Івченка отримані значення коефіцієнтів жорсткості при малих деформаціях усіх опор (табл. 1).

Таблиця 1 – Коефіцієнти жорсткості підшипникових опор

Опора	Коефіцієнт жорсткості, Н/м
Передня ротора вентилятора	$0,1 \cdot 10^8$
Задня ротора вентилятора	$0,25 \cdot 10^8$
Передня ротора низького тиску	$0,16 \cdot 10^8$
Задня ротора низького тиску	$0,35 \cdot 10^8$
Передня ротора високого тиску	$0,49 \cdot 10^8$
Задня ротора високого тиску	$0,76 \cdot 10^8$

При великих деформаціях, викликаних дисбалансом ротора з відірваною лопаткою вентилятора, передня пружна підшипникова опора моделюється білінійним пружним елементом, який працює в площині перпендикулярної осі обертання. Для подальших розрахунків необхідно створити модель пружного елемента передньої опори ротора вентилятора.

Визначення коефіцієнтів жорсткості передньої опори ротора

Під дією радіальної сили підшипника стержневі елементи пружної втулки працюють на вигин. Під дією осьової сили стержневі елементи пружної втулки працюють на стискування. Під дією однакових за величиною сил стискування стержнів у декілька разів менше прогину, тому в прийнятій моделі опори нехтуємо осьовою деформацією і враховуємо тільки радіальну. Жорсткість опори визначається завтовшки стінки втулки, шириною прорізів, числом і завдовжки стержневих елементів, що утворилися.

Для визначення коефіцієнта жорсткості «білячого колеса» виконано чисельне моделювання в системі «Solid Works» (рис. 1).

Прикладена сила $P = 100$ Н, жорстко пов'язана з розділеною кільцевою поверхнею (стаканом зовнішньої обойми підшипника).

Визначено переміщення δ стакана зовнішньої обойми (рис. 2).

Коефіцієнт жорсткості K пружного елемента «біляче колесо» передньої опори вентилятора

$$K = \frac{P}{\delta} = \frac{100}{1,033 \cdot 10^{-5}} = 9,68 \cdot 10^6 \text{ Н/м.}$$

З урахуванням коефіцієнта жорсткості демпфуючого масляного шару сумарний коефіцієнт жорсткості передньої опори складає $1 \cdot 10^7$ Н/м, що узгоджується з даними КБ «Прогрес» ($0,1 \cdot 10^8$ Н/м).

Зовні пружного елемента розташовані дві тонкостінні обичайки, що є проміжними силовими елементами. На зовнішній обичайці виконаний надріз. При нормальному рівні дисбалансу ротора пружний елемент забезпечує зменшення жорсткості системи ротор-статор і дозволяє пройти критичні обороти



ротора на зниженому режимі (до режиму малого газу). При збільшенні дисбалансу ротора вентилятора вибирається проміжок 0,15 мм в масляному демпфері, потім стакан зовнішньої обійми разом з пружним елементом вибирає проміжок 1,5 мм, корпус демпфера сідає на обичайки, включаючи в роботу їх жорсткість. Таким чином, характеристика жорсткості опори є білінійною.

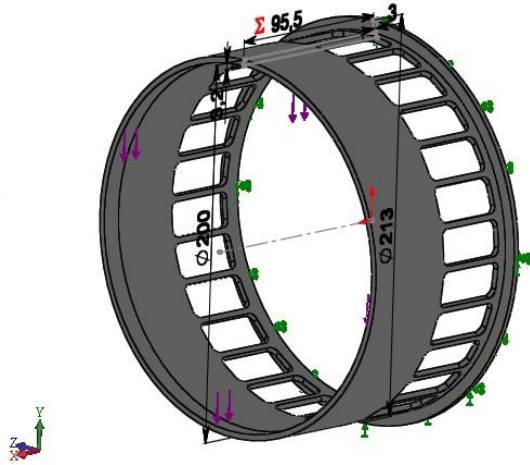


Рис. 1 – Розрахункова модель пружної опори «біляче колесо»

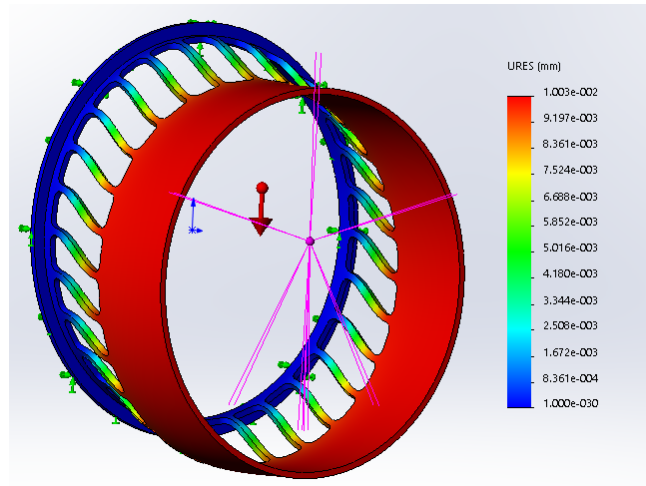


Рис. 2 – Розподіл деформацій моделі «білячого колеса» від сили $P = 100 \text{ Н}$

При істотному збільшенні рівня дисбалансу, зовнішня обичайка руйнується по надрізу і ротор, можливо, заклинить. Але при цьому він устигає зробити декілька десятків оборотів.