

Сравнительный анализ различных конструкций диска вентилятора турбовентиляторного двигателя по прочности и габаритам

Оссиала Венсеслас Бель Амур

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева»

Ассистент и аспирант кафедры основ конструирования машин

Комаров Олег Александрович

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева»

Аспирант кафедры КиПДЛА

Аннотация

Результаты исследования прочности диска турбовентиляторного двигателя с разным количеством ступиц приведены в этой работе. После анализа прочности различных конструкций было показано, что количество и размеры ступиц диска влияют на его массу.

Ключевые слова: диск, ступица, прочность, масса.

Strength and size comparative analysis of different designs of the fan disk of turbofan engine

Ossiala Venceslas Bel Amour

Samara National Research University

Assistant and post-graduate student of the Department of machine design

Komarov Oleg Aleksandrovich

Samara National Research University

graduate student of department «Constructing and design of aircraft engines

Abstract

The results of the study of the strength of the disk of a turbofan engine with a different number of hubs are given in this work. After analyzing the strength of various structures, it was shown that the number and size of the disk hub affect its mass

Keywords: disc, hub, strength, weight.

Задача повышения надежности и долговечности дисков турбовентиляторных двигателей требует ответа на вопрос, какая геометрия диска является оптимальной с точки зрения прочности и веса.

Описание расчётной модели

Главным критерием при создании конструкции был выбор материала диска - титановый сплав ВТ-9, его свойства представлены в таблице 1. Граничные условия и расчет прикладываемой нагрузки приведён на рисунке 1. Принятые граничные условия: закрепление боковой части во всех направлениях в цилиндрической системе координат; возможность проворачиваться только в осевом направлении. Нагрузки заданы от действия лопаток на боковые грани замка $N=634969,8$ Кн. Нагрузкой от массы хвостовика лопатки пренебрегаем так как она мала. Расчёт проводился для частоты вращения $\omega=200$ рад/с.

Таблица 1-Свойства сплава ВТ-9.

| Параметр | Значение |
|----------------------------------|----------------------|
| Плотность ,кг/м ³ | 4500 |
| Модуль упругости ,МПа | 1.2×10^{11} |
| Коэффициент Пуассона | 0,32 |
| Предел длительной прочности ,МПа | 1050 (при 20°С) |

Граничные условия

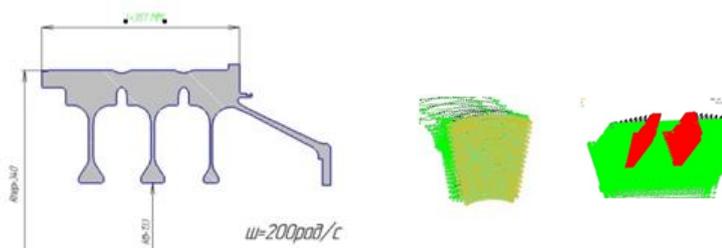


Рисунок 1 – Граничные условия и система сил нагружения диска

В расчетах принимались два вида сетки, упорядоченная сетка путем разбиения детали на несколько элементов и свободная сетка в местах со сложной геометрией, показана на рисунке 2.



Рисунок 2 – Конечно–элементная 3D модель

Для сравнительного анализа было использовано четыре варианта дисков. Диск с тремя ступицами без проточек (аналог Ge90), диск с тремя ступицами с проточками (аналог GEnx), диск с двумя ступицами (аналог

CFM56), и диск с одной ступицей (аналог Д36),. Схемы всех дисков приведены на рисунке3

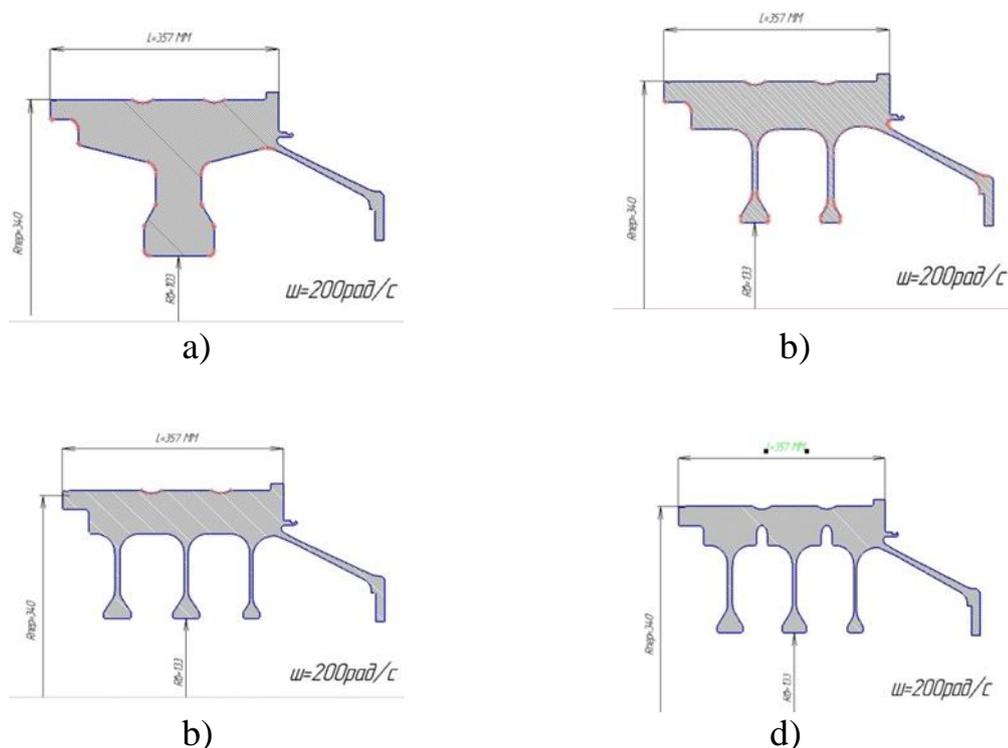


Рисунок 3 –Различные конструкции диска

- a) Схема диска с одной ступицы; б) Схема диска с двумя ступицами;
 c) Схема диска с тремя ступицами; д) Схема диска с тремя ступицами с проточками

В работе были проведены расчеты дисков на прочности, на колебания, запас прочности, а также была рассчитана масса каждого диска.

Запас прочности диска определяется по местным напряжениям:

$$K_m = \frac{\sigma_b}{\sigma_{\max}} \quad (1)$$

По нормам гражданской авиации: $K_m > 2$.

Конечно-элементные 3D модели всех дисков

Для дальнейшего создания конечно-элементной сетки, необходимо построить объемную модель диска и для этого был создан сектор диска под углом вращения 150 чтобы упростить задачу. Дальше необходимо вырезать пазы в обод диска.

Для наложения упорядоченной сетки конечных элементов обод диска составлен из нескольких объемов, каждый из которых легко разбивается упорядоченной сеткой.

Разбиваем поверхности полотна свободной сеткой, а объемы полотна диска конечно-элементной сеткой методом выдавливания[4]. Результаты показаны на рисунке 4.

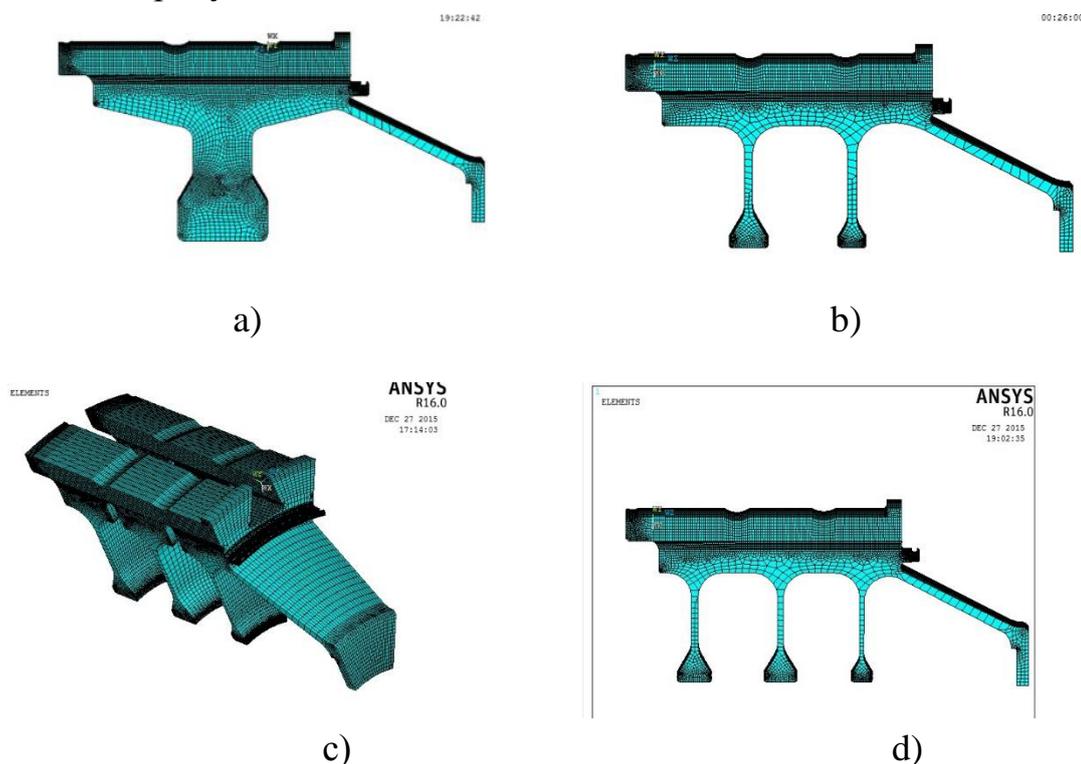


Рисунок 4 – Конечно-элементные 3D модели всех дисков
 а) Модель диска с одной ступицы; б) Модель диска с двумя ступицами;
 в) Модель диска с тремя ступицами; д) Модель диска с тремя ступицами с проточками

Распределение напряжений для всех дисков

Для расчета используется секторная модель. На противоположные грани сектора диска накладываем условия циклической симметрии, связав перемещения узлов этих граней в цилиндрической системе координат в направлении вращения. Прикладываем центробежную нагрузку от вращения с оборотами 200 рад/с[1].

Результаты расчеты показаны на рисунках 5 и 6.

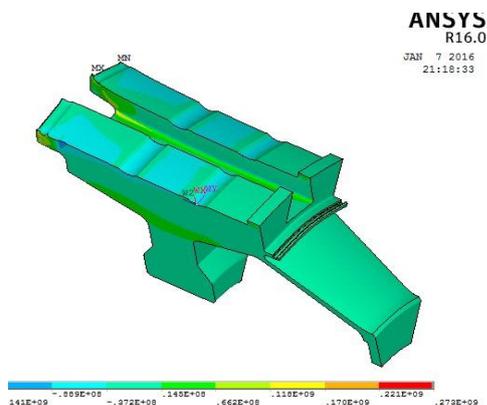


Рисунок 5 – Распределение напряжения в диске с одной ступицей

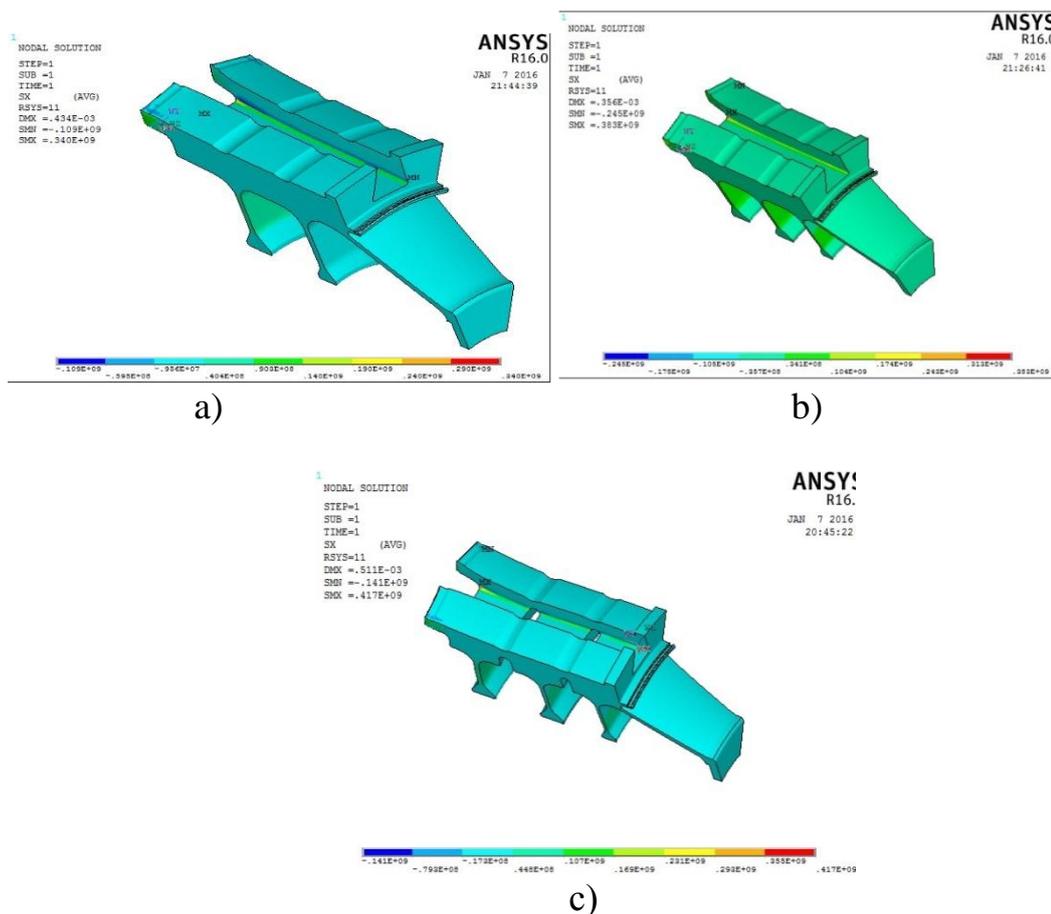


Рисунок 6 – Картинки распределения напряжения в дисках вентилятора
 а) распределения напряжения в диске с двумя ступицами;
 б) распределения напряжения в диске с тремя ступицами;
 в) распределения напряжения в диске с тремя ступицами с проточками

Результаты исследования массы дисков приведены в таблице 2.

Таблица 2–Результаты исследования дисков

| Вариант диска | Напряжение, МПа | Запас прочности | Масса, Кг |
|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| Одна ступица | 402 | 2.61 | 24.966 |
| Две ступицы | 340 | 3.088 | 18.766 |
| Три ступицы без проточек | 383 | 2.71 | 19.632 |
| Три ступицы с проточками | 417 | 2.52 | 18.687 |

Расчет дисков на колебания

Для определения частот и мод собственных колебаний конструкции применяется частотный анализ. Знание параметров собственных частот колебаний становится важным в условиях динамического нагружения и при

моделировании вибрации и переходных процессов [3] Результаты расчеты показаны на рисунке 7.

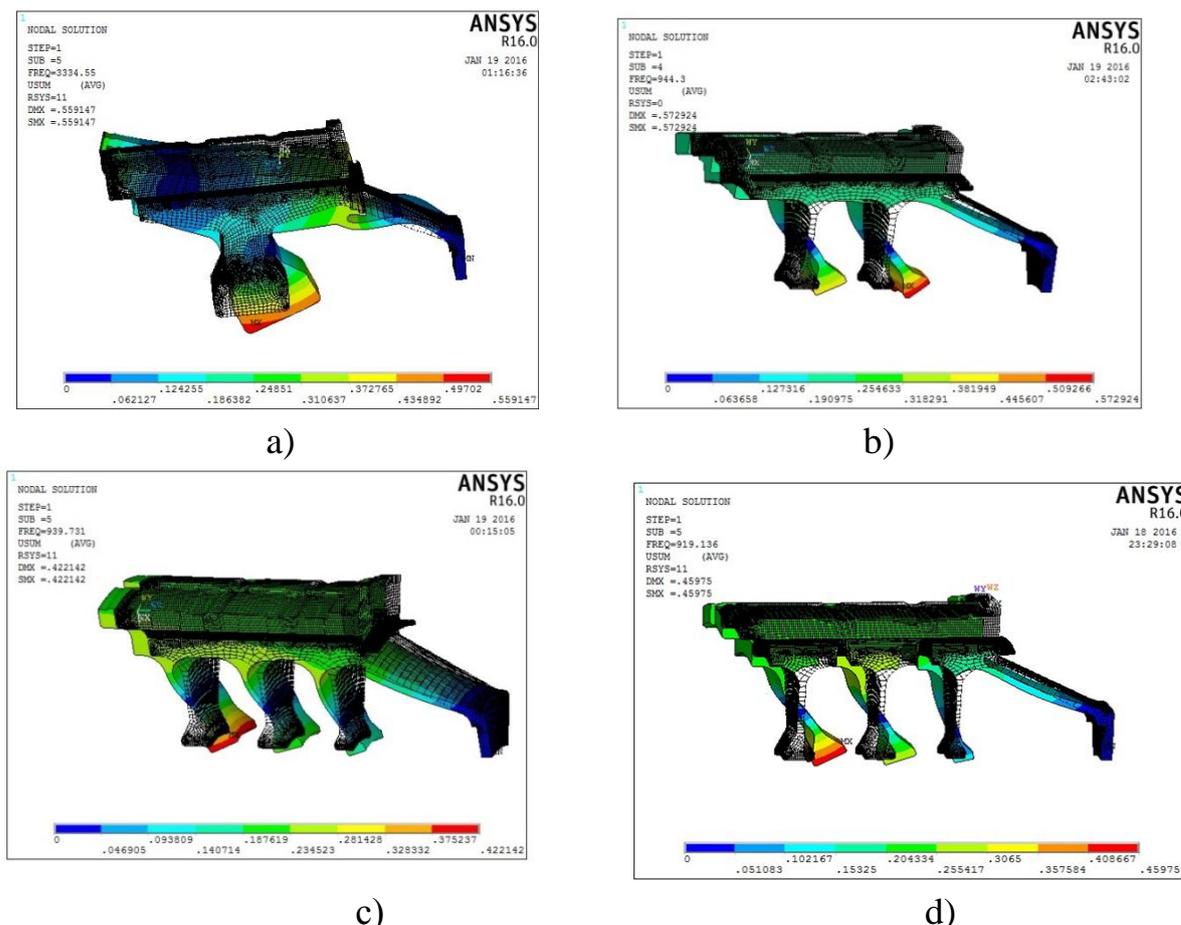


Рисунок 7 – Собственные частоты вращения дисков вентилятора
 а) Модель диска с одной ступицы; б) Модель диска с двумя ступицами;
 в) Модель диска с тремя ступицами; д) Модель диска с тремя ступицами с проточками

Заключение

Выбор рациональной конструкции диска проводился по прочности и массе с учетом запаса прочности. Можно отметить, что все диски удовлетворяют нормам прочности гражданской авиации.

Из выше представленных рисунков можно сделать вывод, что диск с тремя ступицами и проточками более нагруженный, чем остальные, однако он самый лёгкий. Диск с одной ступицей на втором месте по нагруженности, но имеет самую большую массу, что не отвечает требованиям авиационных конструкций. Диск с тремя ступицами без проточек на 4.8% больше по массе диска с проточками, но напряжение у него на 8% меньше. Исходя из этого можно сделать вывод, что проточки выполняют для уменьшения массы. Еще можно сделать вывод, что у диска с тремя ступицами с проточками более предпочтительные параметры, чем остальные по массе, однако если сравнить по двум параметрам, то диск с двумя ступицами, более оптимальный, так как у него напряжение на 18% меньше чем у диска с тремя ступицами с проточками. Для того чтобы снизить массу можно менять ширину проточки

при этом уменьшаем запас прочности до приемлемых значений. В данной работе были проведены расчеты на колебания. С помощью программы ANSYS были рассчитаны критические частоты вращения.

Расхождение критических частот, полученных для диска с двумя и тремя ступицами оказалось не значительным. Расхождение критических частот, полученных для диска с тремя ступицами и диска с одной ступицей, на 70%. Причём у диска с тремя ступицами частоты ниже, чем у диска с одной ступицей. С помощью анимации программы ANSYS рассматривались перемещения диска на частоте $\omega=200$ рад/с, что соответствует взлетному режиму. Показано, что амплитуда колебаний наименьшая у диска с тремя ступицами.

Библиографический список

1. Биргер И. А. и др. Расчет на прочность деталей машин: Справочник/ И. А. Биргер, Б. Ф. Шопр, Г. Б. Иосилевич. М.: Машиностроение, 1993. 640 с.
2. Deppe, H. Saathoff, and U. Stark "Spike-type stall inception in axial flow compressors," in Proceedings of the 6th Conference on Turbomachinery, Fluid Dynamics and Thermodynamics, Lille, France, 2005.. International Conference on Structural Engineering, Vibration and Aerospace Engineering, SEVAE 2013; Zhuhai; China; 23 November 2013 through 24 November 2013; Code 101959.
3. Ma J. Z., Wang G. C., Zuo D. и др. Geometric Analysis in an MR Fan Clutch // Advanced Materials Research, 2011Т. 239-242. С. 1731-1734, Ansys Release 17.0. Documentation. Canonsburg: Ansys
4. Морозов Е. М., Никишков Г. П. Метод конечных элементов в механике разрушения. М.: ЛКИ / URS, 2008. 256 с.