

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ОПТИМИЗАТОРА ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ТРЕБУЕМЫХ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСКА ТУРБИНЫ

Селищев П.А.¹, Зеленкевич А.Д.¹, Столь О.В.¹

¹ПАО «ОДК-Кузнецов», г. Самара, gfvjgkbyf@gmail.com

Ключевые слова: параметрическая оптимизация, циклическая долговечность, конфигурация диска, пластические деформации, концентраторы напряжений

Одними из основных прочностных характеристик роторных деталей газотурбинного двигателя (ГТД) являются: запасы по местной статической прочности, по несущей способности и по циклической долговечности.

Объектом исследования является диск первой ступени свободной турбины (СТ) ГТД.

Статические расчеты диска первой ступени СТ для определения его прочностных характеристик проведены в составе ротора для учета влияния соседних деталей с использованием метода конечных элементов (МКЭ). По местам стыков деталей смоделированы контакты типа «поверхность-поверхность». Поскольку геометрическая модель ротора, использованная в расчетах, не включает в себя пазы дисков и рабочие лопатки, к ободам дисков (местам обрезки дисков) приложена центробежная нагрузка от исключенных элементов в виде давления. Таким образом, прочность области елочного паза диска в исследуемой модели не рассмотрена. На рис. 1 представлены осесимметричная модель ротора СТ, используемая в расчетах, и приложенные к этой модели граничные условия.

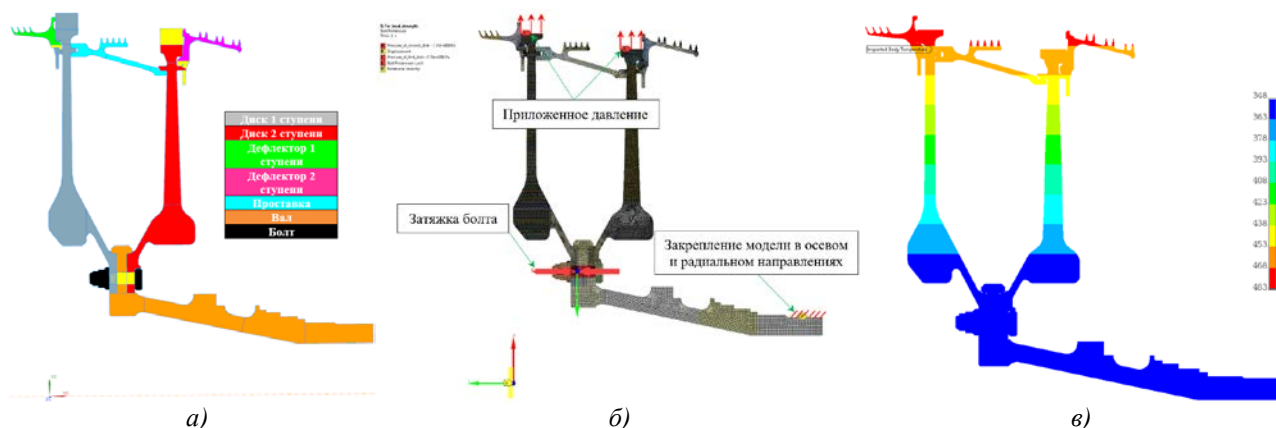


Рис. 1 – Расчетная модель ротора СТ: а) Геометрия; б) Граничные условия;
в) Граничные условия в виде температурного распределения

Решение об использовании параметрического оптимизатора принято после получения прочностных характеристик диска с номинальной геометрией, не удовлетворяющих требованиям нормативной документации [1], а именно: недостаточных запасов по циклической долговечности, определенных с использованием двух подходов [2]. Циклическая долговечность диска определена по модифицированному уравнению Коффина-Мэнсона [1, 3] и по кривым малоциклового усталости (МЦУ), построенным на основе результатов испытаний образцов при жестком цикле нагружения. Распределение циклической долговечности диска первой ступени СТ, полученное с использованием кривых МЦУ, в зонах максимальных напряжений и деформаций представлено на рис. 2.

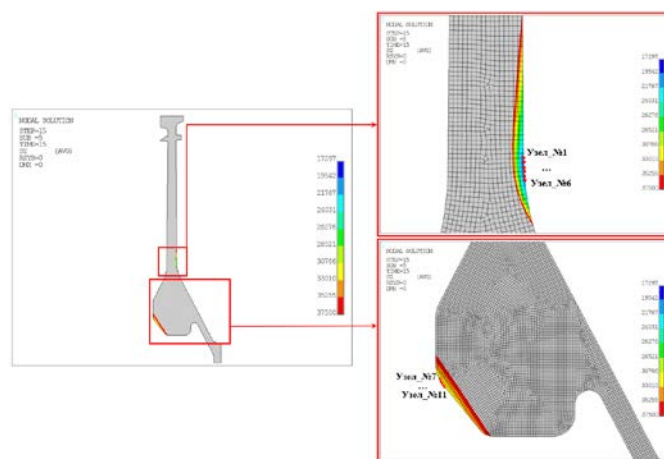


Рис. 2 – Циклическая долговечность диска первой ступени СТ с номинальной геометрией, циклы

Главной целью применения параметрического оптимизатора является нахождение такой выборки входных параметров, которая удовлетворяет заданному значению целевой функции (выходного параметра). Используется итеративный алгоритм работы оптимизатора. В качестве входных параметров заданы размеры диска. Диапазоны изменения размеров диска назначены таким образом, чтобы исключить возможное возникновение ошибок: пересечение границ, несоблюдение условий сопряжения границ (касательности, перпендикулярности и т.д.) в местах, где изначально они были соблюдены, – возникающих при генерировании новой геометрии диска.

В качестве целевых функций оптимизатора заданы функции, минимизирующие следующие параметры: максимальное и среднее значения эквивалентной по Мизесу пластической деформации, площадь меридионального сечения диска (площадь плоской модели). В настройках оптимизатора выбрана низкая приоритетность минимизации площади модели, поскольку главная цель оптимизации – получение конфигурации диска, удовлетворяющей требованиям нормативной документации [1] в части достижения минимально допустимых запасов по местной статической прочности, по несущей способности и по циклической долговечности, а минимизация массы диска посредством снижения площади меридионального сечения – цель второстепенная.

По результатам оптимизации получено три варианта конфигурации диска, которые представлены на рис. 3. Также на рис. 3 представлены размеры диска, которые заданы в качестве входных параметров оптимизатора. Как видно из рисунка, отличительной особенностью всех трех вариантов является утолщение в зоне сопряжения ступицы с полотном – в зоне концентратора напряжений.

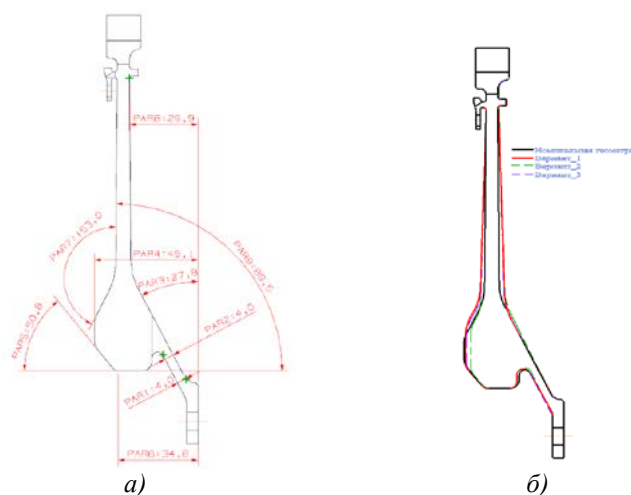


Рис. 3 – Оптимизация диска первой ступени СТ: а) Эскиз диска первой ступени СТ с размерами – входными параметрами оптимизатора; б) Варианты конфигурации диска, полученные по результатам параметрической оптимизации

У всех конфигураций диска при заданных условиях нагружения отсутствуют пластические деформации, в отличие от диска с номинальной геометрией [2]. По результатам аналогичных расчетов диска с номинальной геометрией расчетов всех трех конфигураций диска установлено, что два варианта из трех удовлетворяет требованиям нормативной документации [1] по всем вышеперечисленным прочностным характеристикам. На рис. 4 представлено распределение циклической долговечности, полученное для трех конфигураций диска с использованием кривых МЦУ.

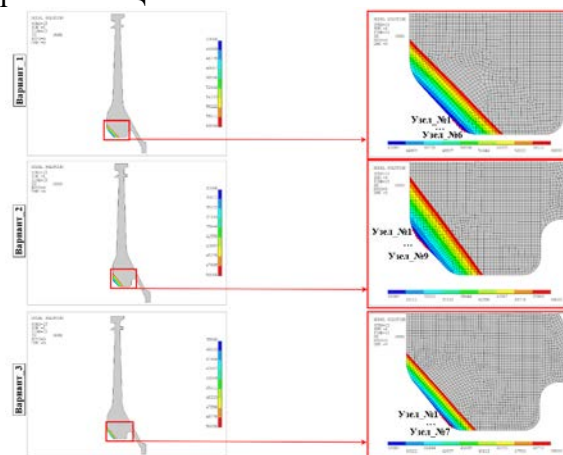


Рис. 4 – Циклическая долговечность, определенная для трех вариантов конфигурации диска первой ступени СТ, циклы

Таким образом, по результатам проведенной параметрической оптимизации получена геометрия диска, являющаяся удовлетворительной по прочностным характеристикам.

Список литературы

1. «Нормы прочности авиационных газотурбинных двигателей гражданской авиации», ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова». Москва: 2005. 253 с.
2. Технический отчет ТО-17701-СГК-24 «Поверочный расчет на прочность и параметрическая оптимизация диска 1-й ступени СТ в плоской постановке». Самара: 2024. 55 с.
3. Мэнсон С.С. Температурные напряжения и малоцикловая усталость. М.: Машиностроение, 1974. 344 с.

Сведения об авторах

Селищев Павел Александрович, инженер-конструктор, аспирант Самарского университета. Область научных интересов: механика разрушения, конструкция и прочность деталей турбины ГТД.

Зеленкевич Александр Дмитриевич, инженер-конструктор, аспирант Самарского университета. Область научных интересов: авиационное двигателестроение.

Столь Олег Вадимович, инженер-конструктор, аспирант Самарского университета. Область научных интересов: конструкция и прочность деталей турбины ГТД.

APPLICATION OF PARAMETRIC OPTIMIZER TO ACHIEVE REQUIRED STRENGTH CHARACTERISTICS OF TURBINE DISK

Selischev P.A.¹, Zelenkevich A.D.¹, Stol O.V.¹

¹PJSC «UEC-Kuznetsov», Samara, Russia, gfvjkbbyf@gmail.com

Keywords: parametric optimization, cyclic durability, disk configuration, plastic deformations, stress concentrators

Some of the main strength characteristics of the rotary parts of a gas turbine engine (GTE) are: reserves of local static strength, bearing capacity and cyclic durability.

The object of the study is the disk of the first stage of the free turbine (FT) of the GTE.