

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СОПРЯЖЁННОГО ПРОЧНОСТНОГО РАСЧЁТА РАБОЧЕГО КОЛЕСА ТУРБИНЫ МГТД

Алексенцев А.А.^{1,2}, Евдокимов Д.В.^{1,2}, Санхинес Лесама Ф.¹,
Ахтамянов Р.М.², Сараев А.С.², Чижов А.А.¹

¹Самарский университет, г. Самара, artem2000samara@gmail.com

²АО «Авиаагрегат», г. Самара

Ключевые слова: предел длительной прочности, ресурс, турбина, лопатка, термодинамический расчёт, диск, запас прочности.

В настоящее время в отечественной двигателестроительной промышленности наблюдается острый дефицит малоразмерных газотурбинных двигателей (МГТД). Широким спросом пользуются вспомогательные силовые установки или энергоузлы. Помимо этого, популяризация малой авиации по всему миру рождает спрос на двигатели тягой до 250 кгс [1] для установки на различные летательные аппараты от беспилотных моделей и планеров до самолётов с вместимостью несколько человек.

В данной работе производился прочностной расчёт диска турбины МГТД с тягой 10 кгс. Данный двигатель обладает типовой конструкцией для данного класса тяг: осевой компрессор, кольцевая камера сгорания с испарительными трубками и осевая турбина с выходным устройством. При проектировании был использован опыт и наработки, изложенные в работе [2]. Для постройки первого прототипа и отработки технологий производства был куплен ротор с заводской балансировкой и известными характеристиками.

Для построения расчётных численных моделей по исследуемым деталям были разработаны объёмные виртуальные модели при помощи методов и подходов реверс-инжиниринга. Поэтому наиболее часто используемые алгоритмы проведения прочностного анализа деталей, для данного случая, потребовали соответствующих корректировок.

Для расчёта термодинамического рабочего цикла МГТД была составлена расчётная модель в программной среде CAE-системы «АСТРА» [3], по результатам вычислений по которой были получены параметры газа в сечении на входе в турбину. Следующим шагом была построена виртуальная геометрическая модель проточной части МГТД, включающая в себя исследуемые участки турбины. К ним относятся: проточная часть рабочего колеса турбины, прилегающие к нему участки тракта спереди и сзади, а также сопловая зона. Перечисленные участки были экспортированы в универсальную программную систему «ANSYS», по которым была составлена конечно-элементная модель. Суммарное количество элементов разработанной модели составило 1,55 млн. элементов.

Для прочностного расчёта были использованы свойства материала Inconel 713C и пределы длительной прочности при 10-часовом нагружении, что соответствует предъявляемому пункту о ресурсе двигателя в техническом задании. Расчётная конечно-элементная модель представляет собой 1/24 часть диска, что позволяет повысить точность выполняемого расчёта за счёт использования сэкономленных вычислительных ресурсов компьютера на повышение качества конечно-элементной сетки. Условия крепления, применённые для виртуального рабочего колеса, полностью соответствуют условиям монтажа диска внутри реального двигателя. Также, в разработанной конечно-элементной модели были заданы граничные условия, к которым относятся: вращение диска со скоростью 110000 об/мин и распределённые поля температур и давлений, полученные по результату вычислений в программе «АСТРА».

В процессе проведения прочностного анализа диска турбины оценивался коэффициент запаса по пределу длительной прочности. Для того, чтобы иметь детальное представление о величинах коэффициента запаса по пределу выносливости, внутри расчётного модуля программы «ANSYS» был составлен специальный программный код. Его использование позволило получить графическое отображение распределения коэффициента запаса по телу

конечно-элементной модели рабочего колеса турбины в результате его нагружения. Ознакомиться с результатами вычислений возможно на рис. 1.

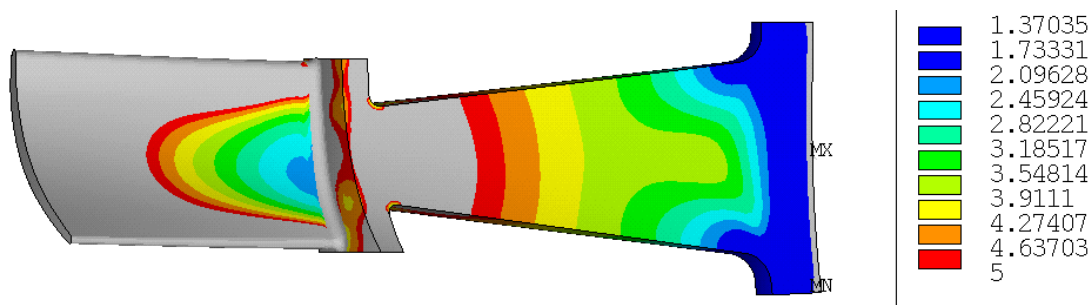


Рисунок 1 – Поле распределения коэффициента запаса по пределу длительной прочности в диске турбины

Из рис. 1 видно, что наиболее опасными местами являются: втулка, скругление в корне лопатки и скругление диска под полкой лопатки. Величина наименьшего коэффициента запаса равна 1,37, что является недостаточным в соответствии с современными нормами прочности для дисков турбин 1,5 [4]. Также стоит отметить, что существенное влияние на величину напряжений оказывает величина массы периферии рабочего колеса, поэтому неточности, допущенные при построении профиля лопатки способны значительно уменьшить точность результатов расчёта.

С целью увеличения коэффициента запаса по пределу длительной прочности было принято решение ограничить частоту вращения до 100000 об/мин. Данный шаг позволил добиться величины коэффициента запаса, равного 1,54.

Таким образом, была проведена работа по прочностному анализу рабочего колеса турбины МГТД, по результату которой была разработана конечно-элементная модель, учитывающая комбинацию наиболее влияющих нагрузок, действующих на колесо и его элементы. Главной особенностью проведённого исследования стал тот факт, что исходная виртуальная геометрия была получена методами и подходами реверс-инжиниринга. Разработанная конечно-элементная модель позволила определить необходимые условия нагружения для достижения требуемого запаса по пределу длительной прочности.

Список литературы

1. Осипов И.В., Ломазов В.С. Разработка малоразмерных ГТД различного типа на базе унифицированного газогенератора / *Авиационные двигатели*, 2019. № 4(5). С. 11-18.
2. Schreckling K. *Home Built Model Turbines*. Traplet ll. Baden-Baden: 2005. 101 с.
3. Кузьмичев В.С., Крупенич И.Н., Рыбаков В.Н. и др. Формирование виртуальной модели рабочего процесса газотурбинного двигателя в САЕ системе «АСТРА» / *Труды МАИ*. 2013. № 67. С. 15-21.
4. Кочеров Е.П., Михеенков Е.Л. *Охлаждение ступеней турбин авиационных ГТД: учебное пособие*. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. 168 с.

Сведения об авторах

Алексенцев Артём Алексеевич, студент группы 2410, инженер АО «Авиаагрегат». Область научных интересов: исследование влияния различных факторов на прочностные характеристики изделий.

Евдокимов Дмитрий Викторович, к.т.н., доцент кафедры технологий производства двигателей, доцент кафедры сопротивлений материалов, ведущий инженер АО «Авиаагрегат». Область научных интересов: процессы механической обработки, исследование функциональных параметров резания.

Санхинес Лесама Фидель, аспирант кафедры сопротивления материалов Самарского университета. Область научных интересов: прочностной анализ конструкций, методы поверхностного пластического деформирования. Оптимизация режимов ППД.

Ахтамьянов Рамиль Маратович, начальник отдела гидроагрегатов ОКБ АО «Авиаагрегат», аспирант кафедры сопротивления материалов Самарского университета. Область научных интересов: прочностной анализ конструкций, методы поверхностного пластического деформирования. Оптимизация режимов ППД.

Сараев Алексей Сергеевич, мастер гальванического цеха АО «Авиаагрегат», аспирант кафедры сопротивления материалов Самарского университета. Область научных интересов: исследование качества гальванических покрытий.

Чижов Артём Алексеевич, студент группы 2508. Область научных интересов: инновационные технологии в ракетном двигателестроении.

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM CROSS-SPECTRUM STRENGTH ANALYSIS OF MGTE TURBINE IMPELLER

Aleksentsev A.A.^{1,2}, Evdokimov D.V.^{1,2}, Sangines Lezama F.¹, Ahtamjanov R.M.²,
Sarayev A.S.², Chizhov A.A.¹,

¹Samara University, Samara, Russia, artem2000samara@gmail.com

²JSC Aviaагрегат

Keywords: long-term strength, endurance, turbine, blade, thermodynamic analysis, disk, stress safety factor.

This paper presents the strength calculation of the MGTE turbine disk together with the blades attached to it. The main feature of the work done is that the initial virtual geometric model for the calculation was obtained by methods and approaches of reverse engineering. The strength calculation was carried out on the basis of the developed finite element model, for which a special program code was written, which makes it possible to evaluate the distribution of the safety factor by the limit of long-term strength.