

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

тема дипломной работы

Расчет статической прочности, циклической долговечности и определение динамических характеристик статорной лопатки

Факультет Прикладной математики и механики
Выпускающая кафедра: Динамика и прочность машин
Направление подготовки: 15.03.03 «Прикладная механика»

Выполнил: студент гр. ДПМ-19-16:
Горбач Степан Константинович

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент кафедры ДПМ
Кузнецова Елена Владимировна

Научный консультант: руководитель подразделения
ПАО «ОДК» Сатурн, инженерный центр г. Пермь
Горбунов Степан Михайлович

Актуальность, объект исследования, цель и задачи

Расчет на прочность ступени направляющего аппарата (НА) является актуальной задачей, так как современные авиационные газотурбинные двигатели (ГТД) компрессора высокого давления (КВД) нового поколения имеют повышенные параметры работы и требуют более точного и надежного проектирования и контроля состояния направляющего аппарата. Кроме того, развитие компьютерных технологий и методов численного моделирования позволяет проводить более сложные и детальные расчеты.

Целью работы является оценка влияния динамических характеристик на прочность статорных лопаток направляющего аппарата компрессора высокого давления ГТД.

Объектом исследования является 6 ступень направляющего аппарат компрессора высокого давления (КВД), включающий в себя фрагмент корпусных деталей, лопатку и надроторные вставки.

В рамках работы были поставлены следующие **задачи**:

1. Провести аналитический и численный расчёт коэффициентов запаса для заданы геометрии лопатки;
2. Определить напряженно деформированное состояние фрагмента шестой ступени новой модификации перспективного двигателя с учётом аэродинамических сил и теплового состояния в эксплуатации;
3. Оценить циклическую долговечность статор на лопатке в режиме «0-Max-0»;
4. Найти собственные частоты и формы колебаний для определения частот ных запасов от резонансов.

Расчетная схема статического расчета

Корпус имеет граничные условия в виде закрепления по фланцу в осевом и окружном направлении в цилиндрической системе координат $U_z = 0, U_y = 0$. Для моделирования одинаковых перемещений с обеих сторон лопатки зададим условия циклической симметрии используя CP связи по боковым поверхностям секторов корпуса, надроторных вставок и внутреннего кольца. В рассматриваемой задаче участвует несколько различных деталей, поэтому для моделирования правильного поведения корпуса и лопатки в расчете зададим контакты между деталями в ANSYS Mechanical APDL.

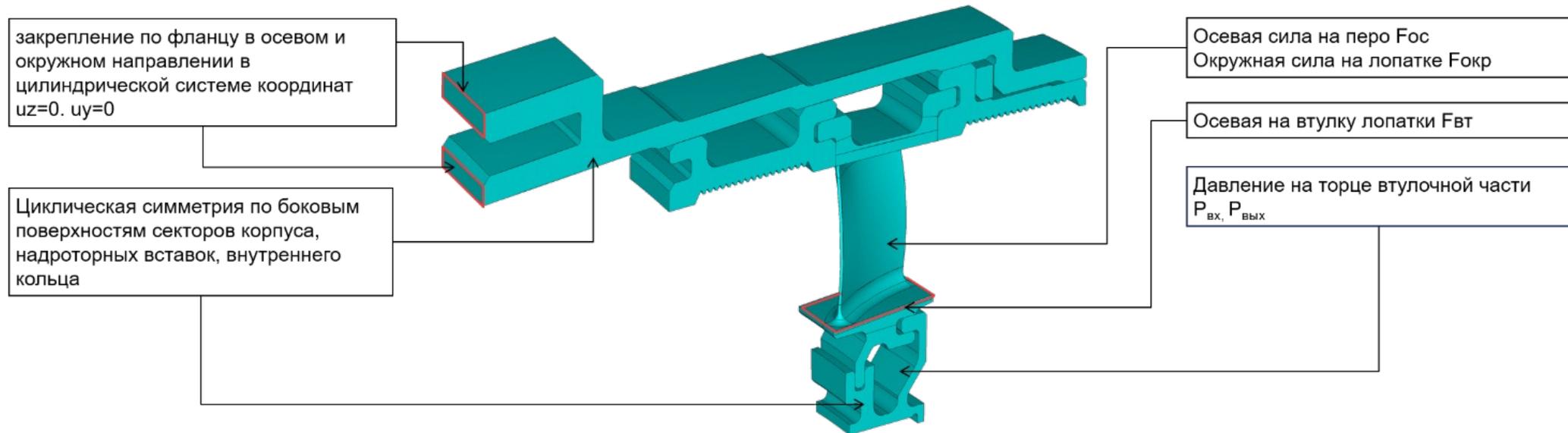


Рис.5. расчетная схема лопатки направляющего аппарата.

Учет газодинамических сил и теплового поля

Для проведения статического расчета необходимо задать нагрузки, которые действуют на исследуемую модель, к ним относятся: аэродинамические силы (давление) на профиле лопатки, тепловое состояние всей модели, а также осевая и окружная сила на втулку внутреннего кольца. Одной из особенностей условий работы лопаток является неравномерный нагрев, который для неохлаждаемых лопаток имеет место на переходных режимах, а для охлаждаемых – и на переходных, и на стационарных.

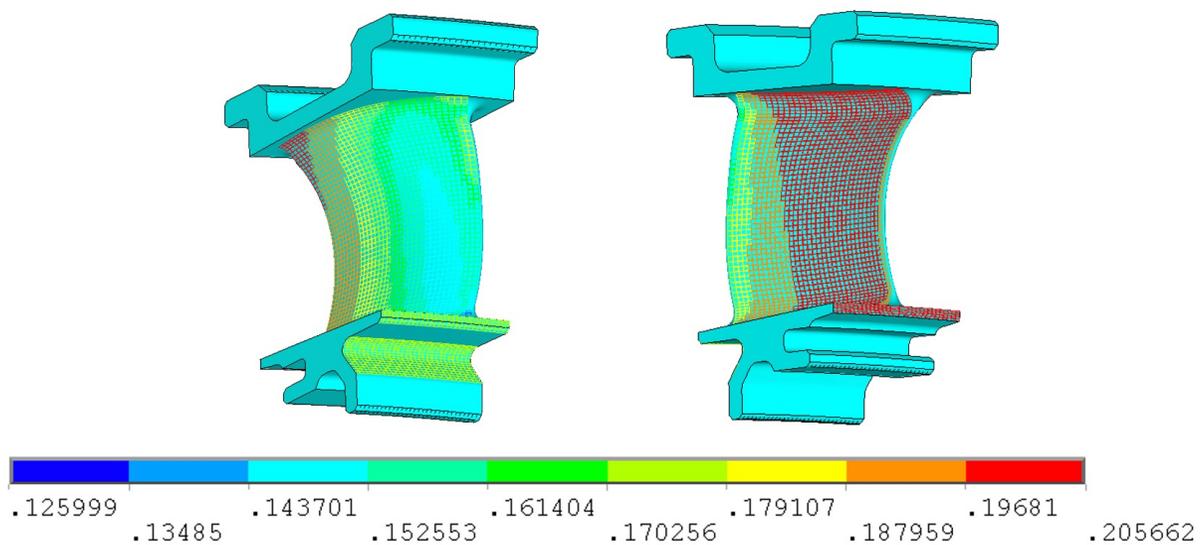


Рис.6. Распределение газодинамических сил вдоль пера лопатки.

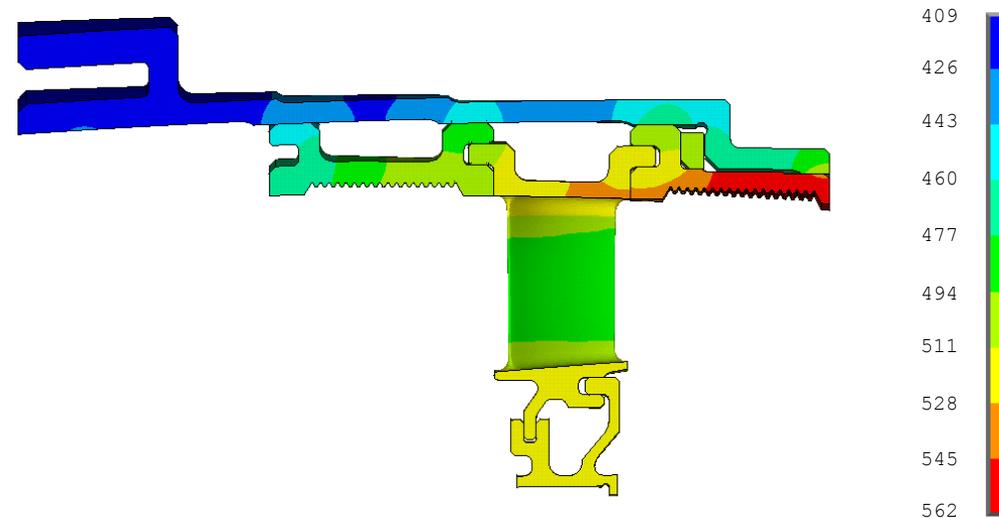


Рис.7. Распределение температур

Результаты статического расчета

Максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу возникают на кромке пера выходной части лопатки в радиусе перехода лопатки в полку. Они составляют: $\sigma_{\text{ЭКВ}} = 136.9$ МПа. Запасы статической прочности направляющего аппарата КВД по местным напряжениям составили 2,67 и удовлетворяют требованиям «Норм прочности». Численный расчет выполнялся методом конечных элементов.

$$\{U(x)\} = [N(x)]\{U\},$$

$$[K]_e\{U\}_e = \{F\}_e + \{P\}_e^q + \{P\}_e^g$$

$$[K]\{U\} = \{P\} + \{P\}^q + \{P\}^g$$

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

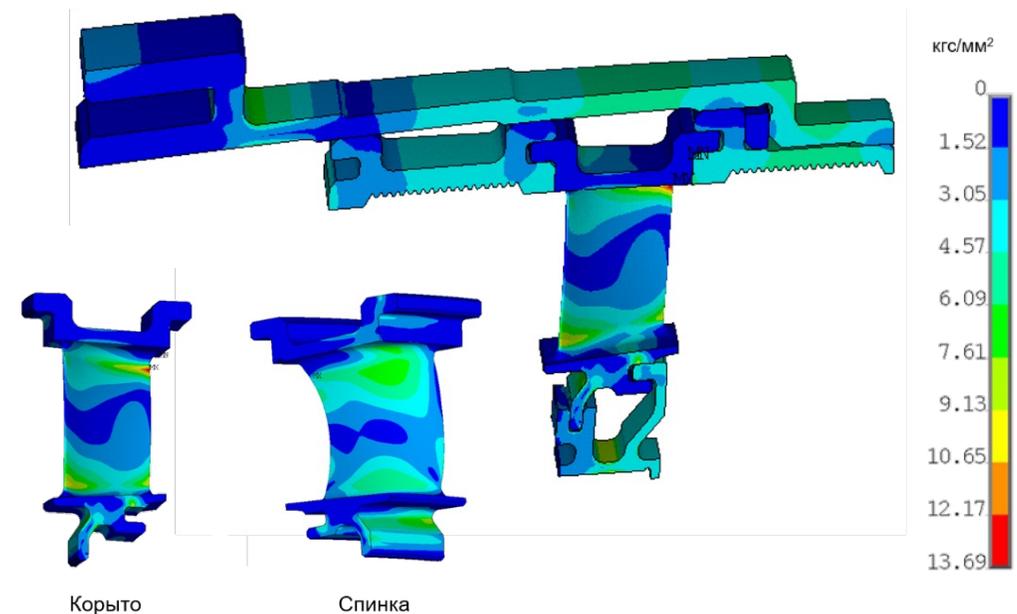


Рис.8. Эквивалентные напряжения

Расчетная схема для динамического расчета

При задании граничных условий закрепляем контактные поверхности по трем направлениям в цилиндрической системе координат U_x, U_y, U_z . Контактные поверхности входной части нижней полки ограничиваются в перемещениях только по оси U_z . Нагрузки совпадают с теми, что приложены при статическом расчете.

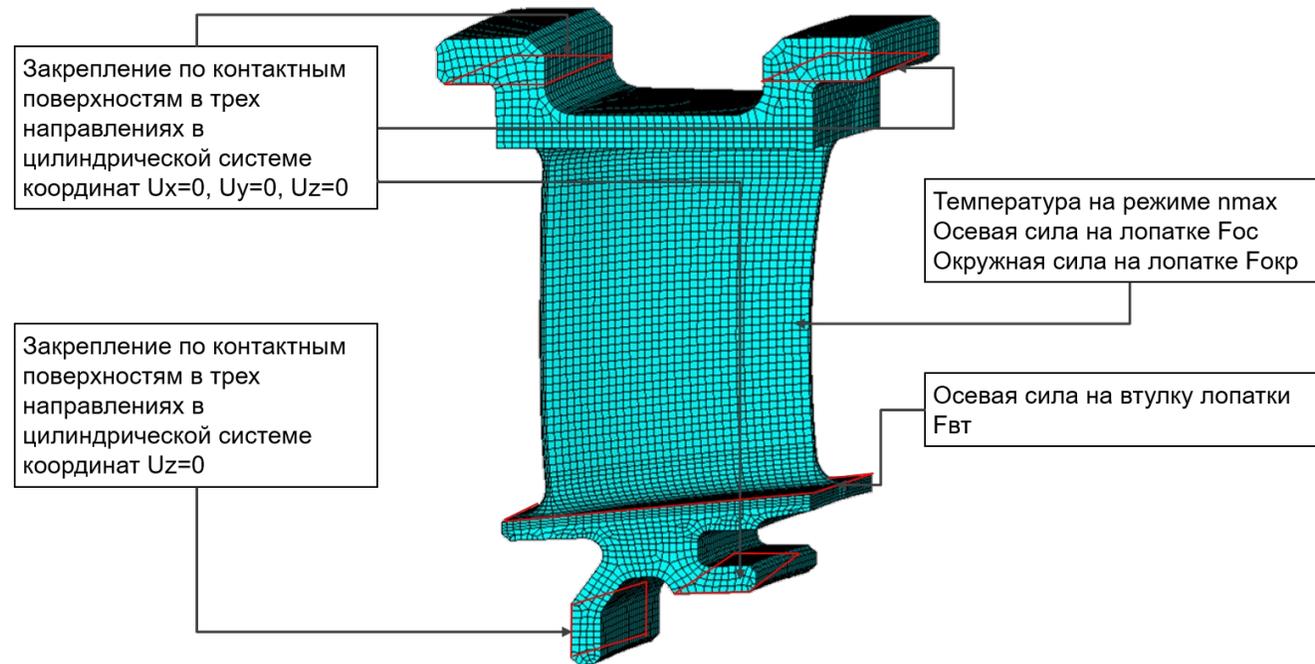


Рис.10. Расчетная схема для динамического расчета

Частотно-резонансные характеристики

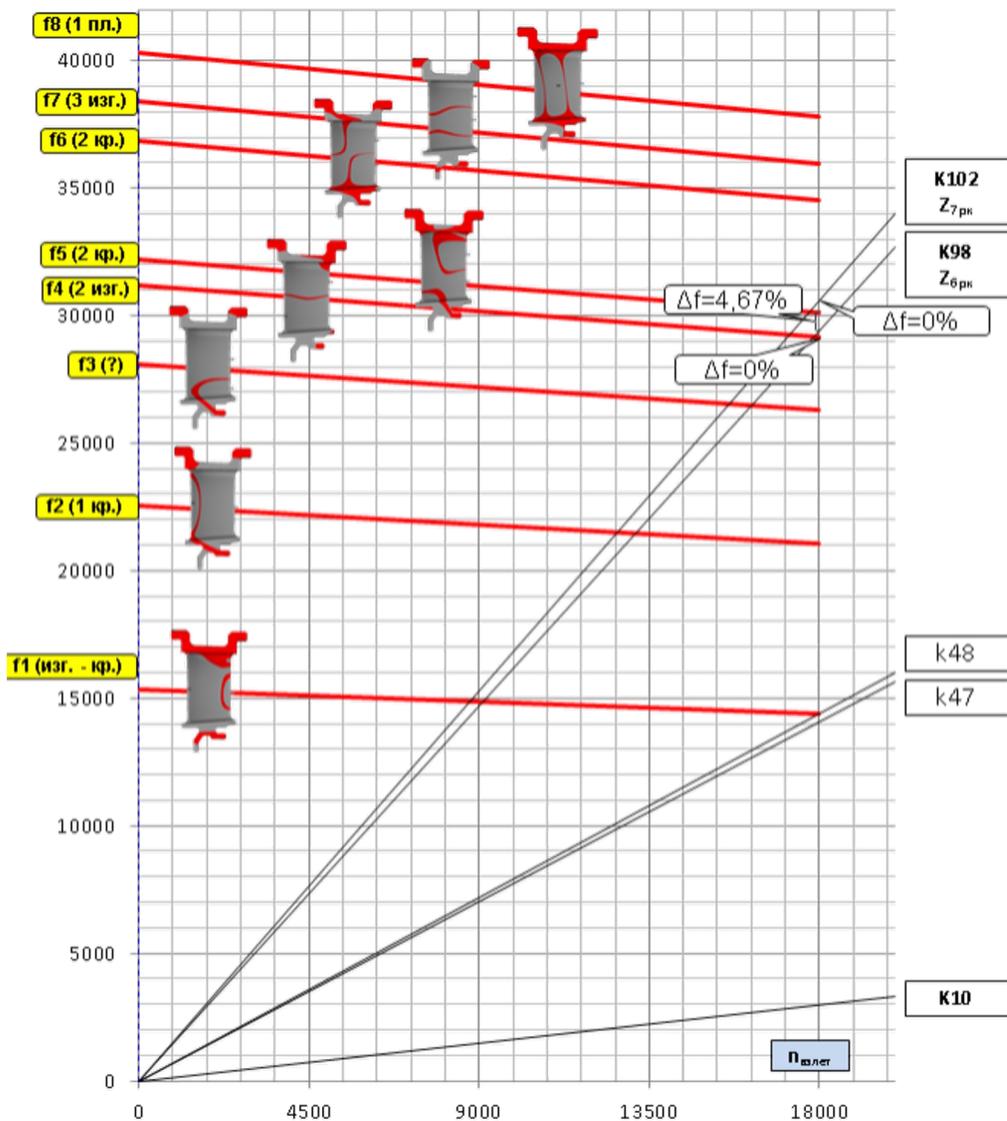


Таблица 2 Запасы от резонансных частот.

№	k10	k47	k48	k98	k102
f1	379,04%	1,92%	0,20%	51,12%	53,03%
f2	603,03%	49,58%	46,46%	28,26%	31,08%
f3	776,43%	86,47%	82,59%	10,57%	14,08%
f4	872,41%	106,90%	102,59%	0,77%	4,67%
f5	904,93%	113,81%	109,36%	2,54%	1,48%
f6	1050,79%	144,85%	139,75%	17,43%	12,82%
f7	1098,10%	154,91%	149,60%	22,26%	17,46%
f8	1159,42%	167,96%	162,38%	28,51%	23,47%

Рис.11. Расчетная схема для динамического расчета

Заключение

По итогам оценки **статической прочности** деталь удовлетворяет «нормам прочности». Концентраторы напряжений преобладали в радиусе перехода пера в верхнюю полку на выходной кромке лопатки. Запасы статической прочности направляющих аппаратов КВД по результатам расчета в трехмерной постановке и статической прочности направляющего аппарата КВД в аналитической постановке составили удовлетворяют «нормам прочности».

По результатам анализа расчетной **циклической прочности** было установлено, что минимальный показатель циклической прочности достигается в зоне концентрации напряжений в радиусе перехода пера в верхнюю полку на выходной кромке лопатки и превышает 10^6 циклов, что соответствует техническому заданию.

В ходе анализа **динамических характеристик** исследуемого изделия было выявлено, что существует возможность появления резонансов в рабочем диапазоне. Для исключения таких явлений в будущем может потребоваться изменение геометрии конструкции, замены материала с целью обеспечения требований прочности изделия.