

**УДК 004.588**

**ББК 74.5**

**К21**

**Ю. А. Караваяев**

**Иркутск, Россия**

**С. А. Ходацкий**

**Иркутск, Россия**

## **ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ РАБОЧИХ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРОВ И ТУРБИН АВИАЦИОННЫХ ГТД**

В статье приведена методика прочностного расчёта рабочих лопаток компрессоров и турбин авиационных ГТД с использованием программы FEMAP.

Рассмотрены допущения, принимаемые при расчёте. Последовательно рассмотрены этапы расчёта. Приведено изменение напряжений по перу лопатки.

**Ключевые слова:** статическая прочность, напряжения, расчёт.

**Ju. A. Karavaev**

**Irkutsk, Russia**

**S. A. Hodackij**

**Irkutsk, Russia**

## **STRUCTURAL ESTIMATION OF COMPRESSOR AND TURBINE ROTOR BLADES OF AIRCRAFT GAS-TURBINE ENGINES**

The article describes the technique of structural calculations of compressor and turbine rotor blades of aircraft gas-turbine engines with the use of FEMAP program.

Calculation allowances are considered. Successive calculating steps are reviewed. Blade airfoil stress changes are described.

**Key words:** static strength, stresses, calculation.

Рабочие лопатки и диски осевого компрессора и газовой турбины га-

зотурбинного двигателя являются весьма ответственными деталями, от надежной работы которых в значительной мере зависит надежная работа двигателя в целом и безопасность полета летательного аппарата. При работе авиационного газотурбинного двигателя на рабочие лопатки и диски действуют статические, динамические и температурные нагрузки, вызывая в деталях сложную картину напряжений. При расчёте пера лопатки компрессора или турбины на статическую прочность обычно принимают следующие допущения [Рычков, 2013]:

- лопатку рассматривают как консольную балку, жёстко заделанную в обод диска;
- напряжения определяют по каждому виду деформации отдельно, а затем алгебраически суммируют (для сильно закрученных лопаток это допущение является не совсем корректным);
- температуру в каждом рассматриваемом сечении пера лопатки считают одинаковой, т. е. температурные напряжения в сечениях отсутствуют;
- лопатку считают жесткой, деформацией (отклонением от оси пера под действием сил и моментов) пренебрегают;
- предполагают, что деформации лопатки протекают в упругой зоне, то есть напряжения в пере лопатки не превышают предела пропорциональности;
- температура лопатки турбины изменяется только по длине пера, рост температуры приводит к снижению механических свойств материала.

Цель расчёта пера лопатки на статическую прочность – определение напряжений и запасов прочности в различных сечениях по длине пера лопатки. Напряжения в рабочих лопатках компрессоров и турбин определяются для эксплуатационных режимов, являющихся наиболее нагруженными с точки зрения прочности. Величины сил, возникающих в рабочей лопатке, зависят от частоты вращения ротора, скорости и высоты полета летательного аппарата и от действующей на лопатку температуры воздуха или газа.

В данной работе считается, что на лопатку действуют только центробежные и температурные нагрузки.

Расчёт конструкций методом конечных элементов с практической точки зрения делится на три этапа:

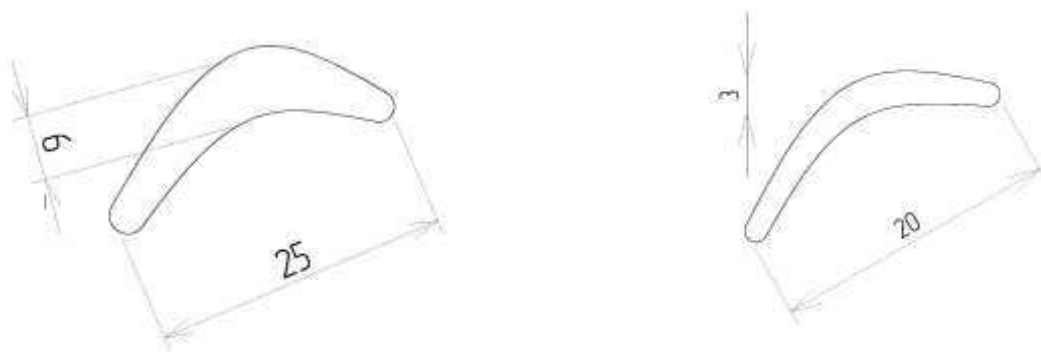
- 1) создание конечно-элементной модели конструкции;
- 2) конечно-элементный расчёт конструкции на основе созданной модели;
- 3) анализ результатов расчёта.

Функции препроцессора и постпроцессора MSC/NASTRAN могут выполнять различные программы. Наиболее популярными являются программы FEMAP и PATRAN. В этой работе рассматривается работа с программой FEMAP [Кузменко, Чигрин, Белова, 2005].

Создание конечно-элементной модели конструкции в программе FEMAP состоит из нескольких этапов:

- 1) геометрическое моделирование;
- 2) задание характеристик материалов;
- 3) задание типов конечных элементов и их свойств;
- 4) создание конечно-элементной сетки;
- 5) задание граничных условий (закрепления и нагружения);
- 6) проверка корректности конечно-элементной модели.

Корневое и концевое сечения лопатки, представлены на *рис. 1*.



*Рис. 1.* Корневое и концевое сечения пера лопатки турбины

Длина пера лопатки – 90 мм.

Для построения профиля пера нам необходимо построить два образующих сечения. Для этого потребовалось задать координаты точек профиля и окружностей кромки пера. Далее отдельные точки профилей были соединены сплайнами (рис. 2), на основе которых функцией будет получено перо лопатки.



Рис. 2. Модель пера лопатки, созданная в программе AutoCAD

Экспортируем полученную модель из программы AutoCAD в FeMap with NX Nastran.

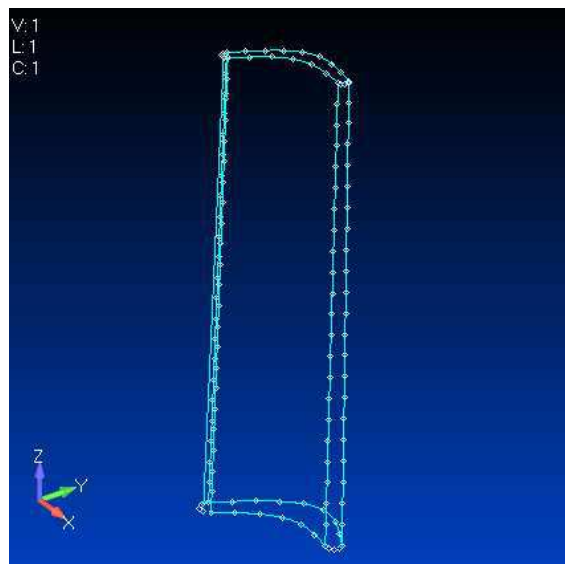
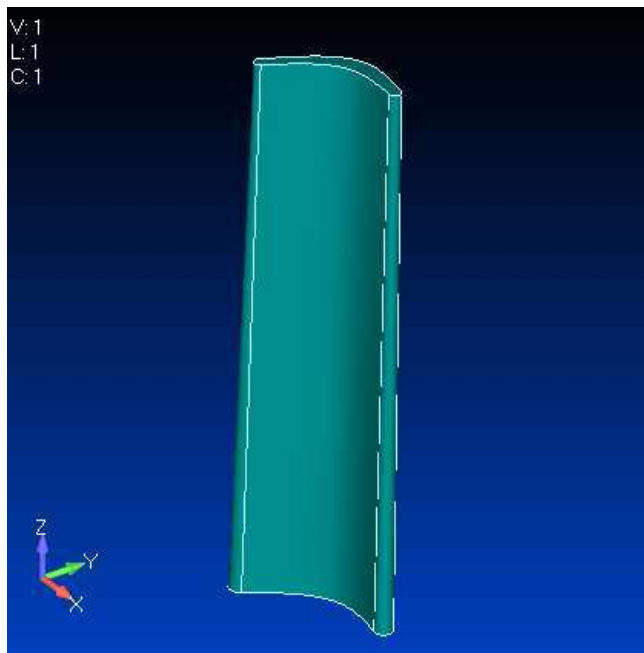


Рис. 3. Модель пера лопатки в FeMap with NX Nastran

С помощью функций программы Femap преобразуем построенные кривые в твёрдое тело. Полученная модель является окончательной. С ней

можно производить расчёт.

Окончательная модель лопатки представлена на *рис. 4*.



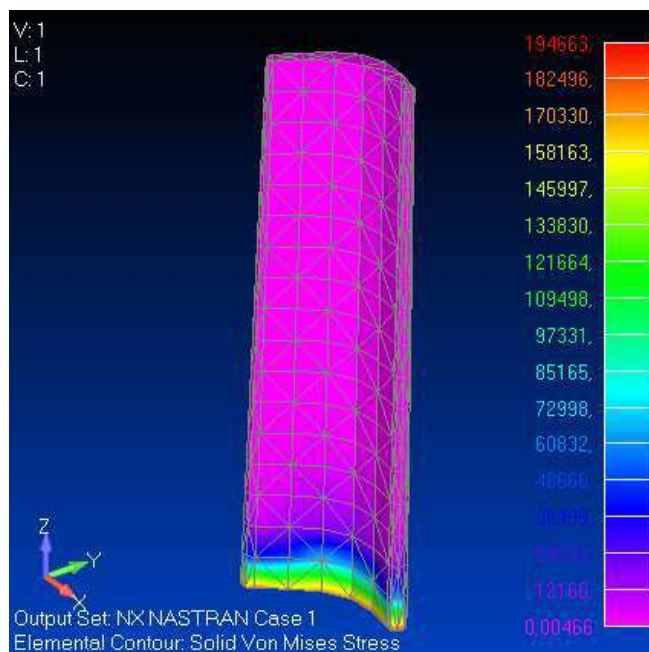
*Рис. 4.* Твёрдотельная модель пера лопатки

Напряжения в лопатке возникают в основном из-за центробежных и температурных нагрузок.

Чтобы задать параметры для расчёта необходимо сформировать поле температур на модели лопатки. Зададим температуру окружающей среды 1400К, что соответствует температуре газов на выходе из камеры сгорания двигателя Д-30КП. Материалом лопатки примем жаропрочный сплав ЖС-30, содержащийся в программе среди стандартных материалов.

Для возможности проведения расчёта статической задачи некоторые узлы на модели должны быть закреплены по одной или нескольким осям. Полностью зафиксируем модель по плоскости корневого сечения.

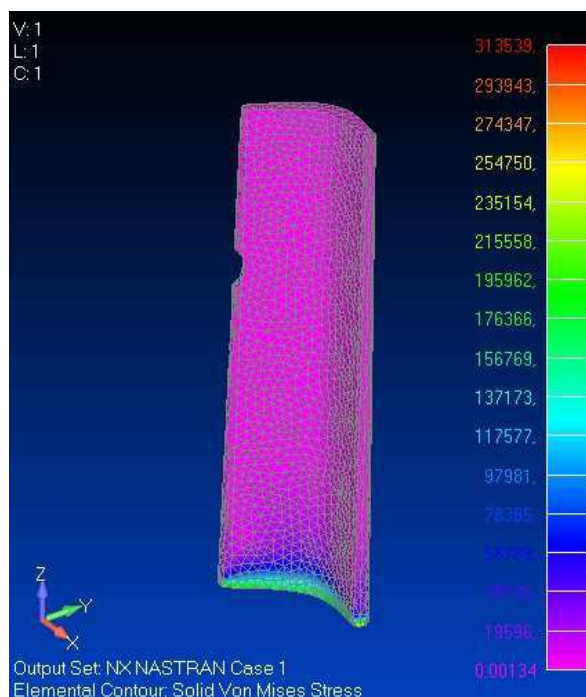
Результаты расчёта представлены на *рис. 5*.



*Рис. 5.* Результаты расчёта

Аналогично первому расчёту проведём расчёт модели лопатки, имеющей повреждение передней кромки пера, на уровне  $2/3$  высоты лопатки.

Результаты расчёта представлены на *рис. 6.*



*Рис. 6.* Результат анализа модели лопатки с повреждением передней кромки

В данной работе был произведён расчёт пера лопатки на статическую прочность. Были определены напряжения в различных сечениях по длине пера лопатки с учетом и без учета эксплуатационных забоин. Предлагаемая методика моделирования может быть использована при курсовом проектировании по дисциплине «Конструкция и прочность двигателей», а также в прочностных расчётах при выполнении выпускной квалификационной работы.

### **Библиографический список**

1. *Рычков С. П.* Моделирование конструкций в среде FEMAP with NX NASTRAN. Москва: ДМК Пресс, 2013. 134 с.
2. Кузменко М. Л., Чигрин В. С., Белова С. Е. Статическая прочность рабочих лопаток и дисков компрессоров и турбин ГТД: учеб. Пособие. Рыбинск: РГАТА, 2005. 74 с.

### **References**

1. *Rychkov S. P.* (2013). Modelling the constructions in the FEMAP environment with NX NASTRAN. Moscow: DMK Press, 2013. 134 p. (In Russian)
2. Kuzmenko M. L., Chigrin V. S., Belova S. E. (2005). Static strength of compressor and turbine rotor blades and disks: text edition. Rybinsk: RGATA, 2005. 74 p. (In Russian)