

***ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА
РАБОЧИХ КОЛЕС АВИАЦИОННЫХ ГТД НА ОСНОВЕ
ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ
РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ВЫСОКОГО УРОВНЯ***

***Д.Л.Гайдук, А.Х. Забитис, А.В. Педак, М.И. Руденко
ЗНТУ, кафедра «Технологии авиационных двигателей»***

***Запорожье
2016 г.***

** Математическое моделирование раскрывает для конструктора большие возможности анализа процессов и состояний, позволяет существенно уменьшить экономические затраты на разработку и значительно сократить сроки создания авиационных ГТД. При этом с высокой степенью достоверности могут быть спрогнозированы ресурс и надёжность основных деталей авиационных ГТД.*

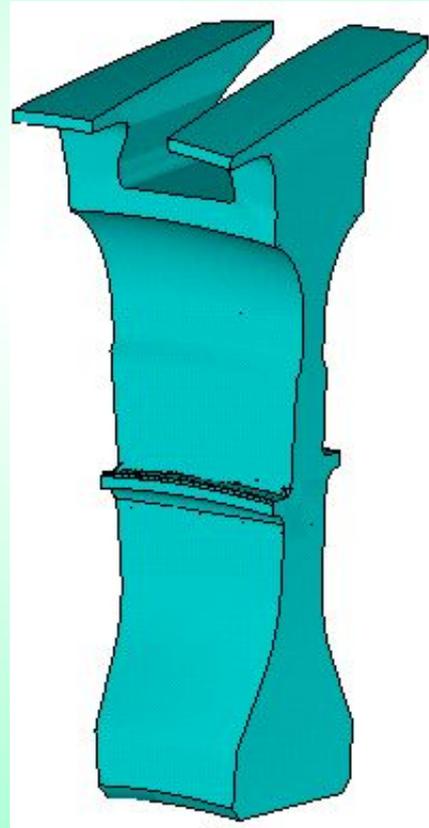
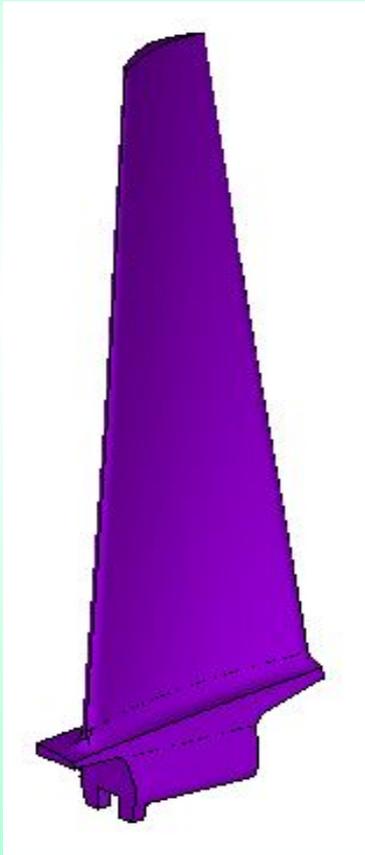
** В своей работе, используя современные средства вычислительной техники, внедренные численные методы, а именно, метод конечных элементов, покажем последовательность создания геометрической объемной модели рабочего колеса компрессора ГТД, конечно-элементной модели данного объекта исследования, и, наконец, расчетной модели.*

Фрагмент разрушения рабочего колеса компрессора двигателя Д-36



** История эксплуатации данного рабочего колеса в составе ротора компрессора низкого давления имеет случаи разрушения диска от основания межпазового выступа.*

**Геометрическая модель включает в себя точки, линии, поверхности, объемы. Геометрическая модель сектора рабочего колеса компрессора авиационного ГТД предназначена для импортирования в расчетный комплекс ANSYS для создания модели высокого уровня с целью проведения прочностных исследований.*

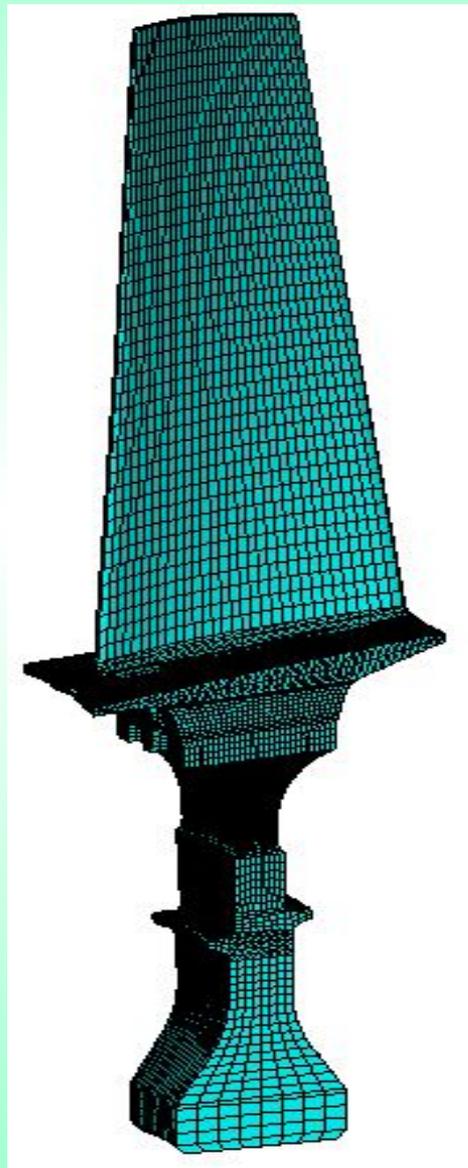


Геометрические 3-D
модели лопатки и
диска,
импортированные из
Unigraphics в ANSYS.

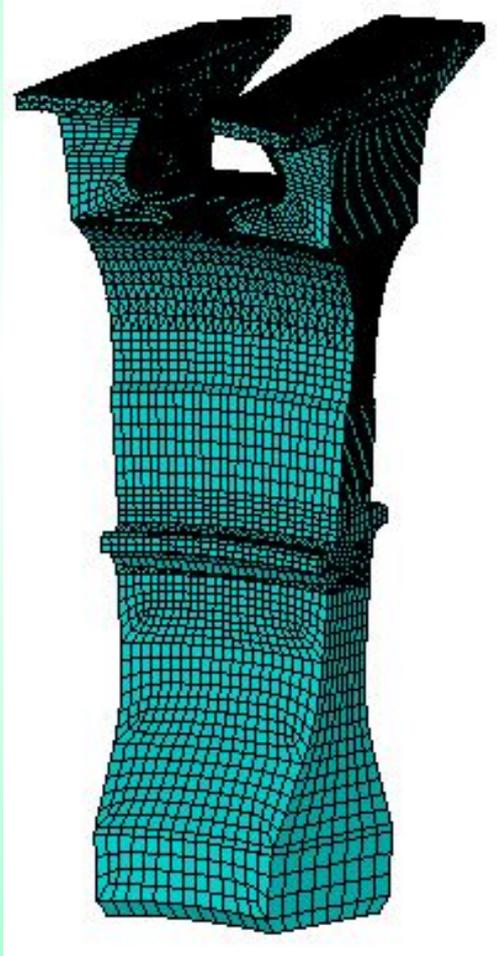
** Суть метода конечных элементов заключается в том, что область, занимаемая конструкцией, разбивается на множественное число подобластей. Последние носят название – конечных элементов, а сам процесс разбивки – генерацией конечно-элементной сетки, используя геометрическую модель объекта исследования.*

** При генерации конечно-элементной сетки мы помнили, что критическая зона объекта исследования находится в основании межпазового выступа. Именно в этой зоне мы предельно уменьшили размер элемента, для получения более точного значения результатов расчета.*

Конечно-элементная модель сектора рабочего колеса



**В ободной части математической модели заметно значительное сгущение конечных элементов, что обеспечивает более точное определение напряжений в исследуемой зоне.*



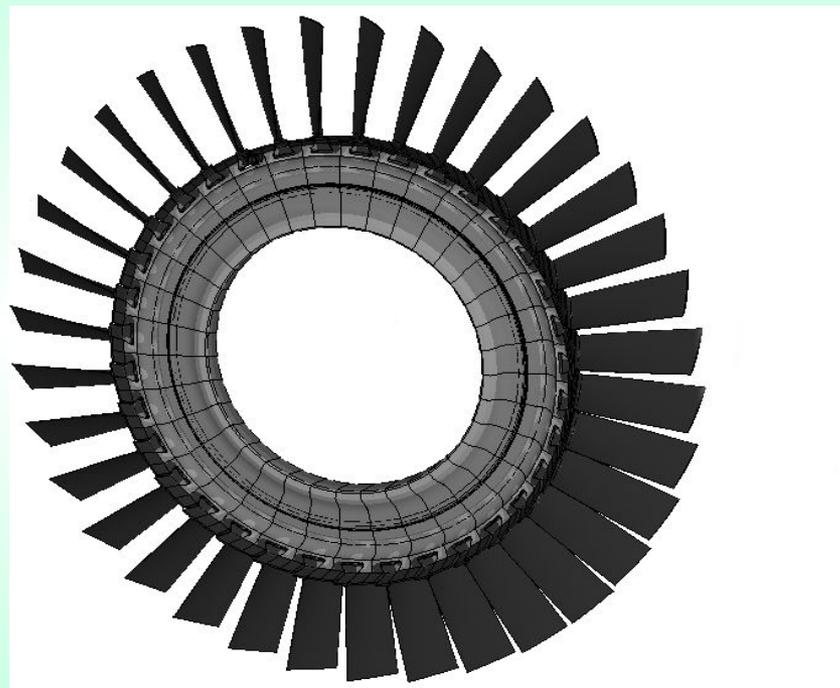
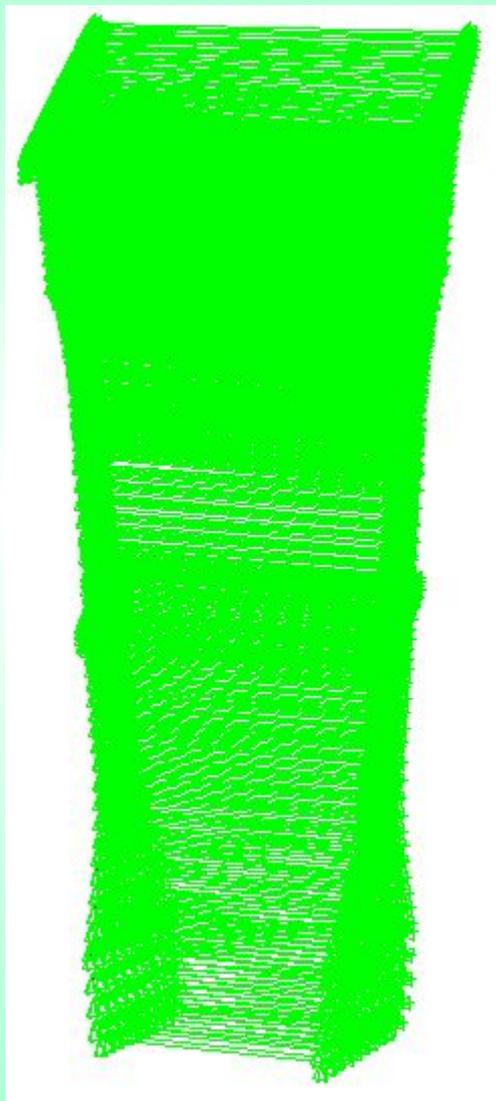
Конечно-элементная модель сектора диска

** Расчетная модель - это конечно-элементная модель с учетом всех возможных внешних нагрузок:*

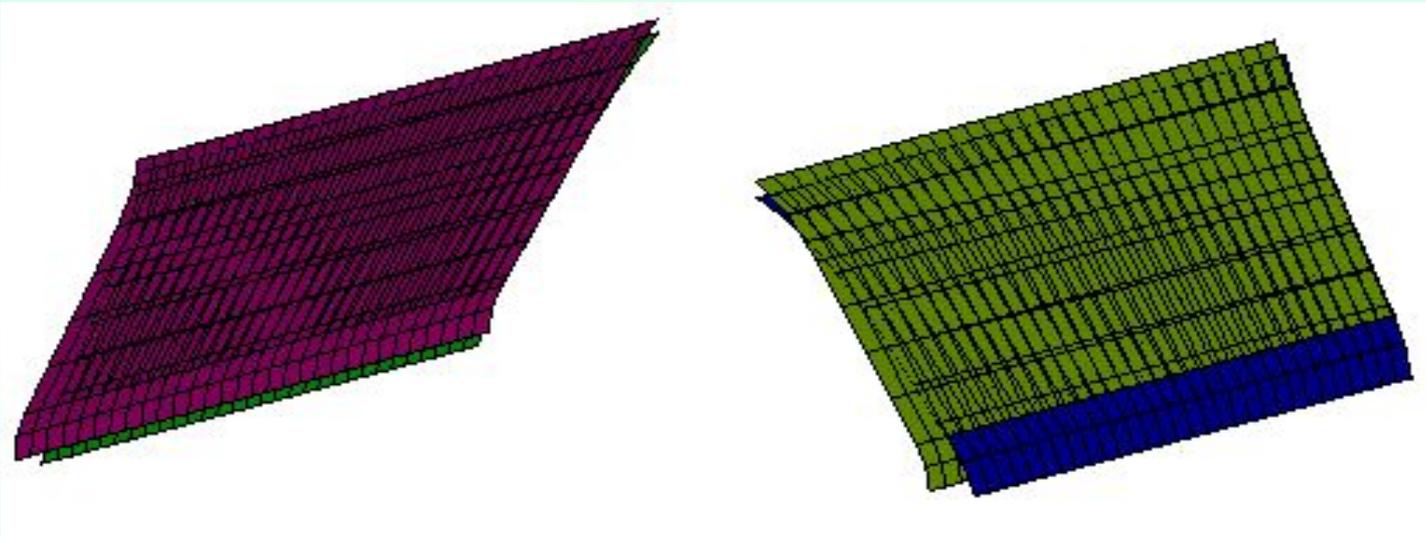
- частота вращения;*
- учет центробежных сил, распределенных аэродинамических давлений на лопатки;*
- учет нелинейного контактного взаимодействия диска с лопаткой;*
- температурное поле;*
- заданные ограничения перемещений.*

** На конечно-элементной модели реализуем условие циклосимметрии: каждому узлу левой стороны диска соответствует узел правой стороны диска. Различие координат узлов только в угле проворота (угол сектора диска $360/z$, где z - число лопаток).*

Реализация условия циклосимметрии диска

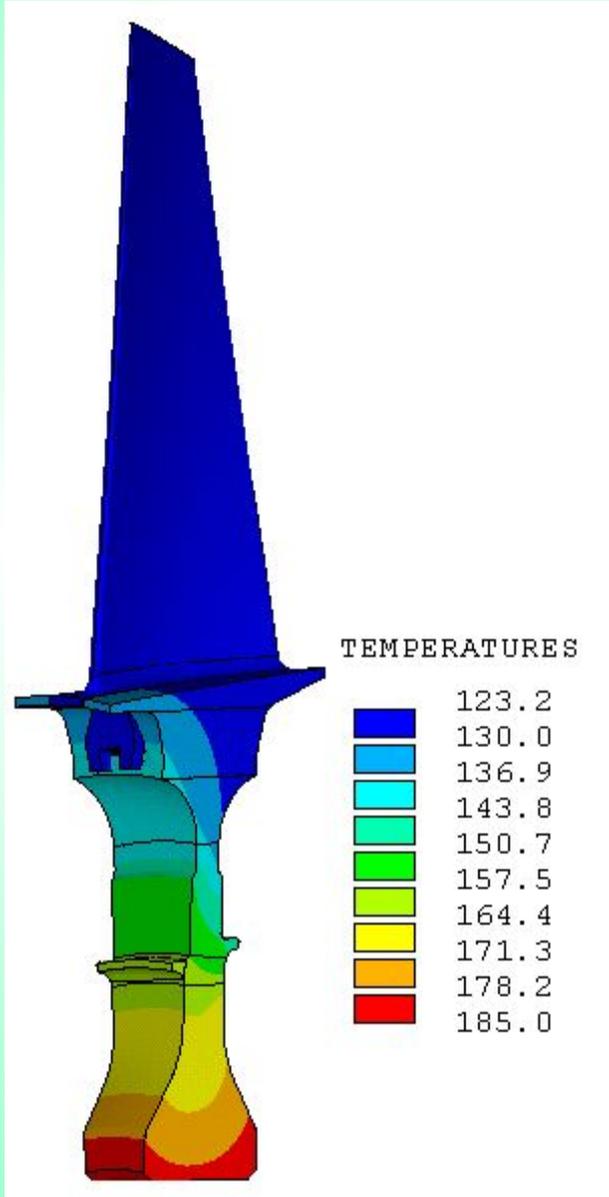


** Создаем левый и правый контакты замкового соединения диск-лопатка. Среди характеристик контакта обязательно учитываем трение.*



Контактные пары диск-лопатка (левая и правая)

Расчетная модель сектора рабочего колеса с температурным полем



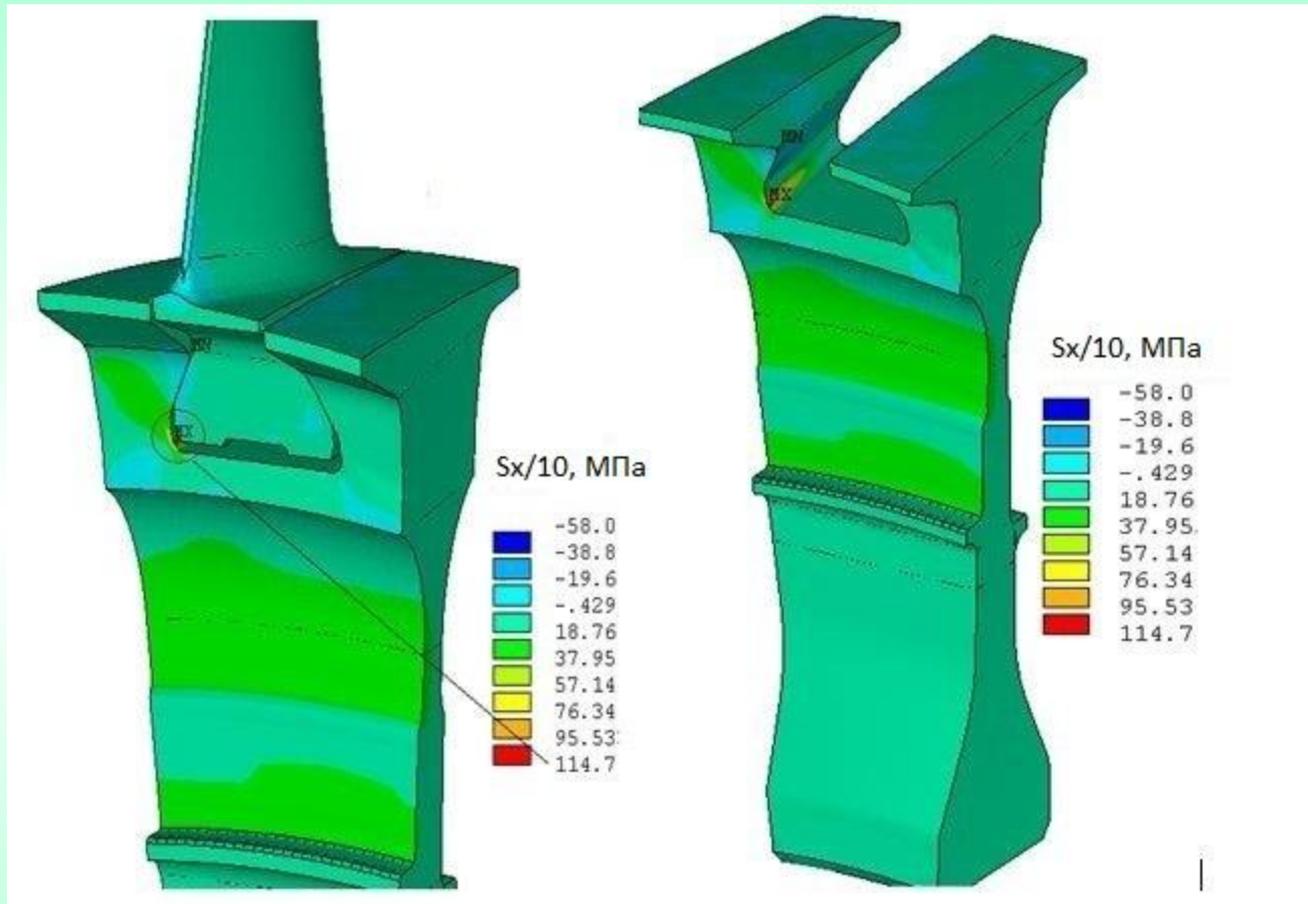
** Заметим, что температура обода ниже температуры ступицы, что является причиной увеличения окружных напряжений в ободной части диска. Следует заметить, что и по ширине обода тоже имеется температурный перепад, что усугубляет напряженное состояние в ободной части.*

** Результаты расчета анализируем в цилиндрической системе координат.*

В качестве результатов расчета представлены:

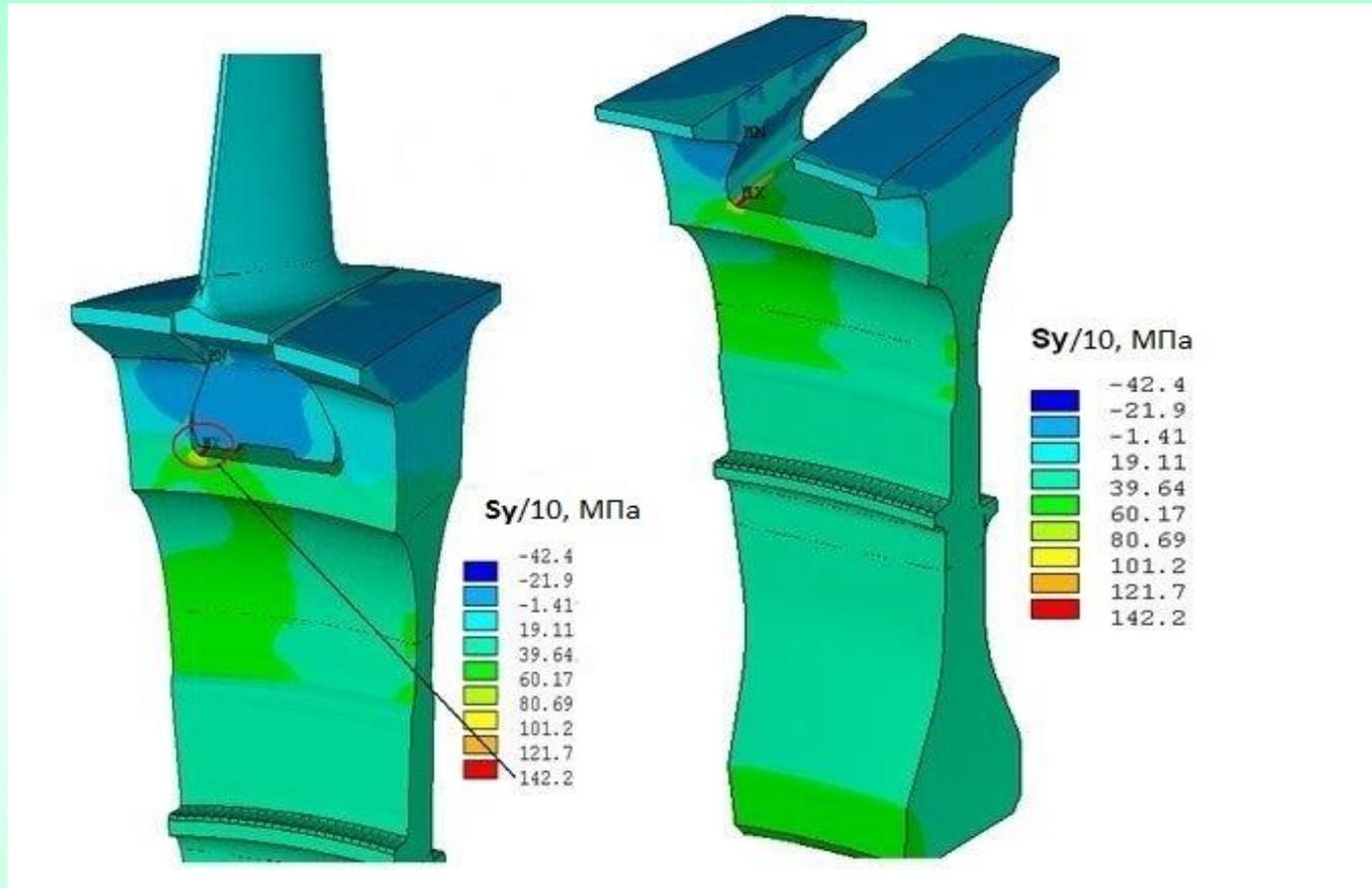
- радиальные перемещения рабочего колеса;*
- радиальные напряжения;*
- окружные напряжения;*
- эквивалентные напряжения, служащие основанием для назначения ресурса детали.*

Распределение радиальных напряжений в диске



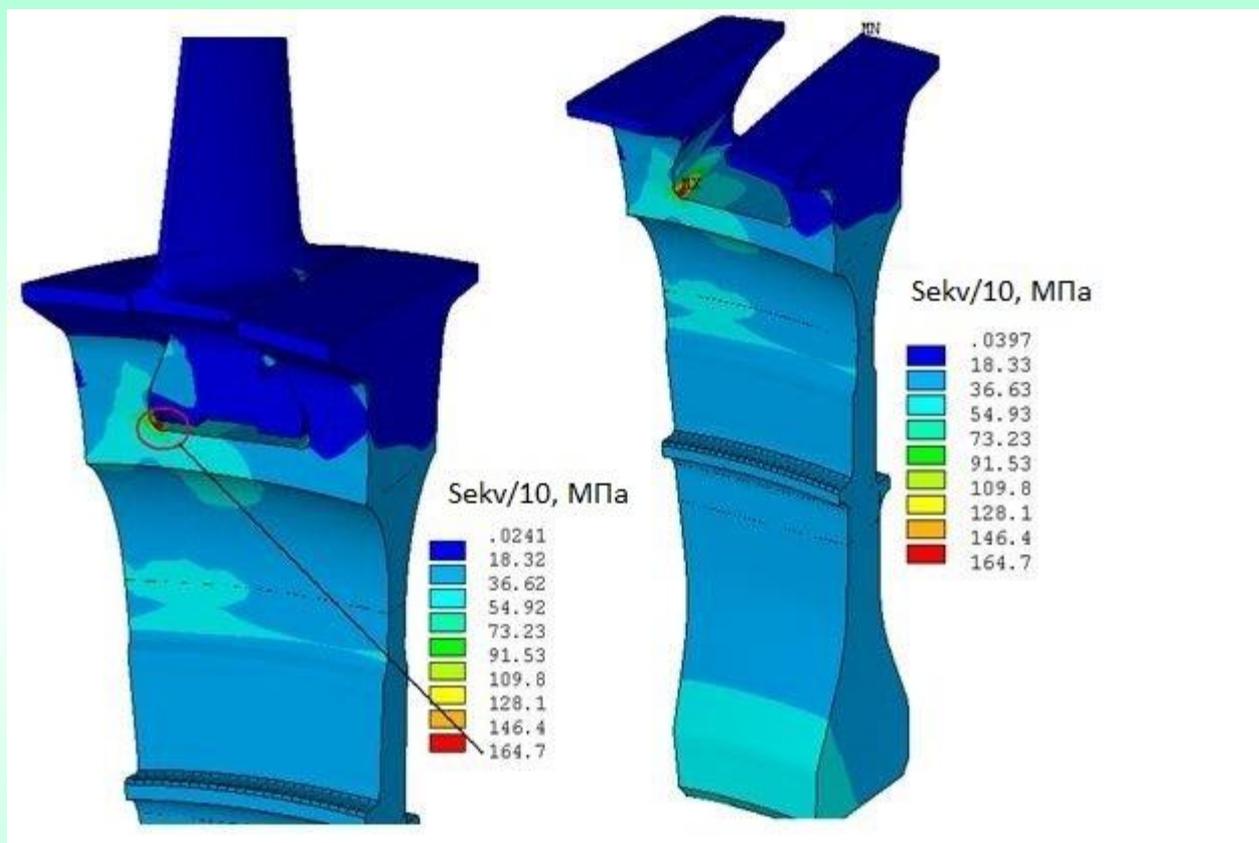
** Наглядно видно, как локализуется концентрация радиальных напряжений в основании межпазового выступа*

Распределение окружных напряжений в диске



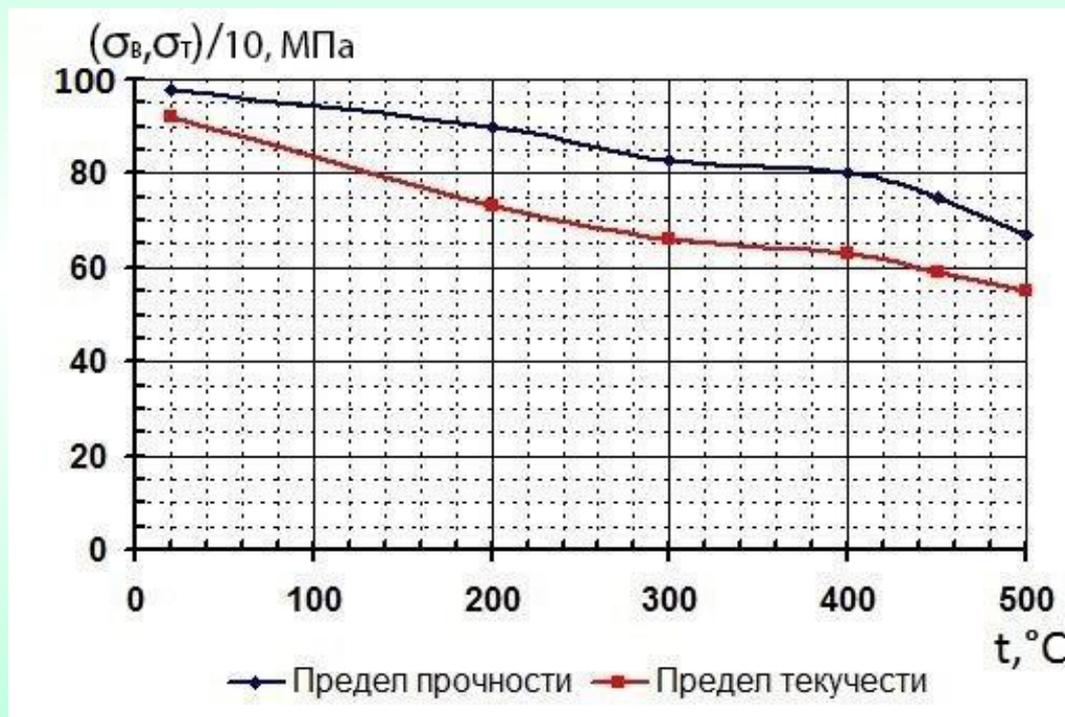
** Из рисунков видно, что окружные и радиальные напряжения в основании межпазового выступа локализируются в непосредственной близости и определяют величину эквивалентных напряжений.*

Распределение эквивалентных напряжений в диске



** Максимальные эквивалентные напряжения концентрируются в зоне основания межпазового выступа, тем самым ограничивая ресурс детали.*

** Уровень напряжений в ободке диска очень высокий. Механические свойства титанового сплава ВТЗ-1 показывают, что напряжения концентрации значительно превышают предел текучести.*



Зависимость предела прочности и предела текучести от температуры

**Предлагается несколько методов увеличения ресурса.*

Первый метод – перепротягивание замковых пазов с увеличением радиуса сопряжения доньшка паза с боковой поверхностью межпазового выступа.

Второй метод заключается в усилении диска, то есть выполнить усиление обода и, соответственно, ступицы.

Третий метод – переход на «двузубую ёлочку». Известно, что преимуществом замка «ёлочки» перед «ласточкиным хвостом» является именно усиление межпазового выступа в основании, где и концентрируются напряжения.

Четвертый метод – изменение геометрии доньшка паза, а именно переход от плоской формы к закругленной, что позволяет увеличение радиуса перехода от доньшка паза к рабочим поверхностям диска.

Выводы

Благодаря возможностям расчетного комплекса «ANSYS» можно и необходимо математически оценить все предложенные мероприятия и выбрать наиболее оптимальный вариант, что сэкономит средства на материал, изготовление и испытания детали. Создание математических моделей вариантов модификаций диска большая кропотливая работа, требующая навыков работы и в «Unigraphics» и в программном комплексе «ANSYS».

Но численная оценка на математических моделях высокого уровня гораздо эффективнее и экономически выгоднее, чем доводка диска путем изготовления очередного варианта модификации и проведения испытания. Мировые производители авиационных ГТД доказали, что будущее проектирования – за математическим моделированием.