

«Расчет диска на статическую прочность с учетом его теплового состояния»

Цель работы: получение навыков по импортированию геометрической модели в препроцессор ANSYS, выполнению последовательно теплового и сопряженного с ним анализа термонапряженного состояния конструкции.

Содержание отчета: тема и цель лабораторной работы, объект исследования (геометрическая модель диска с указанием всех размеров и приложенных нагрузок), расчет граничных условий для теплового анализа, основные данные по расчету (закрепление, краткое описание применяемой конечно-элементной сетки). В отчете следует представить поле температур, поле напряжений от действия только температурных нагрузок и суммарного действия температурных и механических нагрузок (3 эпюры). В выводах к работе необходимо указать расположение точек с максимальными напряжениями, провести анализ соответствия полученных результатов физическому смыслу, а так же оценить вклад температурных нагрузок в общие термонапряженное состояние диска.

Задача 1. Расчет граничных условий диска ТВД.

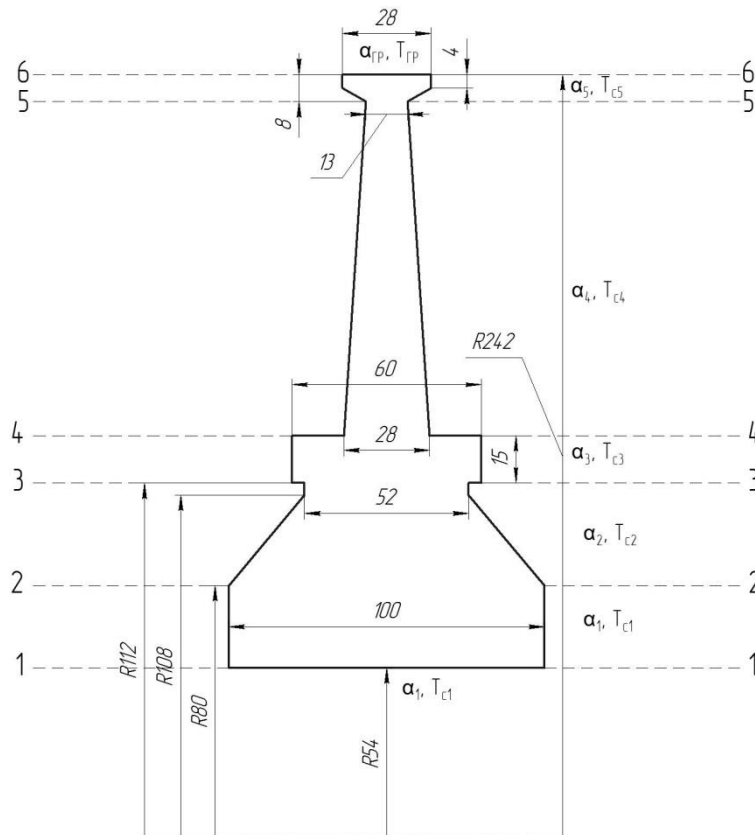


Рис.1 –Схема теплового нагружения диска ТВД

Порядок расчета (расчет выполняется по вариантам, указанным в приложении):

1. Расчет температуры среды.

Температуру среды рассчитывают для каждого сечения по формуле:

$$T_c = T_{КВД} + \frac{U^2}{2C_p}$$

где $T_{КВД}$ – температура за КВД, [K];

$$U = \frac{\pi \cdot n_{ВД}}{30} R_c \text{ – окружная скорость, [м/с];}$$

R_c – средний радиус i-го участка, на которые был разбит диск

$$C_p = -1.7287 \cdot 10^{-7} T_{КВД}^3 + 4.1509 \cdot 10^{-4} T_{КВД}^2 - 1.0764 \cdot 10^{-1} T_{КВД} + 1004.6 \text{ –}$$

теплоемкость воздуха, [Дж/(кг·K)].

2. Расчет коэффициентов теплоотдачи.

Коэффициенты теплоотдачи рассчитывают для каждого сечения по соотношению:

$$\alpha = \frac{Nu}{R_c} \lambda,$$

где $Nu = 0.0207 Re_{\omega}^{0.8}$ – число Нуссельта;

$$Re_{\omega} = \frac{\rho U R_c}{\mu} \text{ – число Рейнольдса;}$$

$$\rho = \frac{P}{R T_c} \text{ – плотность воздуха, [кг/м}^3\text{];}$$

P, T_c – давление и температура воздуха в расчетном сечении [Па], [K];

$R = 290$ Дж/(кг K) – универсальная газовая постоянная;

$$\mu = 1.8494 \cdot 10^{-5} e^{0.0008 \cdot T_c} \text{ – коэффициент динамической вязкости воздуха, [Па·с];}$$

$$\lambda = 2.583 \cdot 10^{-2} e^{0.0009 \cdot T_c} \text{ – коэффициент теплопроводности воздуха, [Вт/м K];}$$

$n_{ВД}$ – частота вращения ротора высокого давления, [об/мин].

3. Полученные результаты сводят в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчет условий теплообмена

$N_{сеч}$	$R, \text{ м}$	$T_c, \text{ К}$	$\mu, \text{ Па} \cdot \text{с}$	$\lambda, \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$	$\rho, \text{ кг/м}^3$	Re	Nu	$\alpha, \text{ Вт/(м}^2 \text{ град)}$
1								
:								
:								
i								
k								

Задача 2. Тепловой расчет диска ТВД на стационарном режиме.

Порядок выполнения:

1. Определение типа анализа (*Preferences*):

... => **Thermal** => **Ok**.

2. Выбор типа используемого элемента (*Element Type*):

... => **Thermal Mass – Solid – Quad 4 node** (плоский твердотельный элемент первого порядка)

=> **Ok** => - назначение опции осесимметрии для выбранного элемента – **Options** => **K3 = Axisymmetric** => **Ok** => **Close**.

3. Назначение свойств материала (*Material Props*):

- теплопроводность (Conductivity *KXX*) – **20** Вт/(м·К);

- модуль упругости – **$1.7 \cdot 10^{11}$** Па;

- коэффициент Пуассона – **0.3**;

- коэффициент теплового расширения – **$1.5 \cdot 10^{-5}$** К⁻¹;

- плотность – **8200** кг/ м³.

4. Построение геометрической модели диска следует выполнить с помощью любой CAD программы (например, КОМПАС). Необходимым условием при создании геометрии для анализа тел вращения в плоской осесимметричной постановке является следующее: осью симметрии является ось **OY**. Сохранять импортируемую геометрию следует в формате **IGES**. Если геометрия создавалась в программных продуктах КОМПАС или AutoCAD, а расчеты предполагается производить в системе СИ, следует выполнить масштабирование размеров из миллиметров в метры (масштабный коэффициент 0.001). Сделать это можно как до передачи модели в ANSYS, так и после.

5. Импорт геометрии в ANSYS (*Import*):

U.M. => **File** => **Import** => **IGES** => **Ok** => **Merge = Yes** (слитие совпадающих точек), **Solid = Yes** (создать твердотельные элементы, если возможно), **Small = No** (удалить малые области) -

6. Создание площади диска (*Modeling*)

Для разбиения диска на конечно-элементную сетку предварительно необходимо создать площадь диска, подлежащую разбиению:

...=>**Create**=>**Areas**=>**Arbitrary**=>**By Lines**=>указываем все линии, образующие замкнутый контур=>**Ok**.

7. Создание конечно-элементной сетки (*Meshing*).

Установить общий для всей модели размер элемента **SIZE = 0.003** м и сгенерировать сетку конечных элементов для расчетной области.

8. После создания сетки провести слияние совпадающих узлов и их перенумерацию (*Numbering Ctrl*s):

M.M.=> **Preprocessor** => **Numbering Ctrl**s => **Merge Items** =>**Label = Nodes, Action = Merge items**=>**OK**;

M.M.=> **Preprocessor** => **Numbering Ctrl**s => **Numbering Ctrl**s => **Compress Numbers (Label =**

Nodes)=>**Ok**.

9. Выбор типа анализа (*Analysis Type*):

...=> **New Analysis** => **Steady-state** => **Ok** – установившийся.

10. Приложение температурных нагрузок (*Define Loads*):

... => **Thermal** => **Convection** => **On Lines** => указать линии, соответствующие одному из назначенных участков (рис. 1), и приложить предварительно рассчитанные граничные условия 3 рода – коэффициент теплоотдачи $VAL1 = \alpha_i$, и температуру среды $VAL2I = T_{ci}$.

11. Запуск расчета (*Solve*):

... => **Current Ls** => **Ok**.

12. Просмотр поля температур (*Plot Results*):

... => **Contour Plot** => **Nodal Solu** => **Item to be contoured = DOF Solution** => **Nodal Temperature** => **Ok**. Необходимо сохранить результат расчета (поле температур).

Задача 3. Расчет температурных напряжений.

1. Изменение настроек основного меню для прочностного анализа (*Preferences*):

В пункте меню Individual discipline(s) to show in the GUI изменить тип исследования с теплового на структурный.

2. Преобразование типа конечных элементов для прочностного расчета (*Element type*):

...=> **Switch Elem Type** => **ETCHG=Thermal to structural** => **Ok**.

3. Назначение опции осесимметрии для выбранного элемента (*Element type*):

... => **Options** => **K3 = Axisymmetric** => **Ok** => **Close**.

4. Приложение нагрузок и закрепление детали (*Define loads*).

А) Чтение температур в каждом узле сетки из теплового расчета:

... => **Apply** => **Structural** => **Temperature** => **From Therm Analy** => В появившемся диалоговом меню следует нажать кнопку **BROWSE** и выбрать файл с расширением ***.rth** (файл с рассчитанным полем температур) => **Ok**.

Б) Закрепление диска вдоль оси **OY** от перемещений по одной из линий, соответствующей месту соединения диска с валом.

5. Запуск расчета (*Solve*).

6. Просмотр поля эквивалентных напряжений (von Mises). Необходимо сохранить эпюры для выполнения отчета.

Задача 4. Расчет напряжений от действия тепловых и силовых нагрузок.

1. Приложение нагрузок (*Define loads*).

А) Назначение угловой частоты вращения диска:

... => **Apply** => **Structural** => **Inertia** => **Angular Veloc** => **Global** => в соответствии с вариантом задать численное значение угловой скорости относительно оси **OY** => **Ok**.

Б) Приложение контурной нагрузки:

ПРИМЕЧАНИЕ: Следует помнить, что положительный вектор давления направлен по нормали к поверхности внутрь материала. Для имитации растягивающих напряжений на поверхности числовое значение давления следует задавать с минусом.

... => *Apply* => **Structural** => **Pressure** => **On Lines** => выбрать линию максимального радиуса диска и в соответствии с вариантом задать численное растягивающих напряжений, создаваемых лопаточным венцом и замковой частью => **Ok**.

Приложенные в задаче 3 узловые температуры и закрепления сохраняются, поэтому повторно их определять не следует.

2. Запуск расчета (*Solve*).

3. Просмотр поля эквивалентных напряжений (von Mises). Необходимо сохранить эпюры для выполнения отчета.

Приложение

Таблица А – Варианты заданий для расчета граничных условий в тепловом анализе

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_{квд}$, К	600	630	670	700	730	770	800	840	600
$n_{вд}$, об/мин	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000	15000	16000
$\sigma_{рл}$, МПа	200	220	190	180	170	160	150	140	240
Вариант	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$T_{квд}$, К	650	700	750	800	850	680	700	750	800
$n_{вд}$, об/мин	17000	10500	11500	12500	13500	14500	14000	15000	15500
$\sigma_{рл}$, МПа	210	130	120	110	100	90	150	200	210

Температуру $T_{гр}$ для расчета граничных условий по ободу диска (наружный радиус) во всех вариантах принять на **150** К больше $T_{квд}$.

Давление за компрессором для всех вариантов принять равным **1.8** МПа.