

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ

**КАФЕДРА «МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ ЧЕРНОЙ
МЕТАЛЛУРГИИ» ИМ. ПРОФ. СЕДУША В.Я.**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к проведению практических занятий

по дисциплине вариативной части

по выбору вуза профессионального цикла

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЁТОВ

для студентов всех форм обучения

направления подготовки 15.04.02

«Технологические машины и оборудование»

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ

**КАФЕДРА «МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ ЧЕРНОЙ
МЕТАЛЛУРГИИ» ИМ. ПРОФ. СЕДУША В.Я.**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к проведению практических занятий

по дисциплине вариативной части

по выбору вуза профессионального цикла

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЁТОВ

для студентов всех форм обучения

направления подготовки 15.04.02

«Технологические машины и оборудование»

Рассмотрены на заседании
кафедры «Механическое оборудование
заводов черной металлургии»
им. проф. Седуша В.Я.
Протокол № 11 от 03.04.2017 г.

Утверждены на заседании
учебно-издательского совета ДОННТУ
Протокол № __ от __.__. 20__ г.

**Донецк
ДОННТУ
2017**

УДК 669. (075.8)

Методические указания к проведению практических занятий по дисциплине вариативной части по выбору вуза профессионального цикла «Современные методы инженерных расчётов» для студентов всех форм обучения направления подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» / сост.: Е. В. Ошовская. – Донецк : ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2017. – 78 с.

Отображены цели и задачи практических занятий по курсу «Современные методы инженерных расчётов», их структура, последовательность действия студентов, направленных на достижение требуемых результатов в усвоении теоретического материала.

Составители: Ошовская Е.В., к.т.н., доцент, доцент кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии» им. проф. Седуша В.Я.

Рецензенты: д.т.н., профессор А.П. Кононенко
к.т.н., профессор В.А. Сидоров

Ответственный за выпуск:

к. т. н., доцент С.А. Бедарев

СОДЕРЖАНИЕ

Практическая работа №1. Знакомство с программным комплексом ANSYS. Графический интерфейс	3
Практическая работа №2. Посторенние простых двумерных геометрических объектов	7
Практическая работа №3. Посторенние простых трехмерных геометрических объектов	9
Практическая работа №4. Построение сложных геометрических моделей	10
Практическая работа №5. Построение сложных геометрических моделей (продолжение)	16
Практическая работа №6. Плоская задача. Статический анализ уголкового кронштейна	19
Практическая работа №7. Создание конечно-элементной модели с регулярной сеткой	30
Практическая работа №8. Объемная задача. Изгиб бруса	35
Практическая работа №9. Расчет плоской фермы	40
Практическая работа №10. Расчет пространственной рамы	46
Практическая работа №11. Прочностной расчет вала	54
Практическая работа №12. Распределение температуры в трубе с учётом симметрии	57
Практическая работа №13. Распространение тепла в трубах, состоящих из различных материалов	60
Практическая работа №14. Температурные напряжения в телах при неоднородном изменении температуры	66
Практическая работа №15. Температурные напряжения в телах, состоящих из различных материалов	71

Практическая работа №1.

Знакомство с программным комплексом ANSYS. Графический интерфейс

ANSYS – программный комплекс, позволяющий решать следующие задачи:

1. Построение модели конструкции (геометрия, реологические свойства, краевые условия) или импорт их из CAD систем.
2. Изучение реакции конструкции на различные физические воздействия, такие, как воздействие различных нагрузок, температурных и электромагнитных полей, решение задач механики жидкости и газа.
3. Оптимизация геометрии конструкции.

Графический интерфейс программы

Для удобства пользования ANSYS имеет графический интерфейс пользователя, предоставляющий быстрый доступ к различным функциям, командам, а также к обширной HELP - системе.

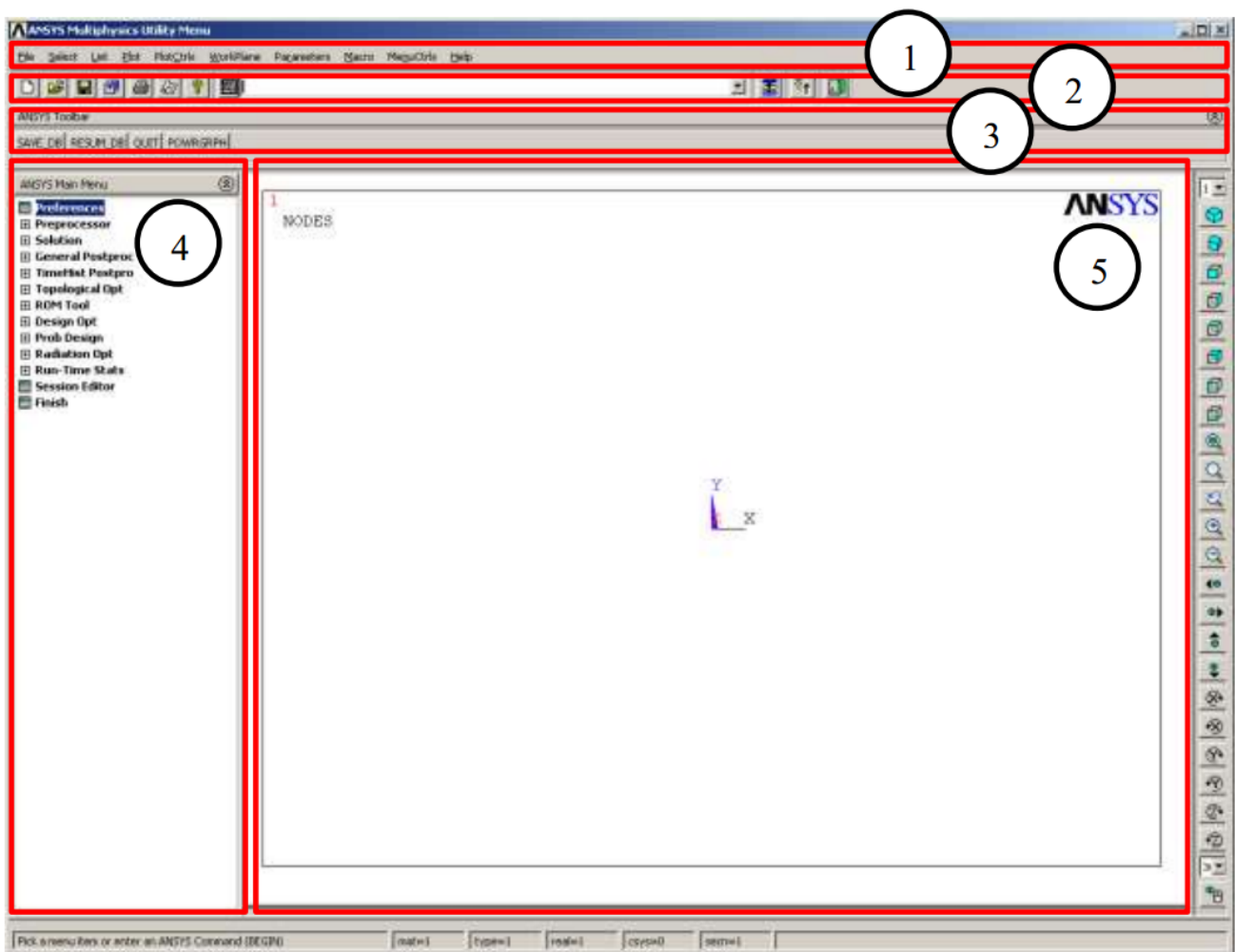


Рис.1. Интерфейс программной оболочки ANSYS

Программная оболочка ANSYS состоит из нескольких меню (рис.1):

1. **ANSYS Utility Menu** – меню утилит, служащее для доступа к командам, доступным из любого процессора. Это операции с файлами, управления выводом данных и другие.
2. **ANSYS Input** – командное окно, служащее для ввода команд.
3. **ANSYS Toolbar** – панель инструментов. Служит для быстрого доступа к ряду команд, а также для размещения кнопок доступа к макросам, написанным пользователем.
4. **ANSYS Main Menu** – главное меню ANSYS, служит для доступа ко всем операциям процессоров - препроцессора, процессора решения и постпроцессора.
5. **ANSYS Graphics** - графическое окно, служащее для графического вывода объектов.

Работать с программой ANSYS можно с помощью как графического интерфейса пользователя (ГИП) – интерактивный режим, так и с помощью команд (исполнение программ-скриптов) – командный режим.

В программном комплексе ANSYS функционал разбит на логические группы – Процессоры. Каждый процессор предоставляет доступ к различным функциям и командам. Список наиболее часто используемых процессоров и задач, с помощью них решаемых, приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Процессоры программного комплекса ANSYS

Процессор	Функции	Команды ГИП
Предварительной подготовки	Построение геометрической модели объекта, задание реологических свойств и краевых условий.	<i>ANSYS Main Menu → Preprocessor</i>
Решения	Задание краевых условий, выбор решателя, спецификация решателя, решение.	<i>ANSYS Main Menu → Solution</i>
Обработки решения	Обзор результатов решения для стационарного случая или по шагам нагрузки или времени. Средства вывода в файл. Графическая визуализация.	<i>ANSYS Main Menu → General Postproc</i>

Каждое действие, производимое с помощью ГИП, можно выполнить с помощью команды, вводя ее в окно меню ANSYS Input. Все эти команды отражаются в LOG-файле.

ANSYS содержит около 1000 команд используемых для различных целей. С помощью этих команд можно запрограммировать необходимые для анализа действия. Исполнить программу можно выполнив команду

ANSYS Utility Menu → File → Read Input from.

При вводе исходных данных в ANSYS, необходимо учитывать следующие ограничения системы:

1. Для задания действительных чисел используется десятичная точка «.» . Для чисел в экспоненциальной форме можно применять формы записи с E и D. Например, число $25000(25 \times 10^3)$ может быть записано в форме 25E3 или 25D3.
2. Допустимые пределы изменения переменных: от $\pm 10^{-60}$ до $\pm 10^{60}$.
3. Для имен переменных используются латинские буквы, при этом в именах не допускаются символы: ! @ # \$ % & ^ * () _ - + = | \ { } [] “ ‘ / < →.

Замечание о единицах измерения

Угловые значения по умолчанию задаются в градусах.

Иные величины задаются в единицах СИ (кг, Н, м, сек, Вт и т.п. [7]).

Создание проекта

Запуск программного комплекса ANSYS производится, запуском **ANSYS Product Launcher**. В открывшемся окне необходимо указать путь к каталогу, в котором будут сохраняться создаваемые в процессе работы файлы (Working Directory), а также наименование проекта (Job Name) (рис. 2).

Файлу базы данных и всем сопутствующим файлам присваивается имя проекта (JobName). Если этого не выполнить, то файлы будут иметь имя по умолчанию file с соответствующим расширением.

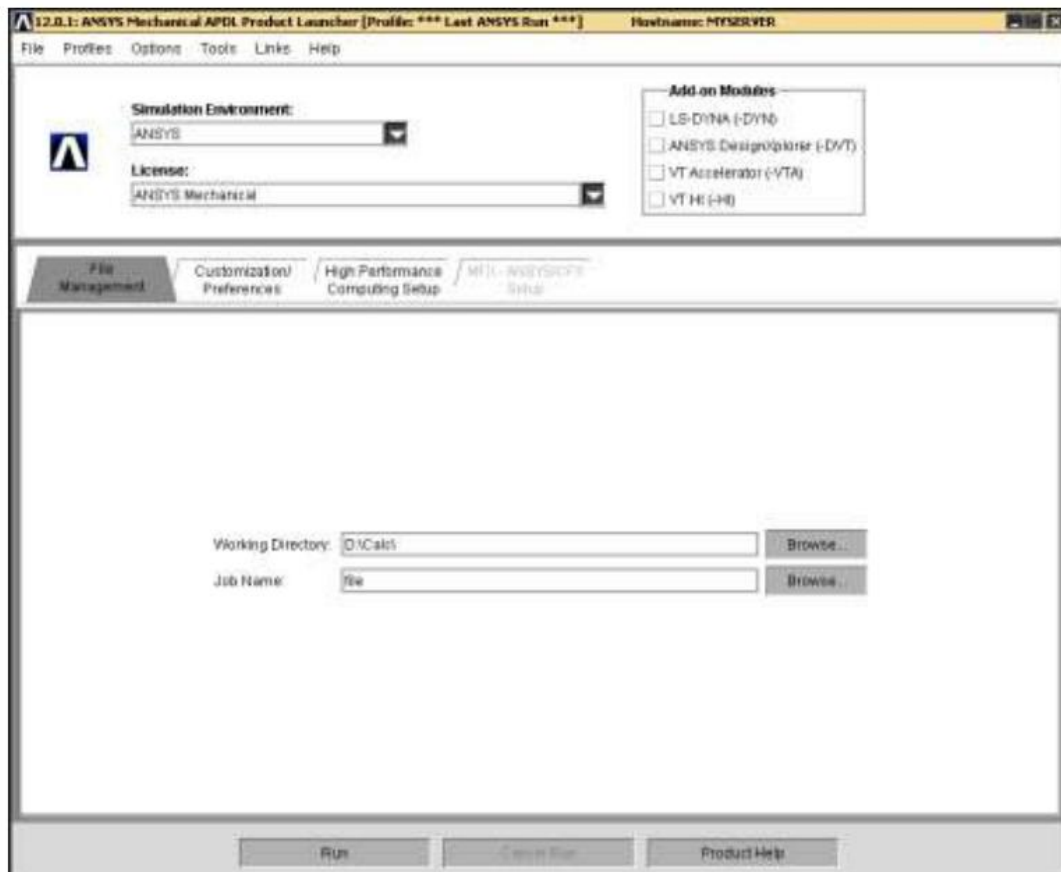


Рис.2. Окно диалога ANSYS Product Launcher

Файлы проекта

1. DB – файл

При работе программы основным является файл базы данных Jobname.db. В нем сохраняется информация о геометрии исследуемого объекта, конечно-элементном разбиении, нагрузках и результатах решения. В объем определяемого в Total Workspace рабочего пространства входит суммарный размер всех файлов, образуемых при работе программы.

2. LOG – файл

При работе с программой как с помощью ГИП, так и с помощью команд, NSYS отражает все действия в LOG-файле. В LOG-файле хранятся и фиксируются в процессе работы команды работы с программой. Файл имеет расширение . LOG и имеет формат записи ASCII - его можно просмотреть и любым внешним редактором. Этот файл представляет программу, которую можно исполнить. Для просмотра всего содержимого файла необходимо выполнить команду

ANSYS Utility Menu → List → Files → Log File.

С помощью LOG-файла можно исправить ошибки, допущенные при работе. Для этого необходимо:

1) записать LOG-файл с помощью команды

ANSYS Utility Menu → File → Write DB Log File

в файл, которому дать расширение txt (это необходимо для редакции файла Блокнотом);

2) открыть сохраненный файл, внести необходимые поправки и сохранить. Этот файл представляет программу, написанную с помощью команд ANSYS;

3) очистить содержимое базы данных ANSYS с помощью команды

ANSYS Utility Menu → File → Clear & Start New;

4) исполнить отредактированную программу с помощью команды

ANSYS Utility Menu → File → Read Input from.

Практическая работа №2.
Посторенние простых двумерных геометрических объектов

Задание 1. Построить точки по координатам

1 (0.05,0.2)

2 (-0.3,0.5)

3 (0.7,-0.2)

4 (-0.5,-0.4)

Построить линии, соединив точки.

Построить поверхность по линиям.

Задание 2. Построить точки по координатам

1 (-0.5,0.25)

2 (0.1,0.6)

3 (0.4,-0.7)

Построить дугу по трем точкам.

Задание 3. Построить точки по координатам

1 (-0.5,0.25)

2 (0.1,0.6)

3 (0.4,-0.7)

Построить дугу по конечным точкам с радиусом 0.8 м.

Задание 4. Построить дугу с центром в начале координат радиусом 500 мм. Начальную точку задать произвольно. Угол раствора дуги равен 140 градусов. Количество сегментов на дуге должно быть равно 5.

Задание 5. Построить прямоугольник по координатам вершин

1 (0.1,0.2)

2 (0.8,0.6)

Задание 6. Построить прямоугольник, у которого вершина имеет координаты (0.3,0.4). Высота прямоугольника 200 мм, ширина 700 мм.

Задание 7. Построить прямоугольник с центром в точке (-0.2,0.3). Высота прямоугольника 500 мм, ширина 200 мм.

Задание 8. Построить окружность в начале координат радиусом 100 мм.

Задание 9. Построить окружность диаметр, которой образован точками

1 (-0.1,-0.2)

2 (0.8,0.6)

Задание 10. Построить кольцо, у которого внутренний диаметр 100 мм, наружный диаметр 300 мм, а центр в точке с координатами (0.2,0.05).

Задание 11. Построить сектор круга радиусом 500 мм, с раствором 45 градусов. Начальное положение сектора 20 градусов.

Задание 12. Построить кольцевой сектор от 30 до 120 градусов, с внешним радиусом 400 мм и внутренним радиусом 250 мм.

Задание 13. Построить пятиугольник по вписанной окружности радиусом 150 мм.

Задание 14. Построить 12-тиугольник по описанной окружности диаметром 270 мм.

Задание 15. Построить квадрат со стороной 100 мм.

Задание 16. Построить треугольник с центром в начале координат, радиус описанной окружности для которого равна 500 мм, а первая вершина лежит на оси X.

Задание 17. Построить 8-ми угольник произвольных размеров с центром в произвольной точке, первая вершина которого повернута на 15 градусов относительно оси X.

Практическая работа №3. Посторенние простых трехмерных геометрических объектов

Задание 1. Создать параллелепипед по координатам двух противоположных вершин

Координата	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Значение, м	0.02	0.02	0.02	0.2	0.15	0.1

Задание 2. Создать параллелепипед по координатам угла и размерам

Параметры	X	Y	Ширина	Длина	Высота
Значение, м	0,2	0,2	0,18	0,15	0,12

Задание 3. Создать сплошной цилиндр с центром основания, расположенным в точке с координатами (0,02; 0,03), высотой 0,2 м и радиусом 0,1 м.

Задание 4. Создать сектор полого цилиндра

Радиус внутренний, м	Радиус внешний, м	Положение основания по высоте, м	Положение верхнего основания, м	Начальный угол, град.	Конечный угол, град.
0,08	0,1	0	0,1	0	280

Задание 4. Создать призму в форме правильного пятиугольника с координатами центра основания (0,02; 0,01), высотой 0,3 м и радиусом окружности 0,1 м.

Задание 5. Создать сектор полого шара с внешним радиусом 0,1 м и внутренним радиусом 0,08 м, угол начала 90 град., угол конца 310 град.

Задание 6. Создать сплошную сферу с центром (0,01; 0,02) и диаметром 0,2 м.

Задание 7. Создать конус с центром основания в точке (0,01; 0,05) радиусом основания 0,05 м и высотой 0,2 м.

Задание 8. Создать тороидальный сектор с радиусами 0,1; 0,02; 0,015, с начальным углом 0 и конечным 270 град.

Задание 9. Создать объем вращением вокруг оси.

Задание 10. Создать объемное тело выдавливанием на высоту 0,5 м вдоль нормали.

Практическая работа №4. Построение сложных геометрических моделей

Логические (булевых) операции (сложение, вычитание)

1. Сложение поверхностей

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Add > Areas
(указать «мышью» поверхности или ввести их номера в поле ввода)

2. Вычитание поверхностей

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Subtract > Areas

- 1) Выбрать поверхность, из которой будет выполняться вычитание. 2) Нажать ОК.
- 3) Выбрать поверхность, которую надо вычесть. 4) Нажать ОК.

Создание объемных примитивов

3. Параллелепипед по угловой точке и размерам

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Block > By 2 Corners&Z

X, Y – координаты угла основания параллелепипеда;
Width – ширина; **Height** – высота; **Depth** – толщина.

Задание. Создать параллелепипед с координатой угла основания (0.5, 0.8), шириной 1 м, высотой 2 м, толщиной 0,5 м.

4. Параллелепипед по двум диагональным вершинам

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Block > By Dimensions

X1,X2 – координаты угловых точек по оси X;
Y1, Y2 – координаты угловых точек по оси Y;
Z1, Z2 – координаты угловых точек по оси Z.

Задание. Создать параллелепипед по координатам двух противоположных вершин

Координата	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Значение, м	0.02	0.02	0.02	0.2	0.15	0.1

5. Сплошной цилиндр

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Cylinder > Solid Cylinder

WP X, WP Y – координаты центра цилиндра на рабочей плоскости (координата **Z=0**);

Radius – радиус; **Depth** – высота цилиндра.

Задание. Создать сплошной цилиндр с центром основания, расположенным в точке с координатами (0,02; 0,03), высотой 0,2 м и радиусом 0,1 м.

6. Цилиндр, пустотелый цилиндр

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Cylinder > Hollow Cylinder

WP X, WP Y – координаты центра цилиндра на рабочей плоскости (координата **Z=0**);

Rad-1 – внешний радиус цилиндра; **Rad-2** – внутренний радиус цилиндра;

Depth – высота цилиндра.

7. Цилиндр, пустотелый цилиндр, часть цилиндрического объемного тела

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Cylinder > Partial Cylinder

WP X, WP Y – координаты центра цилиндра на рабочей плоскости (координата **Z=0**);

Rad-1 – внешний радиус цилиндра; **Rad-2** – внутренний радиус цилиндра;

THETA1, THETA2 – начальный и конечный углы сектора; **Depth** – высота цилиндра.

8. Цилиндр с основанием на рабочей плоскости по диаметру и высоте

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Cylinder > By End Pts&Z

WP XE1, WP YE1 – указать координаты на рабочей плоскости одного конца диаметра основания создаваемого цилиндра;

WP XE2, WP YE2 – указать координаты на рабочей плоскости второго конца диаметра основания создаваемого цилиндра;

Depth – высота цилиндра.

9. Цилиндр, пустотелого цилиндр, сектор пустотелого цилиндра (центр основания в начале координат $X=0, Y=0$)

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Cylinder > By Dimensions

RAD1, RAD2 – внутренний и внешний радиус цилиндра;

Z1, Z2 – координаты граней цилиндра по оси **Z**;

THETA1, THETA2 – начальный и конечный углы при создании цилиндрического сектора.

Задание. Создать сектор полого цилиндра

Радиус внутренний, м	Радиус внешний, м	Положение основания по высоте, м	Положение верхнего основания, м	Начальны й угол, град.	Конечный угол, град.
0,08	0,1	0	0,1	0	280

10. Призма с центром в произвольной точке рабочей плоскости, в основании которой находится

Треугольник

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Prism > Triangular

Квадрат

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Prism > Square

Пятиугольник

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Prism > Pentagonal

Шестиугольник

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Prism > Hexagonal

Семиугольник

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Prism > Septagonal

Восьмиугольник

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Prism > Octagonal

X, Y – координаты центра основания;

Radius – радиус описанной вокруг основания окружности; **Theta** – угол начала;

Depth – высота.

Задание. Создать призму в форме правильного пятиугольника с координатами центра основания (0,02; 0,01), высотой 0,3 м и радиусом окружности 0,1 м.

11. Призма с центром в начале координат рабочей плоскости

По вписанной окружности

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Prism > By Inscribed Rad

Z1, Z2 – указать координаты плоскостей основания параллельных рабочей плоскости;

NSIDES – количество граней; **MINRAD** – радиус вписанной окружности.

По описанной окружности

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Prism > By Circumscr Rad

Z1, Z2 – указать координаты плоскостей основания параллельных рабочей плоскости;

NSIDES – количество граней; **MAJRAD** – радиус описанной окружности.

12. Шар в любой точке рабочей плоскости

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Sphere > Solid Sphere

WP X, WPY – координаты центра шара на рабочей плоскости; **Radius** – радиус.

Задание. Создать сплошную сферу с центром (0,01; 0,02) и диаметром 0,2 м.

13. Шар с полостью

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Sphere > Hollow Sphere

WP X, WPY – координаты центра шара на рабочей плоскости;

Rad-1 – внешний радиус; **Rad-2** – внутренний радиус.

14. Шар, шар с шаровой полостью

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Sphere > By End Points

WP XE1, WP YE1, WP XE2, WP YE2 – координаты двух точек на рабочей плоскости, определяющих диаметр сферы.

Можно просто указать точки мышью на экране.

15. Сплошной шар, шар с полостью или сегмент с центром в начале координат

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Sphere > By Dimensions

Rad-1 – внутренний радиус цилиндра; **Rad-2** – внешний радиус цилиндра;

THETA1, THETA2 – начальный и конечный углы шарового сегмента.

Задание. Создать сегмент полого шара с внешним радиусом 0,1 м и внутренним радиусом 0,08 м, угол начала 90 град., угол конца 310 град.

16. Конус с центром основания в любой точке рабочей плоскости

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Cone > By Picking

WP X, WPY – координаты центра основания на рабочей плоскости;

Rad-1 – радиус основания; **Rad-2** – радиус верхней грани; **Depth** – высота конуса.

Задание. Создать конус с центром основания в точке (0,01; 0,05) радиусом основания 0,05 м и высотой 0,2 м.

17. Конус или конический сектор с центром основания в начале координат рабочей плоскости

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Cone > By Dimensions

RBOT – радиус основания; **RTOP** – радиус верхней грани;

Z1, Z2 – координаты основания и его вершины по оси Z;

THETA1, THETA2 – начальный и конечный углы конического сектора.

18. Тор, тороидальный сектор

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Torus

RAD1 – радиус осевого сечения тора; **RAD2** – внутренний радиус полости тора;

RADMAJ – наибольший радиус тора;

THETA1, THETA2 – начальный и конечный углы тороидального сектора

Задание. Создать тороидальный сектор с радиусами 0,1; 0,02; 0,015, с начальным углом 0 и конечным 270 град.

19. Объем произвольной формы

На основе вершин

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Arbitrary > Through KPs

(указать ключевые точки, которые являются вершинами создаваемого объема с помощью «мыши» или их номера в поле ввода. Нажать ОК)

На основе поверхностей

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Arbitrary > By Areas

(указать поверхности, ограничивающие объем с помощью «мыши» или ввести их номера в поле ввода. Нажать ОК)

20. Объем с помощью выдавливания вдоль линии

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Operate > Extrude > Areas > Along Lines

1) Выбрать поверхности. 2) Нажать ОК

3) Выбрать линию (линии), вдоль которых будет проводиться вытягивание. 4) Нажать ОК

21. Объем с помощью выдавливания вдоль нормали

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Operate > Extrude > Areas > Along Normal

1) Выбрать поверхность, которая будет выдавливаться. 2) Нажать ОК

3) В окне диалога задать параметр **DIST** – расстояние, на которое будет выдавливаться поверхность. 4) Нажать ОК

22. Объем вращением вокруг оси

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Operate > Extrude > Areas > About Axis

- 1) Выбрать поверхности, которые будут вращаться. 2) Нажать ОК
- 3) Указать две точки, через которые будет проходить ось вращения. 4) Нажать ОК
- 5) В окне диалога задать параметры **ARC** – угол поворота; **NSEG** – количество сегментов

23. Сложение объемов

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Add > Volumes

(указать «мышью» объемы или ввести их номера в поле ввода)

24. Вычитание объемов

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Subtract > Volumes

- 1) Выбрать объем, из которого будет вычитаться. 2) Нажать ОК
- 3) Выбрать объем, который надо вычесть. 4) Нажать ОК

Практическая работа №5. Построение сложных геометрических моделей (продолжение)

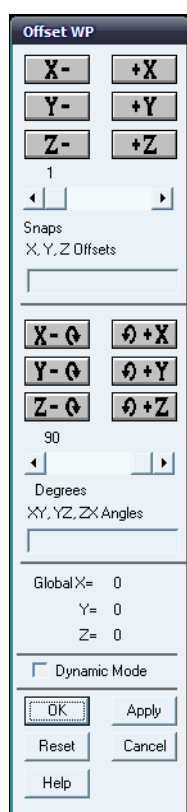
Управление положением рабочей плоскости (Working Plane)

1. Включить изображение осей рабочей плоскости

Utility Menu > Working Plane > Display Working Plane

2. Смещение начала отчета и разворот осей рабочей плоскости

Utility Menu > Working Plane > Offset WP by Increments



← Смещение начала отсчета по оси X, Y, Z

← Кнопки поворота координатных плоскостей вокруг осей X, Y, Z (по часовой стрелке –, против часовой стрелки +)

← Угол поворота (от 1 до 90 градусов)

3. Смещение начала отчета рабочей плоскости в указанное место

Utility Menu > Working Plane > Offset WP to > Keypoints – в указанную точку

> **Nodes** – в указанный узел

> **Global Origin** – в начало отсчета

глобальной системы координат

4. Размещение рабочей плоскости в пространстве

Utility Menu > Working Plane > Align WP to > Keypoints – указать точку начала координат,

точку на оси X, точку в плоскости XY

Utility Menu > Working Plane > Align WP to > Global Cartesian – выравнивание с глобальной системой координат

Задание. Построение детали «Пластина» (рис. 3)

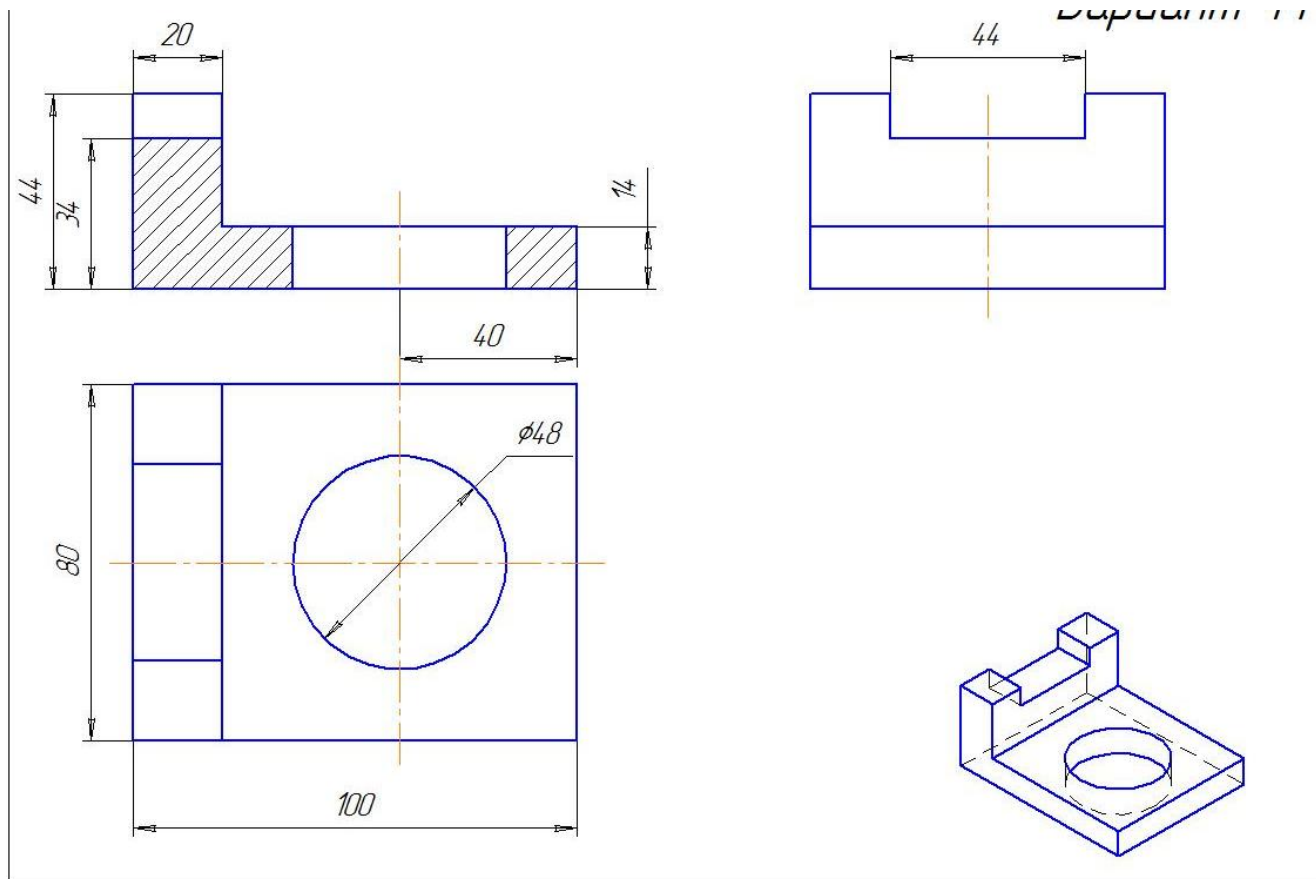


Рис. 3. Чертеж детали

1. Разворот рабочей плоскости

Utility Menu > Working Plane > Offset WP by Increments

Установить 90 градусов, нажать кнопку X-, нажать ОК.

2. Построение основания пластины

Параллелепипед по центральной точке и размерам

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Block > By Centr, Cornr, Z

Задать параметры: координаты центра **WX=0, WY=0**; **Width = 0.1** – ширина; **Height=0.08** – высота; **Depth=0,014** – толщина.

Сплошной цилиндр

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Cylinder > Solid Cylinder

Задать параметры: **WP X=0.01, WP Y=0** – координаты центра цилиндра на рабочей плоскости;

Radius=0.024 – радиус; **Depth=0.014** – высота цилиндра.

Отрисовка модели в виде линий

Utility Menu > Plot > Lines

Вычитание объемов

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Subtract > Volumes

- 1) Выбрать параллелепипед, из которого будет вычитаться. 2) Нажать ОК
- 3) Выбрать цилиндр, который надо вычесть. 4) Нажать ОК

3. Построение боковой части пластины

Параллелепипед по угловой точке и размерам

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Block > By 2 Corners&Z

Задать параметры: координаты угла основания параллелепипеда – **WP X=-0.05, WP Y=-0.04;**

Width=0.02 – ширина; **Height=0.08** – высота; **Depth=0.044** – толщина.

Сложение объемов

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Add > Volumes

В окне диалога нажать кнопку **Pick All**.

Размещение рабочей плоскости по передней грани боковой части

Utility Menu > Working Plane > Align WP to > Keypoints – указать точку
начала координат,
точку на оси X, точку в плоскости XY

Параллелепипед по угловой точке и размерам

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Block > By 2 Corners&Z

Задать параметры: координаты угла основания параллелепипеда – **WP X=0.018, WP Y=0.02;**

Width=0.044 – ширина; **Height=0.01** – высота; **Depth=0.02** – толщина.

Отрисовка модели в виде линий

Utility Menu > Plot > Lines

Вычитание объемов

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Subtract > Volumes

- 1) Выбрать базовый объем, из которого будет вычитаться. 2) Нажать ОК
- 3) Выбрать параллелепипед, который надо вычесть. 4) Нажать ОК

Практическая работа №6.

Плоская задача. Статический анализ уголкового кронштейна

Требуется определить напряженно-деформированное состояние уголкового кронштейна, показанного на рис.4.

Кронштейн изготовлен из стали с модулем упругости $E=2,05 \cdot 10^{11}$ Н/м², коэффициентом Пуассона $\mu=0.27$ и пределом текучести $\sigma_T = 400$ МПа.

Верхнее левое отверстие жестко закреплено по всей окружности. Нижнее правое отверстие нагружено через жесткую вставку давлением, распределенным линейно по контуру нижней половины отверстия. Равнодействующая этого давления составляет 10 кН. Начало глобальной системы прямоугольных координат помещено в центр верхнего левого отверстия.

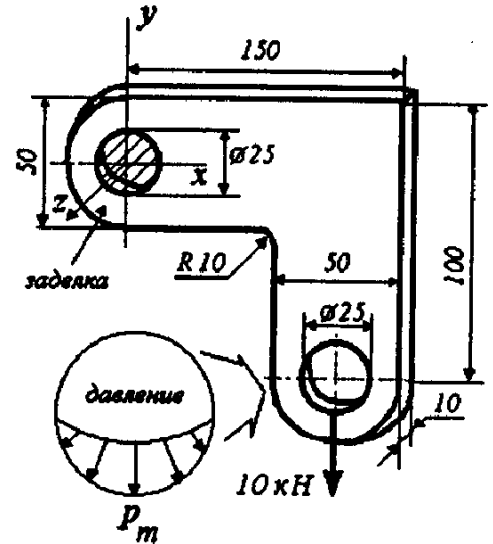


Рис. 4. Кронштейн

Допущение: рассматривается плосконапряженное состояние (уголок тонкий), напряжение $\sigma_z = 0$.

Ход решения

1. Подготовка модели

1.1. Имя задачи

После данной операции все файлы, созданные ANSYS в процессе работы, будут иметь указанное имя:

Utility Menu → File → Change Jobname

- а) ввести: *kr*;
- б) нажать: **OK**.

1.2. Установка фильтров

Данная операция позволяет исключить из всех меню ANSYS пункты, не относящиеся к типу анализа решаемой задачи:

Main Menu → Preferences

- а) нажать кнопку: **Structural**;
- б) нажать: **OK**. (т.е. выбрали задачу механики деформируемого твердого тела.)

1.3. Выбор типа элементов

В данной задаче выбирается плоский четырехугольный 8-узловой элемент PLANE82:

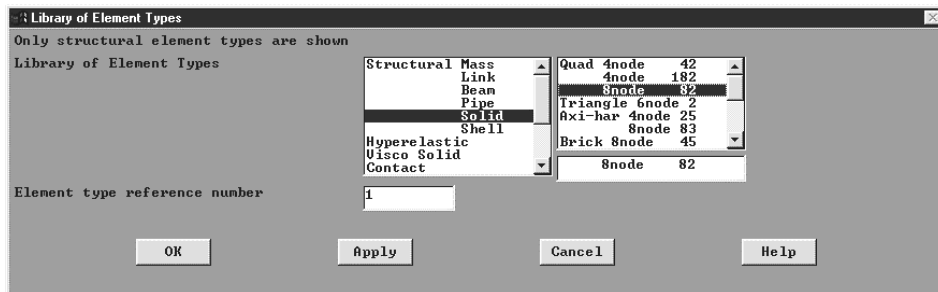
Main Menu → Preprocessor → Element type → Add /Edit /Delete

- а) нажать: **Add** (добавить новый тип элемента);
- б) выбрать **Structural solid** в библиотеке элементов (левое окно);
- в) выбрать **Quad 8 node 82** в окне *Selection*;

г) **OK**;

д) в окне *Element Types* выбрать **Options** (свойства элемента);

е) выбрать для опции **K3** значение *Plane strss w/thk* (плосконапряженный элемент с указанием толщины);



ж) **OK** для закрытия окна *Element Type options*;

з) **Close** для закрытия окна *Element Types*.

1.4. Определение параметров элементов

Параметры задаются для таких элементов, чьи свойства нельзя в полной мере описать положением их узлов (например, толщина плоских элементов и параметры поперечного сечения балочных элементов). В нашем случае для выбранного элемента PLANE82 необходимо дополнительно определить его толщину:

Main Menu → Preprocessor → Real Constants

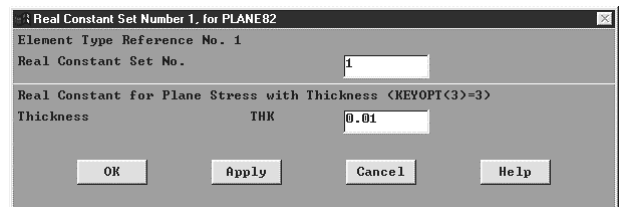
а) нажать **Add** (добавить к существующему списку наборов параметров);

б) **OK** (константы — для элемента PLANE82);

в) ввести *0.01* для **THK** (толщина 10 мм);

г) **OK**;

д) **Close** для закрытия окна *Real Constants*.



1.5. Свойства материала

Свойства материала (модуль Юнга, коэффициент Пуассона, плотность) не зависят от геометрии элемента, поэтому для каждого типа используемых конечных элементов они должны задаваться отдельно. Кроме того, для одного и того же элемента могут быть заданы различные комбинации свойств материала. В зависимости от постановки задачи свойства материала могут быть линейные, нелинейные, анизотропные, температурно зависимые и т.д.

В данном примере задается изотропный материал с постоянными свойствами:

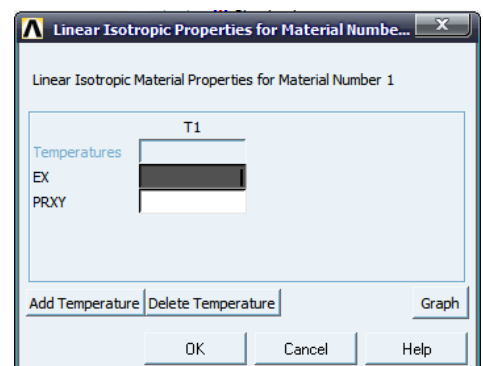
Material Props → Material Models

а) в правой части окна выбрать

Structural→Linear→Elastic→Isotropic

б) в появившемся окне ввести *2.05e11* в поле **EX** (модуль упругости);

в) ввести *0.27* в **PRXY** (коэффициент Пуассона);



г) нажать **OK** для закрытия окна.

Все введенные данные находятся в оперативной памяти компьютера. Для того чтобы сохранить их в файле **kr.db**, необходимо на инструментальной панели выбрать:

Toolbar → SAVE_DB.

2. Создание модели

В данной задаче модель создается при помощи геометрических примитивов и автоматического построения сетки. Прямоугольные примитивы строятся по следующим параметрам: площадь, четыре линии и четыре ключевые точки. Угловой кронштейн может быть построен с помощью комбинаций следующих примитивов: двух прямоугольников, двух кругов и двух круглых отверстий. Центр глобальной системы координат помещаем в центр левого верхнего отверстия.

2.1. Построение прямоугольников

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Areas → Rectangle → By Dimensions (прямоугольник по размерам):

а) ввести *0, 0.15, -0.025, 0.025* для *X1, X2, Y1* и *Y2* (переход— клавиша <TAB>) – координаты противоположных углов прямоугольника;

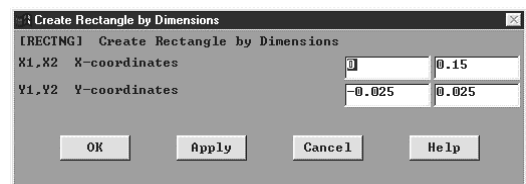
б) нажать **Apply** (применить) для определения первого прямоугольника.

После нажатия **Apply**, в отличие от **OK**, выполнение текущей операции не прерывается;

в) ввести *0.1, 0.15, -0.025, -0.075* (*X1, X2, Y1* и *Y2*) для второго прямоугольника;

г) **OK** для определения второго прямоугольника и закрытия окна.

Таким образом, в графическом окне созданы два прямоугольника одинакового цвета.



2.2. Изменение параметров изображения

Для более наглядного отображения геометрии устанавливается опция, включающая выделение цветом и нумерацию двумерных объектов (Areas). Эта опция расположена в пункте **PlotCtrls** основного меню (**Utility Menu**):

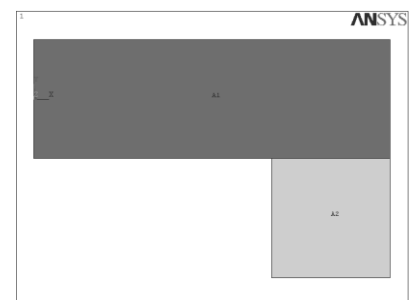
Utility Menu → Plot Ctrls → Numbering

а) выбрать **Area Numbers**;

б) **OK** для закрытия окна и перерисовки прямоугольников.

В результате прямоугольники на дисплее выделены разным цветом и перенумерованы;

в) **Toolbar → SAVE_DB** (сохранение данных в файле **kr.db**).



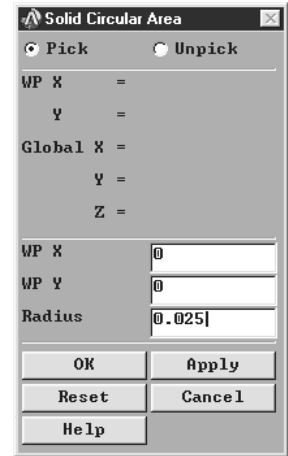
2.3. Создание окружностей

На данном шаге создадим два круга на концах прямоугольников.

2.3.1. Создание первого круга

Main Menu → Preprocessor → Modeling - Create → Areas - Circle → Solid Circle

- а) ввести 0 в **WP X** и 0 в **WP Y** (это координаты центра окружности – расположены в начале координат);
- б) в **Radius** ввести 0.025 (диаметр круга равен высоте прямоугольника);
- в) **Apply**;



2.3.2. Создание второго круга

В том же окне ввести параметры второго круга:

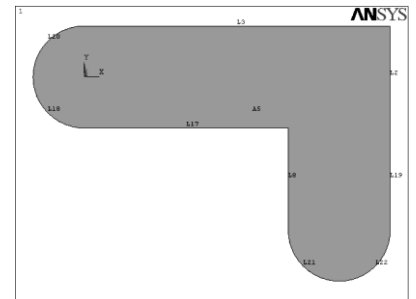
- а) ввести 0.125 в **WP X** и -0.075 в **WP Y**;
- б) в **Radius** ввести 0.025 (диаметр круга равен высоте прямоугольника);
- в) **OK**.
- г) **Toolbar → SAVE_DB** (сохранение данных в файле **kr.db**).

2.4. Слияние областей

Теперь нам необходимо объединить все построенные фигуры вместе. Это можно сделать с помощью одной из булевых (**Boolean**) операций для преобразования геометрических объектов (слияние, разделение, пересечение, исключение и др.) – **Add areas**. Размещаются эти операции в пункте **Operate** препроцессора (главное меню):

Main Menu → Preprocessor → Modeling- Operate → Booleans- Add → Areas

- а) выбрать **Pick All** (т.е. выбрать все);
- б) **OK** для слияния всех площадей;
- в) **Toolbar → SAVE_DB** (сохранение данных в файле **kr.db**).



2.5. Создание закругления (галтели) между линиями

2.5.1. Сначала зададим нумерацию линий в графическом окне:

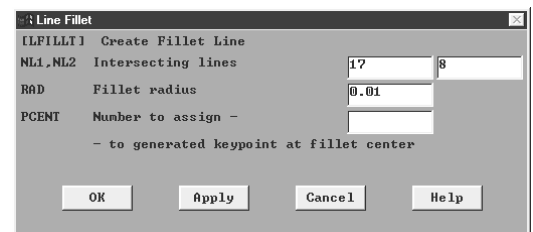
Utility Menu → PlotCtrls → Numbering

- а) выбрать **Line Numbers**;
- б) **OK**. Убираем изображение рабочего поля:

2.5.2. Создание галтели на внутреннем изгибе уголка:

Main Menu → Preprocessor → Modeling- Create → Lines-Line fillet

- а) отметить мышью линии **L17** и **L8** (между ними будет галтель);
- б) **OK**;
- в) ввести 0.01 (10 мм) в **Fillet radius** (радиус закругления);
- г) **OK** для создания закругления и закрытия окна.



2.5.3. Показываем линии в графическом окне:

Utility Menu → Plot → Lines.

2.6. Создание области по линиям галтели

На данном шаге создается площадь под построенной кривой закругления.

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Areas-Arbitrary → By Lines

а) отметить мышью линии **L4, L5, L1**;

б) **OK** (создана новая область).

2.7. Объединение всех областей в одну

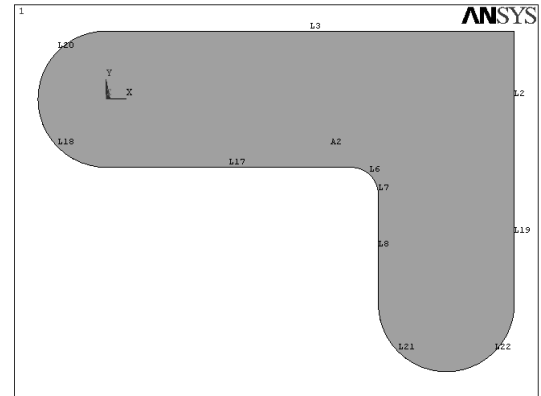
Применяется та же процедура, что и ранее:

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Operate → Booleans → Add → Areas

а) **Pick All** (объединить все области в одну);

б) **OK**;

в) **Toolbar → SAVE_DB** (сохранение данных в файле **kr.db**).



2.8. Создание отверстий

Создаются два круга, соответствующие отверстиям. Затем они «исключаются» из конструкции операцией **Subtract**.

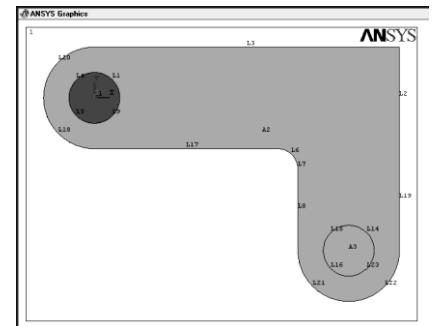
2.8.1. Создание первого круга

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Area → Circle → Solid Circle

а) ввести **0** в **WP X** и **0** в **WP Y**;

б) в **Radius** ввести **0.0125** (диаметр круга равен высоте прямоугольника);

в) **Apply**;



2.8.2. Создание второго круга

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Areas → Circle → Solid Circle

а) ввести **0.125** в **WP X** и **-0.075** в **WP Y**;

б) в **Radius** ввести **0.0125**;

в) **OK**.

2.8.3. Покажем на дисплее все построенные нами линии, чтобы в дальнейшем можно было удалить некоторые из ограниченных ими поверхностей (создание круглых отверстий):

Utility Menu → Plot → Lines

Toolbar → SAVE_DB (сохранение данных в файле **kr.db**).

2.8.4. Удаление областей, ограниченных окружностями

Main Menu→Preprocessor→Modeling-Operate→Booleans -Subtract→Areas

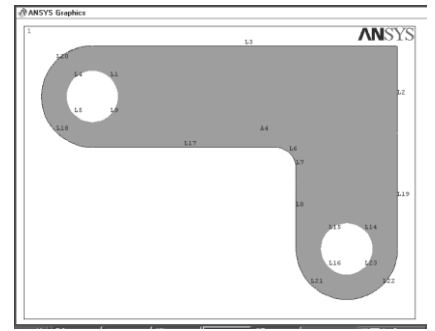
а) отмечаем мышью область, из которой производится удаление (весь кронштейн);

б) **Apply**;

в) отмечаем мышью два круга, подлежащие удалению;

г) **OK**.

Toolbar→SAVE_DB (сохранение данных в файле **kr.db**).



2.9. Построение сетки

2.9.1. Установка рекомендуемого размера элементов:

Main Menu→Preprocessor→Meshing→Size Cntrl →Manual Size→Global-Size

а) ввести *0.005* в **Size**;

б) **OK**.

2.9.2. Нанесение конечно-элементной сетки

Для областей сложной геометрии в ANSYS используется свободное (Free) разбиение:

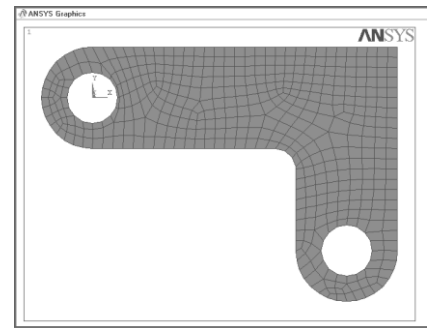
Main Menu→Preprocessor→Meshing→Mesh →Areas→Free

а) **Pick All** (все имеющиеся площади);

б) **OK**.

Toolbar→SAVE_DB (сохранение данных в **kr..db**).

На этом построение конечно-элементной модели закончено.



3. Получение решения

Этап решения начинается с задания граничных условий, а также указания метода и параметров расчета.

3.1. Задание граничных перемещений

Перемещения (*Displacements*) всех узлов на границе первого, заземленного по контуру, отверстия равны нулю. Однако мы не знаем нумерацию этих узлов, т.к. программа ANSYS строила сетку автоматически. Поэтому поступим следующим образом: зададим четыре ключевые точки (keypoints) по контуру отверстия, а затем укажем, что смещения всех узлов между этими ключевыми точками равны нулю:

Main

Menu→Solution→Loads→Apply→Structural→Displacement→On Keypoints

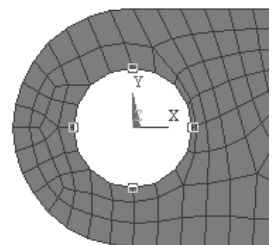
а) отметить четыре ключевые точки на контуре отверстия;

б) **OK**;

в) выбрать **All DOF** (перемещения по всем осям);

г) ввести *0* в **Value** (нулевые перемещения);

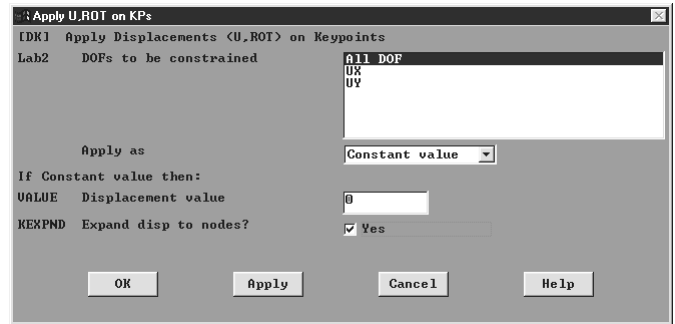
д) установить флажок **KEXPND** в положение **ON**



(распространить действие команды на узлы, лежащие между ключевыми точками);

е) **OK**.

Toolbar→**SAVE_DB** (сохранение данных в файле **kr.db**).



3.2. Задание давления на границе второго отверстия

Теперь необходимо приложить давление, линейно меняющееся вдоль нижней половины второго отверстия. В ANSYS контур круглого отверстия образован четырьмя линиями. Мы приложим давление вдоль двух линий, образующих нижнюю половину отверстия. По условию задачи общая нагрузка составляет $F_y=10$ кН, и необходимо рассчитать максимальное давление p_m в центре нагружения (расчет приведен на рис. 5).

$$p(\alpha) = 2p_m \alpha / \pi$$

$$dF = p(\alpha) t r d\alpha$$

$$t = 0.01 - \text{толщина}$$

$$F_y = 2 \int_0^{\pi/2} \frac{2p_m \alpha}{\pi} t r \sin \alpha d\alpha \Rightarrow p_m = \frac{\pi F_y}{4 t r} = 62.83 \text{ MPa}$$

Рис. 5. Расчет давления

Main Menu→**Solution**→**Loads**→**Apply**→**Structural**→**Pressure**→**On Lines**

а) отметить мышью левую нижнюю четверть границы второго отверстия (линия **L12**);

б) **Apply**;

в) ввести 0 в **VALI** (давление на левом конце линии);

г) ввести $62.83e6$ в **VALJ** (давление на правом конце линии);

о) выбрать **Apply** в меню **PRES on Lines**;

е) отметить мышью правую нижнюю четверть границы второго отверстия (линия **L13**);

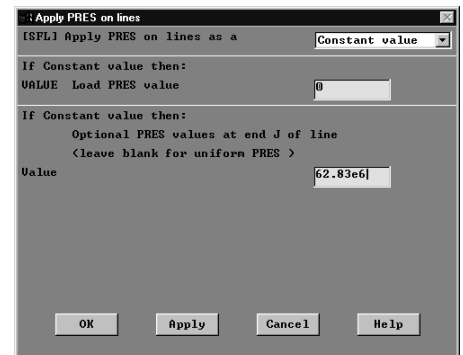
ж) **Apply**;

з) ввести $62.83e6$ в **VALI**;

и) ввести 0 в **VALJ**;

к) **OK**.

Toolbar → **SAVE_DB** (сохранение данных в файле **kr.db**),



3.3. Решение задачи

Main Menu → **Solution** → **Solve** → **Current LS** → **OK**

а) проанализировать сообщение в белом информационном окне и закрыть окно (**File**→**Close**);

б) нажать **OK** для запуска программы на счет (текущий шаг нагружения);

в) **Close** в желтом окне с надписью **Solution is done!** (расчет окончен!). Результаты расчета данного шага нагружения сохраняются в базе данных (файл **kr.db**) и в файле результатов (файл **kr.rst**). Заметим, что если задача предполагает несколько шагов нагружения, то в базе данных сохраняются результаты расчета только

текущего шага нагружения. Результаты расчета по всем шагам нагружения сохраняются в файле результатов.

4. Анализ результатов

Результаты решения можно представить как в графической, так и в текстовой форме.

4.1. Вызов главного постпроцессора и чтение результатов

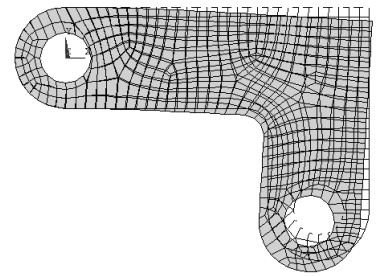
Выбирается первый (first) из нескольких (при пошаговом расчете) наборов выходных данных. Для данной задачи такой набор только один.

Main Menu → General Postproc → Read Results → First Set

4.2. Изображение деформированной формы модели

Main Menu → General Postproc → Plot Results → Deformed Shape

- а) выбрать **Def + Undeformed** (показываются исходная и деформированная формы модели одновременно);
- б) **OK**.



4.3. Изолинии эквивалентных по Мизесу напряжений

При многоосном поле напряжений часто считается, что текучесть стали наступает, когда эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{экв}}$ рассчитанные по Мизесу, достигают предела текучести. В этом случае $\sigma_{\text{экв}}$ определяются по формуле:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2},$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения. Имея картину изолиний эквивалентных напряжений, легко установить опасное сечение детали.

Main Menu → General Postproc → Plot Results → Contour Plot → Nodal Solu

- а) выбрать **Stress** (напряжения) в левом scroll-меню;
- б) выбрать **von Mises (SEQV)** в правом scroll-меню;
- в) **OK**.

В оригинале рисунка изолинии эквивалентных напряжений представлены цветными полосами. Рядом с рисунком дается легенда для расшифровки числовых значений напряжений. Там же приводят максимальное значение эквивалентных напряжений (**SMX**) и минимальное значение напряжений (**SMN**).

4.4. Просмотр списка значений усилий в граничных узлах

Применяя метод конечных элементов, необходимо иметь возможность контролировать правильность решения. Так, например, в данной задаче сумма реакций в узлах в направлении оси Y должна равняться приложенной силе, а в направлении оси X – нулю. Приведенная ниже операция позволяет вывести в текстовой форме значения компонентов сил в узлах, лежащих на границах области.

Main Menu → General Postproc → List Results → Reaction Solu

- а) **OK** (просмотр всех реакций в появившемся окне);

б) Close.

5. Выход из ANSYS

При выполнении процедуры выхода можно сохранить данные в различном объеме: геометрия и граничные условия (save Geom + Loads); геометрия, граничные условия и параметры расчета (save Geom + Loads + Solu); геометрия, граничные условия, параметры расчета и результаты (save Everything); ничего (No Save!):

Tool bar→Quit

а) выбрать третий пункт; б) ОК..

Задание 1. Выполнить расчет на прочность кронштейна толщиной 15 мм (рис. 6), нагруженного давлением, распределенным линейно по контуру нижней половины отверстия. Равнодействующая этого давления составляет силой 15 кН. Кронштейн изготовлен из стали с модулем упругости $E=2,05 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициентом Пуассона $\mu=0.33$ и пределом текучести $\sigma_T = 400$ МПа.

Начало глобальной принять самостоятельно.

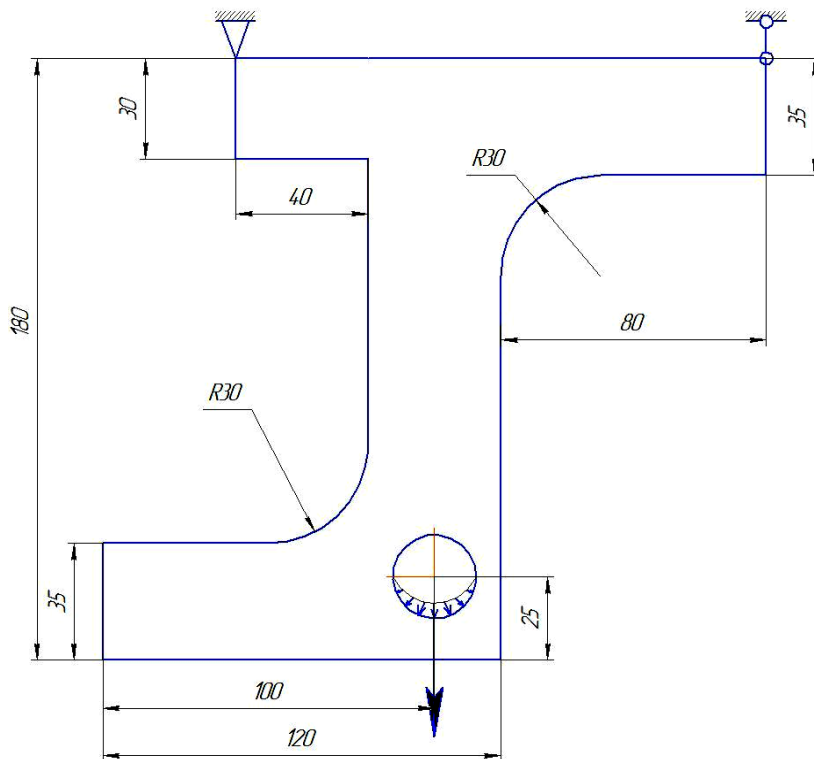
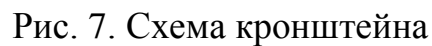
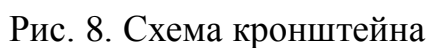


Рис. 6. Схема кронштейна

Задание 2. Выполнить расчет на прочность кронштейна толщиной 10 мм (рис. 7), нагруженного давлением, распределенным линейно по контуру нижней половины отверстия. Равнодействующая этого давления составляет силой 25 кН. Кронштейн изготовлен из стали с модулем упругости $E=2,05 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициентом



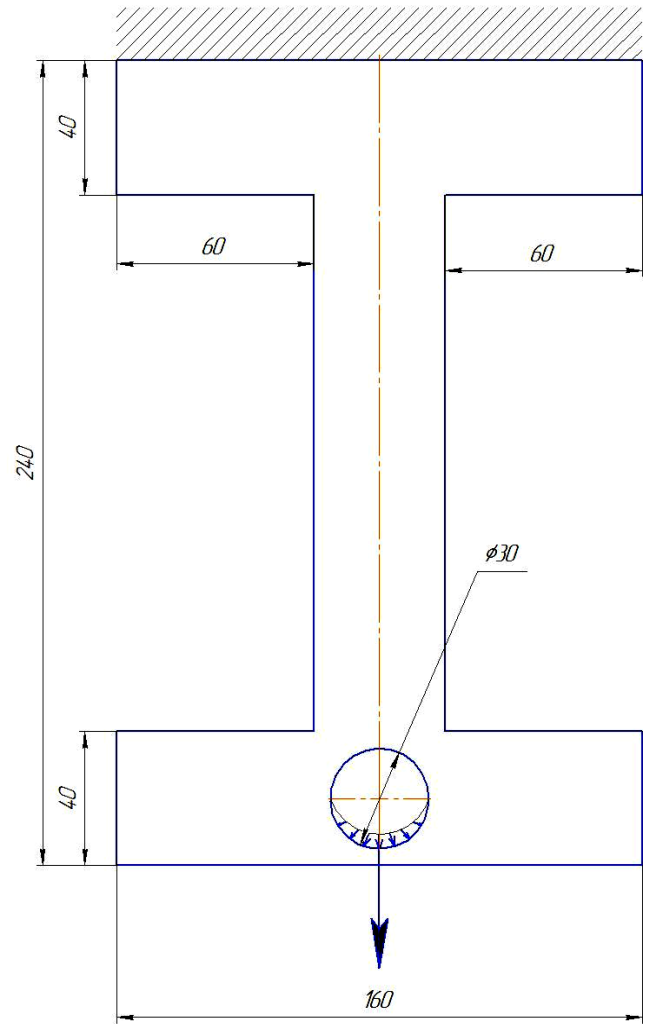
Начало глобальной принять
самостоятельно.



Задание 4. Выполнить расчет на прочность кронштейна толщиной 12 мм (рис. 9), нагруженного давлением, распределенным линейно по контуру нижней половины отверстия. Кронштейн изготовлен из стали с модулем упругости $E=2,05 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициентом Пуассона $\mu=0.33$ и пределом текучести $\sigma_T = 400$ МПа.

Начало глобальной принять самостоятельно.

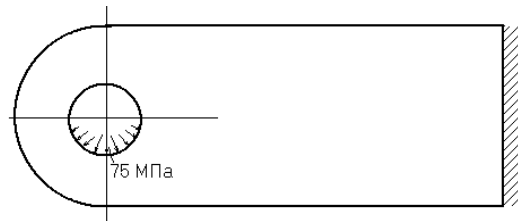
Рис. 9. Схема кронштейна



Практическая работа №7.

Создание конечно-элементной модели с регулярной сеткой

Для кронштейна, показанного на рис. 10, необходимо построить конечно-элементной модели с регулярной сеткой.



Ход решения

1. Подготовка модели

1.1. Выбор типа элементов

Рис. 10. Схема кронштейна

В данной задаче выбирается плоский четырехугольный 8-узловой элемент PLANE82:

Main Menu → Preprocessor → Element type → Add /Edit /Delete

- а) нажать: **Add** (добавить новый тип элемента);
- б) выбрать **Structural solid** в библиотеке элементов (левое окно);
- в) выбрать **Quad 8 node 82** в окне *Selection*;
- г) **OK**;
- д) в окне *Element Types* выбрать **Options** (свойства элемента);
- е) выбрать для опции **K3** значение **Plane strss w/thk** (плосконапряженный элемент с указанием толщины);
- ж) **OK** для закрытия окна *Element Type options*;
- з) **Close** для закрытия окна *Element Types*.

1.2. Определение параметров элементов

Для выбранного элемента PLANE82 необходимо дополнительно определить его толщину:

Main Menu → Preprocessor → Real Constants

- а) нажать **Add** (добавить к существующему списку наборов параметров);
- б) **OK** (константы — для элемента PLANE82);
- в) ввести **0.01** для **THK** (толщина 10 мм);
- г) **OK**;
- д) **Close** для закрытия окна *Real Constants*.

1.3. Свойства материала

В данном примере задается изотропный материал с постоянными свойствами:

Main Menu → Preprocessor → Material Props → Constant – Isotropic

- а) **OK** (набор свойств для материала №1);
- б) ввести **2.05e11** в **EX** (модуль упругости);
- в) ввести **0.27** в **NUXY** (коэффициент Пуассона);
- г) нажать **OK** для закрытия окна.

2. Создание модели

2.1. Построение прямоугольника

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Areas → Rectangle → By Dimensions :

- а) ввести 0 , 0.15 , -0.025 , 0.025 для $X1$, $X2$, $Y1$ и $Y2$ (переход— клавиша <TAB>) – координаты противоположных углов прямоугольника;
- б) нажать **OK**.

2.2. Создание окружностей

На данном шаге создадим два круга.

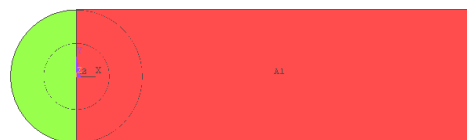
2.2.1. Создание первого круга

Main Menu → Preprocessor → Modeling - Create → Areas - Circle → Solid Circle

- а) ввести 0 в **WP X** и 0 в **WP Y** (это координаты центра окружности – расположены в начале координат);
- б) в **Radius** ввести 0.025 (диаметр круга равен высоте прямоугольника);
- в) **Apply**;

2.2.2. Создание второго круга (для отверстия)

- а) ввести 0 в **WP X** и 0 в **WP Y** (это координаты центра окружности – расположены в начале координат);
- б) в **Radius** ввести 0.0125 (диаметр круга равен высоте прямоугольника);
- в) **OK**.



2.3. Перекрытие областей

Main Menu → Preprocessor → Modeling- Operate → Booleans- Overlap → Areas

- а) указать области **A1** и **A2** (первая окружность и прямоугольник);
- б) **OK**.



2.4. Вычитание области отверстия

Main Menu→Preprocessor→Modeling- Operate→Booleans -Subtract→Areas

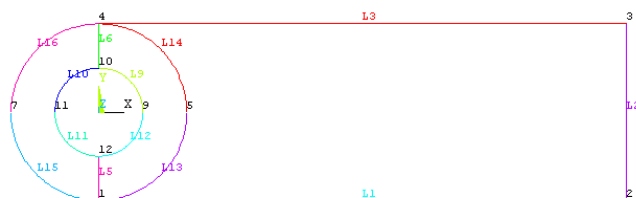
- а) отмечаем мышью области **A4** и **A5**, из которых производится удаление (два полукруга);
- б) **Apply**;
- в) отмечаем мышью область **A3** (круг, подлежащий удалению);
- г) **OK** (получили 3 области).



2.5. Отрисовка линий и включение номеров точек и линий

Utility Menu → Plot → Lines.

Utility Menu → Plot Ctrl → Numbering



а) выбрать **Keypoint Numbers**; и **Line Numbers**;

б) **OK**.

2.6. Создание линии по точкам

Main Menu → Preprocessor → Modeling - Create → Lines - Lines → Straight Line

а) отмечаем мышью точки **5** и **9**;

б) **OK**.

2.7. Создание линии перпендикулярной другой линии

Main Menu → Preprocessor → Modeling - Create → Lines - Lines → Normal to Line

а) отмечаем мышью линию **L3**;

б) **Apply**;

в) отмечаем мышью точку **5**;

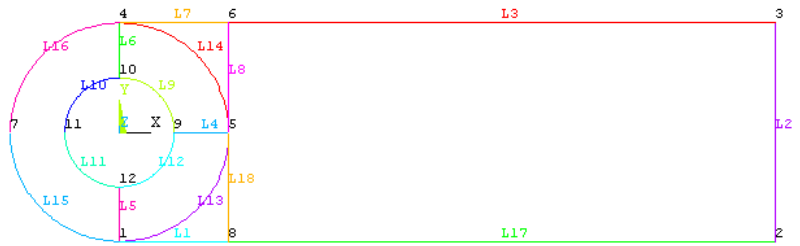
г) **Apply**;

д) отмечаем мышью линию **L1**;

е) **Apply**;

ж) отмечаем мышью точку **5**;

з) **OK**.



2.8. Деление площади линией

Main Menu → Preprocessor → Modeling - Operate → Booleans - Divide → Area by Line

а) отмечаем мышью область **A1**;

б) **Apply**;

в) отмечаем мышью линию **L4**;

г) **Apply**;

а) отмечаем мышью область **A6**;

б) **Apply**;

в) отмечаем мышью линию **L8**;

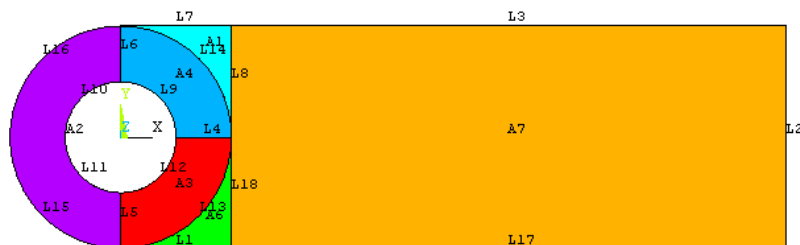
г) **Apply**;

а) отмечаем мышью область **A5**;

б) **Apply**;

в) отмечаем мышью линию **L18**;

г) **OK**.



2.9. Объединение областей

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Operate → Booleans → Add → Areas

а) отмечаем мышью области **A1** и **A4**;

б) **Apply**;

в) отмечаем мышью области **A3** и **A6**;

г) **OK**.



2.10. Перенумерация объектов модели

Main Menu → Preprocessor → NumberingCtrls → Compress Numbers

а) выбрать **All**;

б) **OK**.

2.11. Перерисовка изображения

Utility Menu → Plot → Replot.

3. Построение сетки

3.1. Задание количества делений на линиях

Main Menu → Preprocessor → Meshing → Size Cntrls → Manual Size → Lines → Picked Lines

а) отмечаем мышью линии **L6, L4, L5, L8, L16, L7** и **L1**;

б) **Apply**;

в) в поле **NDIV** ввести **5**;

г) **Apply**;

д) отмечаем мышью линии **L10, L11, L12, L9, L14, L13** и **L2**;

е) **Apply**;

ж) в поле **NDIV** ввести **10**;

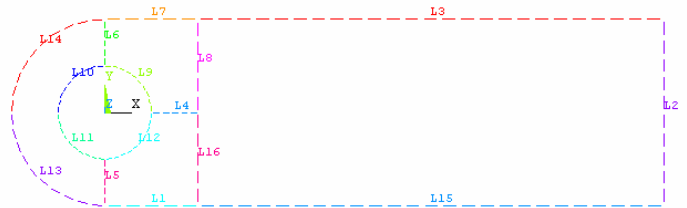
з) **Apply**;

и) отмечаем мышью линии **L3** и **L15**;

к) **Apply**;

л) в поле **NDIV** ввести **25**;

м) **OK**.



3.2. Объединение линий для регулярной сетки

Main Menu → Preprocessor → Meshing → Concatenate → Lines

а) отмечаем мышью линии **L13** и **L14**;

б) **Apply**;

в) отмечаем мышью линии **L10** и **L11**;

г) **Apply**;

д) отмечаем мышью линии **L7** и **L8**;

е) **Apply**;

ж) отмечаем мышью линии **L1** и **L16**;

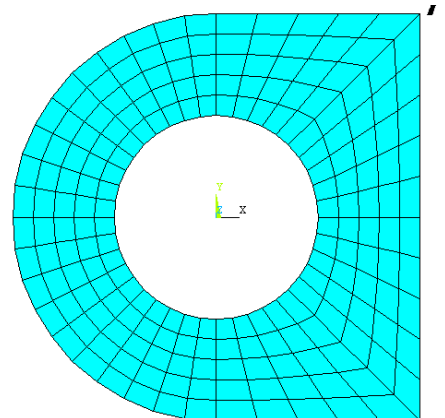
з) **OK**.

3.3. Генерация регулярной сетки

Main Menu → Preprocessor → Meshing → Mesh → Areas → Mapped → 3 or 4 sided

а) отмечаем мышью области **A2, A3** и **A1**;

б) **OK**.



3.4. Удаление объединения линий

Main Menu → Preprocessor → Meshing → Concatenate → Del Concats → Lines

3.5. Объединение линий для регулярной сетки

Main Menu → Preprocessor → Meshing → Concatenate → Lines

а) отмечаем мышью линии **L8** и **L16**;

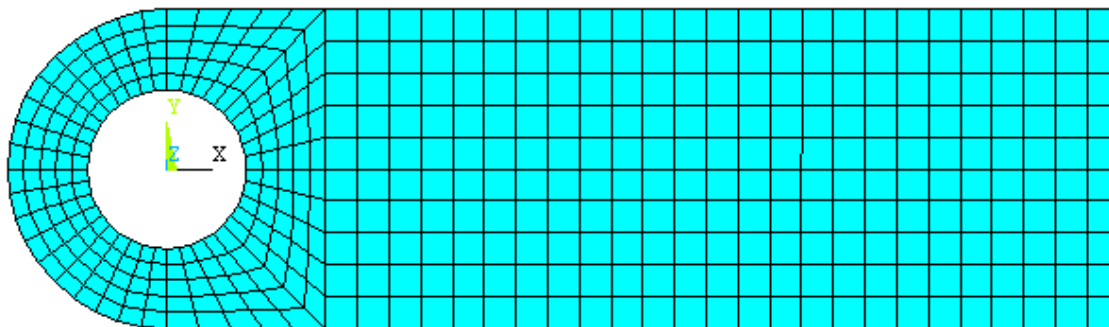
б) **OK**.

3.6. Генерация регулярной сетки

Main Menu→**Preprocessor**→**Meshing**→**Mesh** → **Areas**→**Mapped** → **3 or 4 sided**

а) отмечаем мышью область **A4**;

б) **OK**.



4. Получение решения

4.1. Задание граничных перемещений

Main Menu→**Solution**→**Loads**→**Apply**→**Structural**→**Displacement**→**On Lines**

а) отметить линию **L2**;

б) **OK**;

в) выбрать **All DOF** (перемещения по всем осям);

г) ввести **0** в **Value** (нулевые перемещения);

д) **OK**.

4.2. Задание давления на границе отверстия

Main Menu→**Solution** →**Loads**→**Apply**→**Structural**→**Pressure**→**On Lines**

а) отметить мышью левую нижнюю четверть границы отверстия – линию **L11**;

б) **Apply**;

в) ввести **0** в **VALI** (давление на левом конце линии);

г) ввести **75e6** в **VALJ** (давление на правом конце линии);

о) выбрать **Apply** в меню **PRES on Lines**;

е) отметить мышью правую нижнюю четверть границы отверстия – линию **L12**;

ж) **Apply**;

з) ввести **75e6** в **VALI**;

и) ввести **0** в **VALJ**;

к) **OK**.

4.3. Решение задачи

Main Menu → **Solution** → **Solve** → **Current LS** → **OK**

а) проанализировать сообщение в белом информационном окне и закрыть окно (**File**→**Close**);

б) нажать **OK** для запуска программы на счет (текущий шаг нагружения);

в) **Close** в желтом окне с надписью **Solution is done!** (расчет окончен!).

5. Просмотр результатов.

Практическая работа №8. Объемная задача. Изгиб бруса

Требуется определить напряженно-деформированное состояние бруса размером 1х1х4 м (рис. 11). Брус изготовлен из стали с модулем упругости $E=2,1 \cdot 10^{11}$ Н/м², коэффициентом Пуассона $\mu=0.3$ и пределом текучести $\sigma_T = 700$ МПа. Брус жестко закреплен на верхней торцевой поверхности, а на переднюю поверхность действует давление 10 МПа.

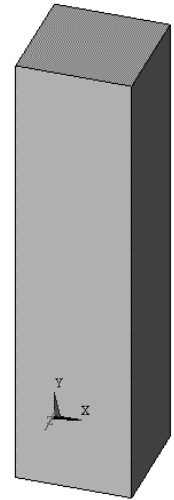


Рис. 11. Модель бруса

Ход решения

1. Подготовка модели

1.1. Имя задачи

После данной операции все файлы, созданные ANSYS в процессе работы, будут иметь указанное имя:

Utility Menu → File → Change Jobname

а) ввести: *beam*;

б) нажать: **OK**.

1.2. Установка фильтров

Данная операция позволяет исключить из всех меню ANSYS пункты, не относящиеся к типу анализа решаемой задачи:

Main Menu → Preferences

а) нажать кнопку: **Structural**;

б) нажать: **OK**. (т.е. выбрали задачу механики деформируемого твердого тела.)

1.3. Выбор типа элементов

В данной задаче выбирается 20-узловой элемент SOLID45 в форме параллелепипеда:

Main Menu → Preprocessor → Element type → Add /Edit /Delete

а) нажать: **Add** (добавить новый тип элемента);

б) выбрать **Structural solid** в библиотеке элементов (левое окно);

в) выбрать **Brick 20 node 95** в окне *Selection*;

г) **OK**;

д) **Close** для закрытия окна *Element Types*.

1.4. Определение свойств материала

Main Menu → Preprocessor → Material Props → Constant – Isotropic

а) **OK** (набор свойств для материала №1);

б) ввести *2.1e11* в **EX** (модуль упругости);

в) ввести *0.3* в **NUXY** (коэффициент Пуассона);

г) нажать **OK** для закрытия окна.

Toolbar → SAVE_DB.

2. Создание модели

Модель строится как объемное тело в форме параллелепипеда.

2.1. Построение бруса

Main Menu → Preprocessor → Modeling Create → Volumes Block → By Dimensions

а) введите следующие значения:

$X1, X2$ 0 1.

$Y1, Y2$ 0 4.

$Z1, Z2$ 0 1.

б) **OK.**

2.2. Представление изображения в виде линий

ANSYS Utility Menu → Plot → Lines

2.3. Представление изображения в объеме

ANSYS Utility Menu → PlotCtrls → Pan Zoom Rotate → Obliq

2.4. Построение сетки

2.4.1. Установка числа делений для указанных линий

Main Menu → Preprocessor → Meshing → Size Cntrls → Manual Size → Lines – Picked Lines

а) выберите мышью два перпендикулярных ребра (линии) в основании параллелепипеда;

б) **Apply;**

в) введите

No of Element Divisions **NDIV** 4 (кол-во делений)

Space Spacing Ratio 1 (соотношение длин делений 1:1)

г) **Apply;**

д) выберите любое длинное ребро параллелепипеда;

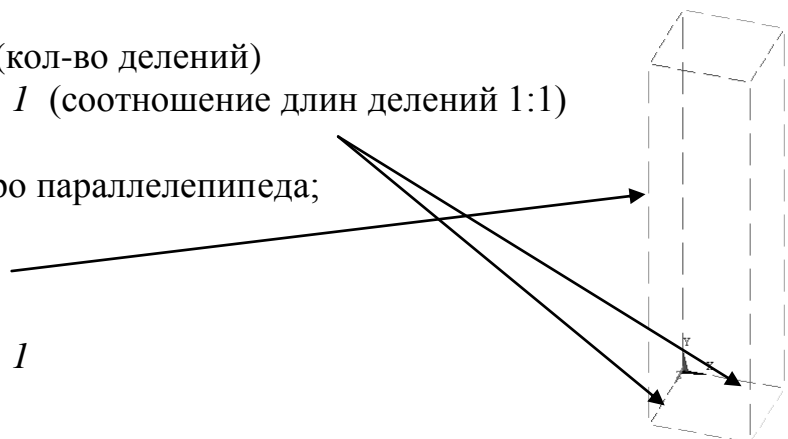
е) **Apply;**

ж) введите

No of Element Divisions **NDIV** 8

Space Spacing Ratio 1

з) **OK.**



2.4.2 Нанесение конечно-элементной сетки

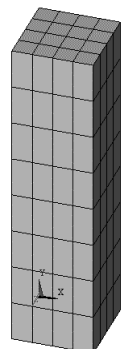
Для бруса используется регулярное разбиение с образованием 4-х или 6-тисторонних элементов:

Main Menu → Preprocessor → Mesh → Volumes → Mapped → 4 to 6 Sided

а) **Pick All** (все имеющиеся площади);

б) **OK.**

Toolbar → SAVE_DB .



На этом построение конечно-элементной модели закончено.

3. Получение решения

3.1. Задание граничных перемещений

Перемещения (*Displacements*) всех узлов на верхней торцевой поверхности бруса равны нулю. Необходимо выбрать все узлы принадлежащие этой поверхности.

3.1.1. Отрисовка поверхностей

ANSYS Utility Menu→Plot→Areas

3.1.2. Выбор верхней торцевой поверхности бруса из всех поверхностей

ANSYS Utility Menu→Select

- а) в верхнем списке выбрать **Areas** (т.е. будет выбираться поверхность);
- б) во втором списке выбрать **By Num Pick** (это способ выбора – указанием или по номеру);
- в) **Apply** ;
- г) выберите мышью верхнюю поверхность (верхнее основание параллелепипеда);
- д) **OK**.

3.1.3. Перерисовать изображение

ANSYS Utility Menu→Plot→Replot

3.1.4. Выбор всех узлов, принадлежащих данной поверхности

ANSYS Utility Menu→Select

- а) в верхнем списке выбрать **Nodes** (т.е. будут выбираться узлы);
- б) во втором списке выбрать **Attached to** (это способ выбора – принадлежащие);
- в) установить опцию **Areas, All** (т.е. ко всей поверхности);
- г) **OK**.

3.1.5. Отрисовка узлов

ANSYS Utility Menu→Plot→Nodes

3.1.6. Задание ограничения перемещений

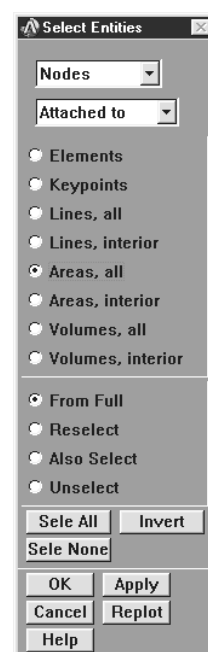
Main

Menu→Solution→Loads→Apply→Structural→Displacement→On Nodes

- а) нажать на кнопку **Pick All** (выбрать все);
- б) выбрать **All DOF** (перемещения по всем осям);
- в) ввести 0 в **Value** (нулевые перемещения);
- г) **OK**.

3.1.7. Выбор всех компонентов изображения модели

ANSYS Utility Menu→Select Everything



3.1.8. Перерисовать изображение

ANSYS Utility Menu→Plot→ Replot

3.2. Задание действующей нагрузки

На переднюю поверхность бруса действует давление 10 МПа.

Main Menu→Solution →Apply→Loads→Structural→Pressure→On Areas

- отметить мышью переднюю поверхность бруса;
- OK**;
- ввести $1e7$ в **VALUE** (давление на поверхности);
- OK**.

3.3. Решение задачи

Main Menu → Solution → Solve → Current LS → OK

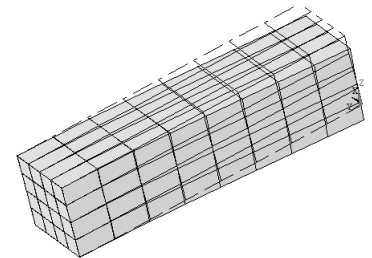
- проанализировать сообщение в белом информационном окне и закрыть окно (**File→ Close**);
- нажать **OK** для запуска программы на счет (текущий шаг нагружения);

4. Анализ результатов

4.1. Вызов главного постпроцессора и чтение результатов

Выбирается первый (first) из нескольких (при пошаговом расчете) наборов выходных данных. Для данной задачи такой набор только один.

Main Menu → General Postproc →Read Results → First Set



4.2. Изображение деформированной формы модели

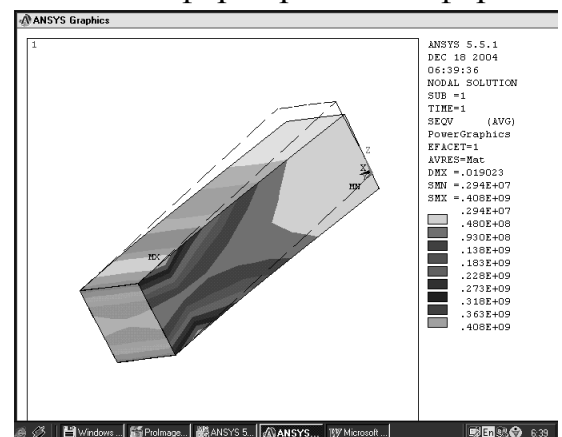
Main Menu → General Postproc →Plot Results →Deformed Shape

- выбрать **Def + Undeformed** (показываются исходная и деформированная формы модели одновременно);
- OK**.

4.3. Изолинии эквивалентных по Мизесу напряжений

Main Menu→General Postproc→Plot Results→Contour Plot→Nodal Solu

- выбрать **Stress** (напряжения) в левом scroll-меню;
- выбрать **von Mises (SEQV)** в правом scroll-меню;
- OK**.



5. Выход из ANSYS

Tool bar→Quit

- выбрать третий пункт;
- OK**.

Задание 1. Выполнить прочностной расчет рычага (рис. 12), нагруженного в меньшем отверстии растягивающим давлением 40 МПа.

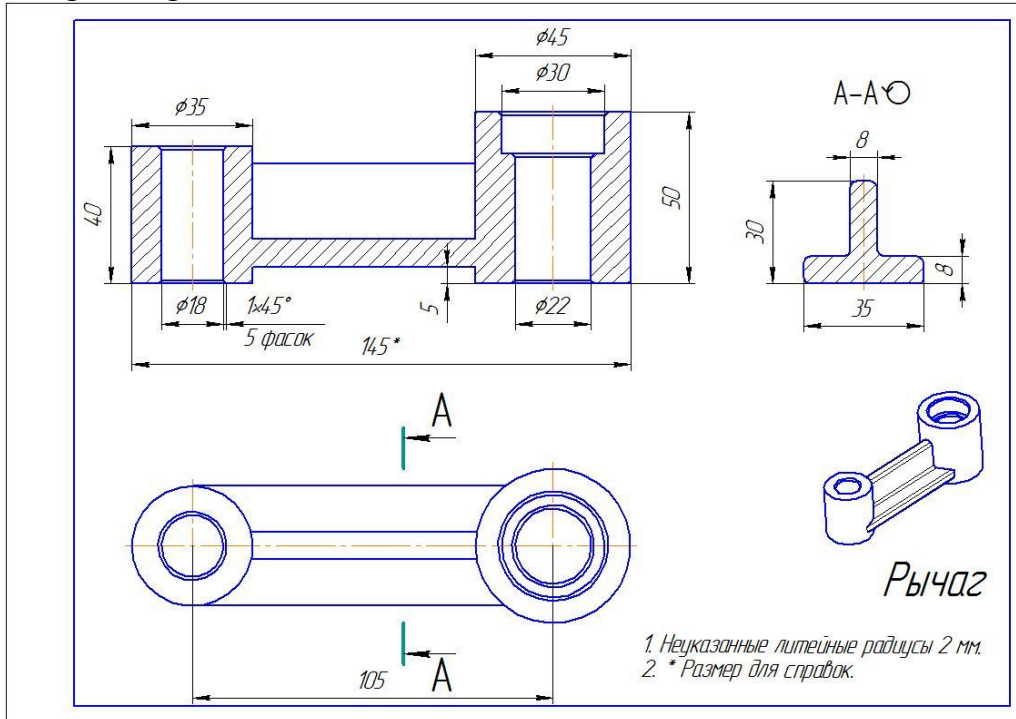


Рис. 12. Чертеж рычага

Задание 2. Выполнить прочностной расчет детали «Вилка» (рис. 13). Нагружение задать самостоятельно.

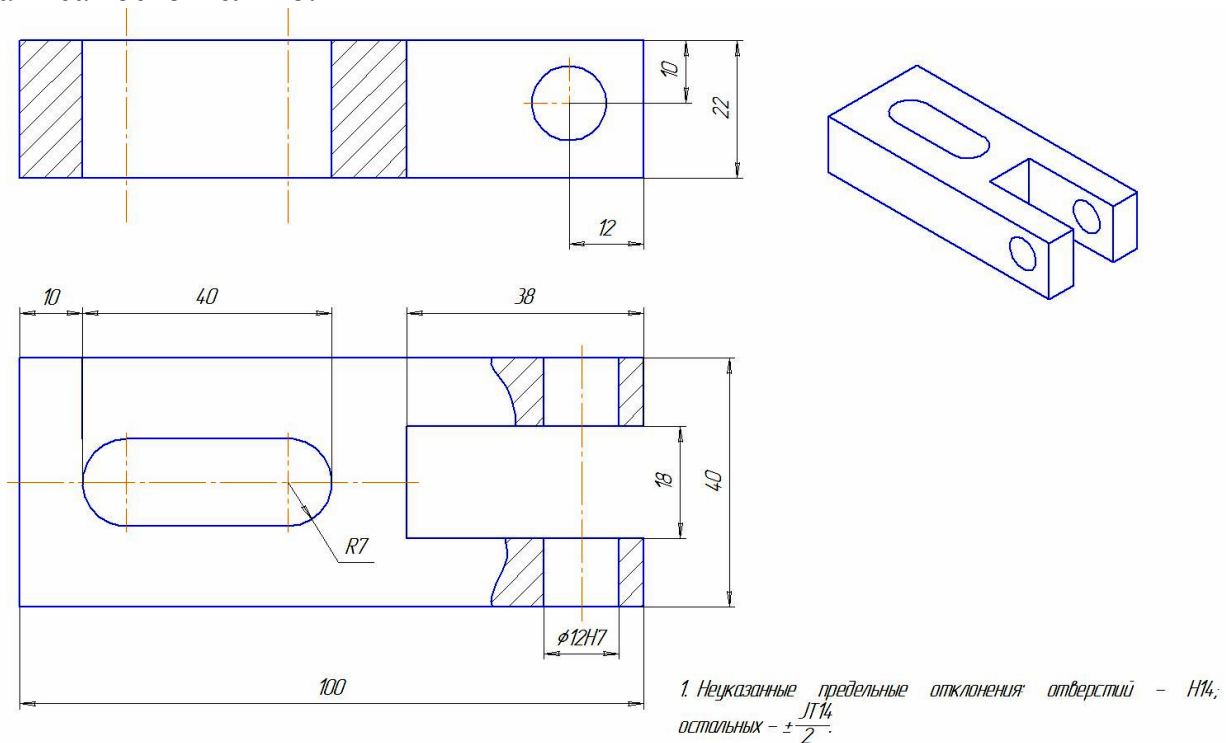


Рис. 13. Чертеж детали

Практическая работа №9. Расчет плоской фермы

Постановка задачи. Имеется ферма – конструкция, состоящая из стержней, соединенных между собой шарнирами (узлами фермы). Ферменная конструкция нагружена вертикальными силами, приложенными в шарнирах. Стержни испытывают осевые усилия растяжения (сжатия). Площадь поперечного сечения стержней $0,1 \text{ м}^2$. Материал всех стержней – сталь.

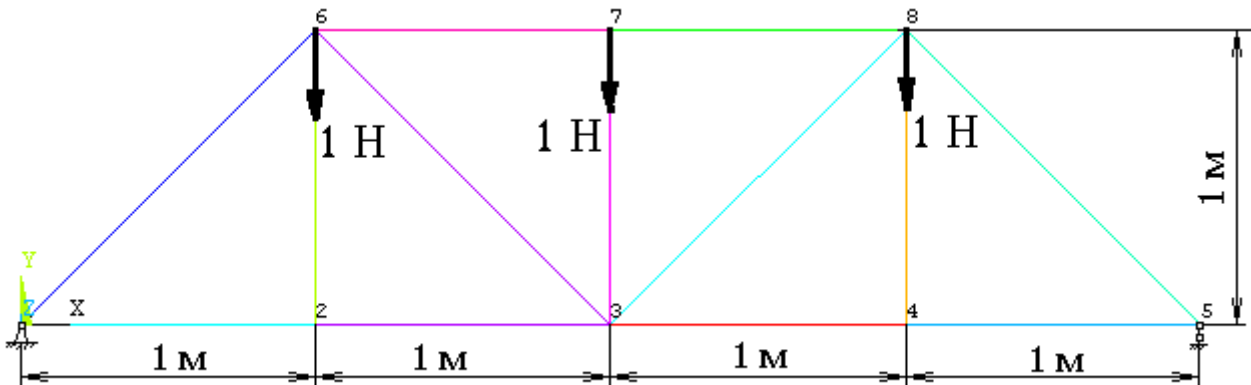


Рис.6. Расчетная схема фермы

Найти деформацию конструкции, реакции в опорных шарнирах, усилия и напряжения в стержнях.

Примечание. Ферменная конструкция с точки зрения геометрической модели представляет собой последовательность точек, соединенных линиями. Узлы конечно-элементной модели совпадают с узлами фермы, каждый стержень можно рассматривать как отдельный элемент модели.

Прядок решения

1. Создание точек.

Main Menu > Preprocessor > Modeling Create = Keypoints > In Active CS

В появившемся окне на первой строке – Keypoint number – указываем номер точки. Во второй строке – Location in active CS – вводим координаты точки.

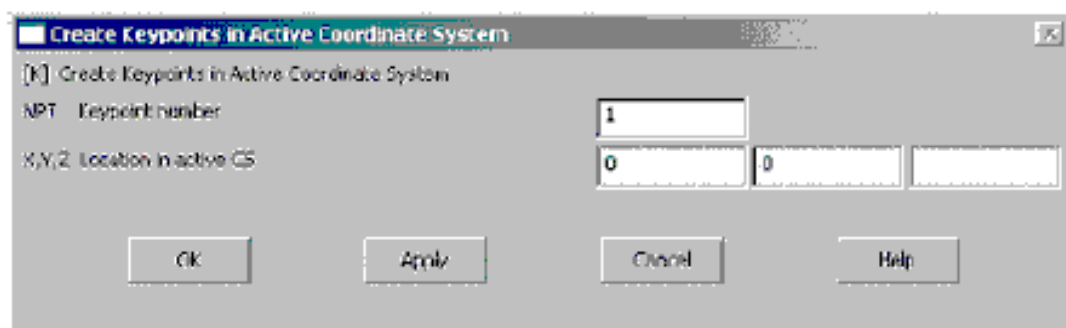


Рис. 7. Окно диалога для ввода координат точек

Таблица – Координаты точек, м

№ точки	X	Y	Z
1	0	0	0
2	1	0	0
3	2	0	0
4	3	0	0
5	4	0	0
6	1	1	0
7	2	1	0
8	3	1	0

При вводе точек от 1 до 8 нажимаем кнопку **Apply**, после введения последней точки нажимаем **OK**.

2. Соединение точек линиями.

Main Menu > Preprocessor > - Modeling > Create > -Lines – Lines > Straight Line.

Выделяем точку (щелчок мыши), направляем указатель «мыши» к другой точке и щелкаем на ней. При этом появится линия. Попарно выделяя необходимые точки, построим линии. После появления последней линии нажимаем **OK**. Получается геометрическая модель (рис. 8).

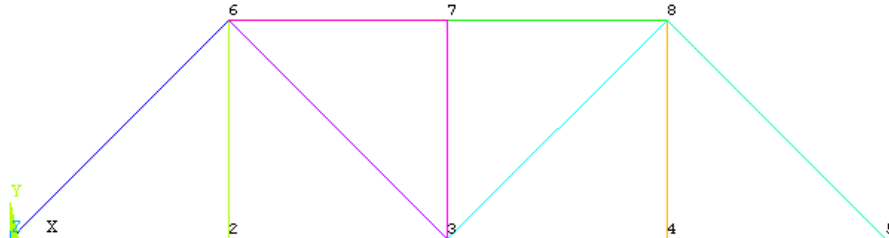


Рис. 8. Геометрическая модель

3. Задание типа элемента.

Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete ... > Add.

В появившемся окне выбираем слева элемент типа **Link**, справа вид элемента – **2D Spar** (это соответствует 2-хзловому плоскому элементу LINK1). Нажимаем **OK**.

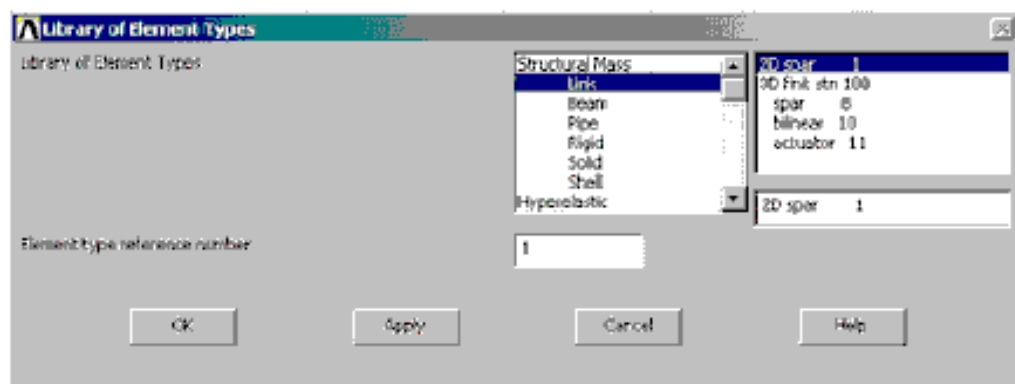


Рис. 10. Окно диалога для выбора КЭ

В окне Element Type нажимаем кнопку **Close**.

4. Установим константы элемента.

Main Menu > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete... > Add > OK.

В появившемся окне Real Constants нажимаем **Add**. В окне Element type for real constants – **OK**.

В окне Real Constants Set Number вводим в поле **Area** – площадь сечения балки – 0.1 . Нажимаем **OK > Close**.

5. Установим свойства материала.

Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models

В окне выбираем **Favorites > Linear Static > Linear Isotropic** .

В появившемся окне вводим: модуль Юнга EX – 2e11 и коэффициент Пуассона – Poisson's ratio (minor) PRXY – 0.3. **OK**.

6. Построение сетки.

Сначала необходимо задать количество элементов вдоль каждой линии. Для расчета ферм достаточно задать один элемент вдоль линии.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Size Cntrl > Manual Size > -Lines- > Picked Lines.

На панели нажимаем кнопку Pick All (выбрать все линии).

В появившемся окне Element Sizes on Picked Lines в строке No. of element division NDIV указываем число разбиений – 1. **OK**.

Далее

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh > -Lines

нажимаем Pick All.

7. Задание условий закрепления.

Для того чтобы корректно задать условия закрепления, необходимо знать, сколько степеней свободы необходимо закрепить и сколько степеней свободы в узле. У данного элемента LINK1 – 2 степени свободы в узле – это перемещения по координатам.

Main Menu > Solution > -Loads > Define Loads > Apply > -Structural > Displacement > On Nodes.

Выделяем «мышью» нижний левый узел фермы, нажимаем **OK**.

В появившемся окне Apply U, Rot on nodes выбираем нужное направление закрепления (в нашем случае UY, UX) и нажимаем **Apply**.

Повторяем операции с нижним правым узлом фермы. Здесь направление реакции UY.

8. Задание сил.

Main Menu > Solution > -Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Nodes.

Выделяем «мышью» верхний левый, верхний средний и верхний правый узлы фермы, нажимаем **OK**.

В появившемся окне Apply F/M on nodes в выпадающем меню Direction of force/moment задаем нужное силовое воздействие FY. Во второй строке Value задаем величину силы: -1. ОК.

Получаем модель с граничными условиями (рис. 10).

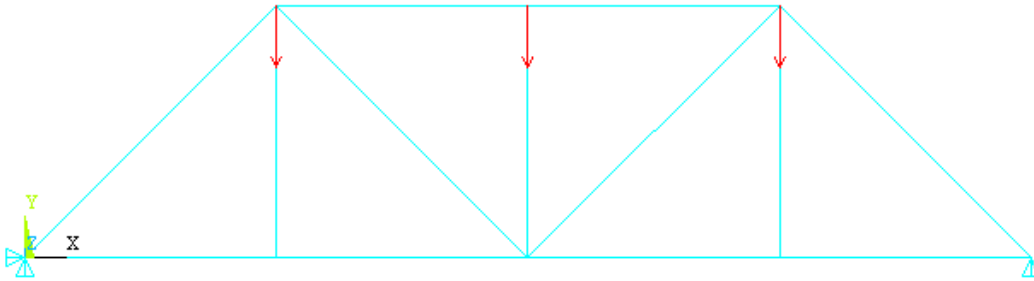


Рис. 10. Модель с граничными условиями

9. Запуск на счет.

Для этого необходимо выполнить:

Main Menu > Solution > Solve – Current LS > OK.

При правильном решении появится желтое окно – Solution is done! (задача решена).

10. Просмотр деформированного состояния балки.

Для этого:

Main Menu > General Postproc > -Read Results- First Set,

затем

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape.

В появившемся окне выбираем строчку Def+undeformed (т.е. отображать деформированную и недеформированную конструкцию) и нажимаем ОК.

Получаем картину деформаций (рис. 11).

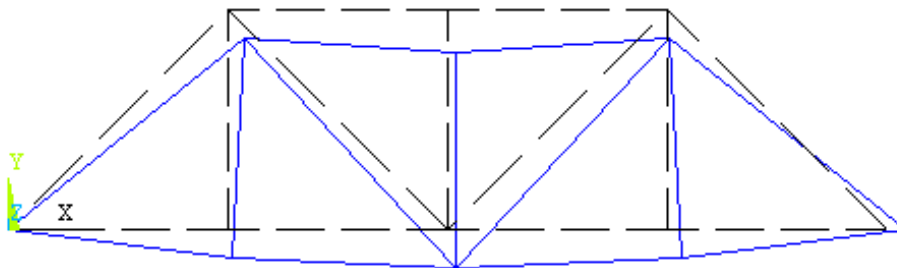


Рис. 11. Картина деформаций

11. Вывод реакций в опорных шарнирах.

Для этого:

Main Menu→ General Postproc→List Results→Reaction Solu.

Нажимаем ОК, просматриваем все реакций в появившемся окне. Close.

12. Вывод усилий в узлах фермы.

Для этого:

Main Menu→ General Postproc→List Results→Nodal Loads.

Нажимаем ОК, просматриваем все усилия в появившемся окне. Close.

13. Построение картины суммарных смещений по осям Y и X.

Main Menu>→General Postproc→Plot Results→Contour Plot→Nodal Solu > DOF Solution > Displacement vector sum.

14. Построение эпюр усилий и напряжений в стержнях.

Формируем таблицу значений вычисляемых параметров (рис. 12):

Main Menu>→General Postproc→Element Table→Define Table > Add..

В окне в поле User label for item (метка для переменной) задаем FI (сила в узле I элемента). В разделе Results data item (тип результата) слева выбрать By sequence num, а справа SMISC. В нижней части после запятой написать 1. Нажать Apply.

Повторяем операции, но в поле User label for item (метка для переменной) задаем FJ (сила в узле J элемента). В разделе Results data item (тип результата) слева выбрать By sequence num, а справа SMISC. В нижней части после запятой написать 1. Нажать Apply.

Эти переменные FI, FJ содержат значения усилий в узловых точках стержней фермы.

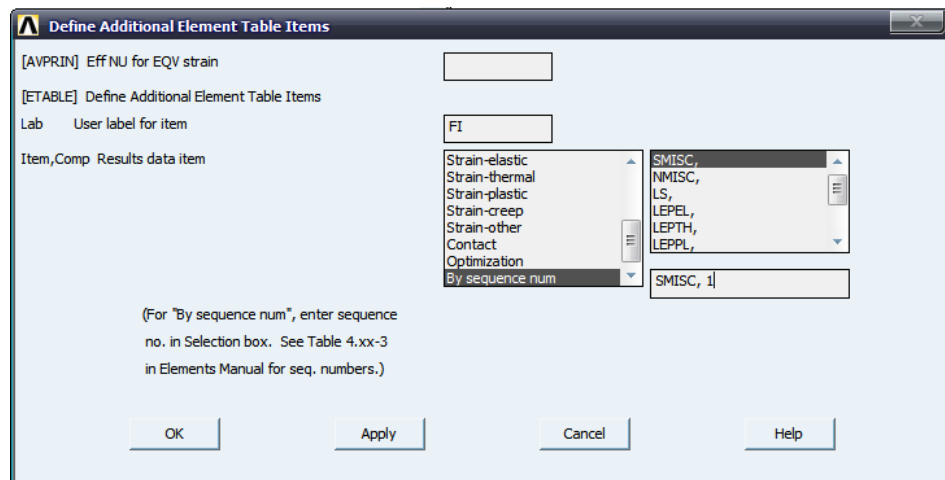


Рис. 12. Окно диалога для формирования таблицы параметров

Снова в окне в поле User label for item (метка для переменной) задаем SI (напряжение в узле I элемента). В разделе Results data item (тип результата) слева выбрать By sequence num, а справа LS. В нижней части после запятой написать 1. Нажать Apply.

Повторяем операции, но в поле User label for item (метка для переменной) задаем SJ (напряжение в узле J элемента). В разделе Results data item (тип результата) слева выбрать By sequence num, а справа LS. В нижней части после запятой написать 1. Нажать Apply.

Эти переменные содержат значения напряжений в узловых точках стержней фермы.

Вывод эпюр усилий в стержнях (рис. 13):

Main Menu>General Postproc>Plot Results>Contour Plot>Line Elem Res...

В поле LabI устанавливаем FI, в поле LabJ – FJ. Нажимаем OK.

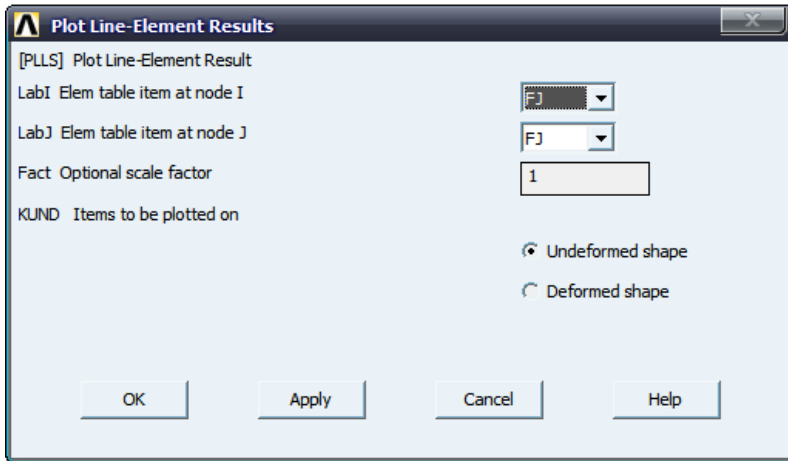


Рис. 13. Окно диалога для выбора параметров при построении эпюр

Получаем следующую эпюру внутренних усилий (рис. 14).

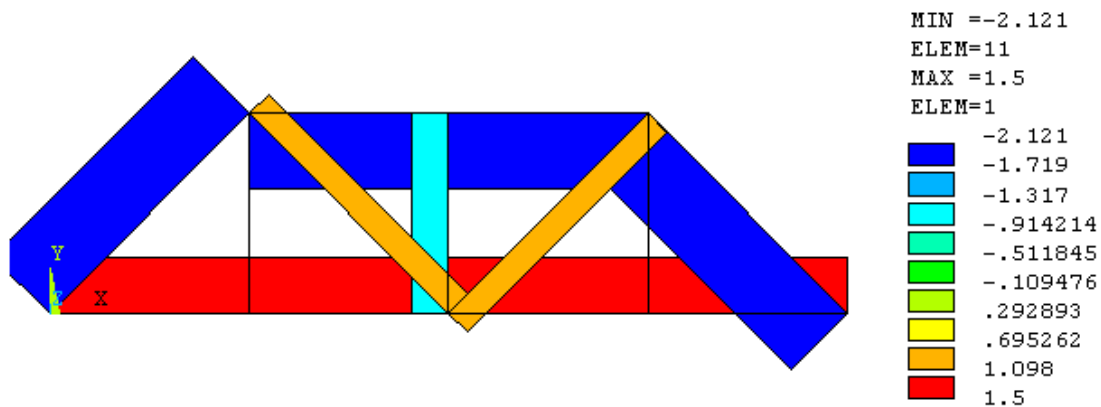


Рис. 14. Эпюра внутренних усилий в стержнях

Аналогично, для напряжений в стержнях:

Main Menu>General Postproc>Plot Results>Contour Plot>Line Elem Res...

В поле LabI устанавливаем SI, в поле LabJ – SJ. Нажимаем OK.

Задание.

Найти усилия и опорные реакции в стержнях фермы (рис. 15).

Исходные данные: $P_1 = 10$ кН, $P_2 = 20$ кН. Площадь поперечного сечения стержней $1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Материал стержней – сталь.

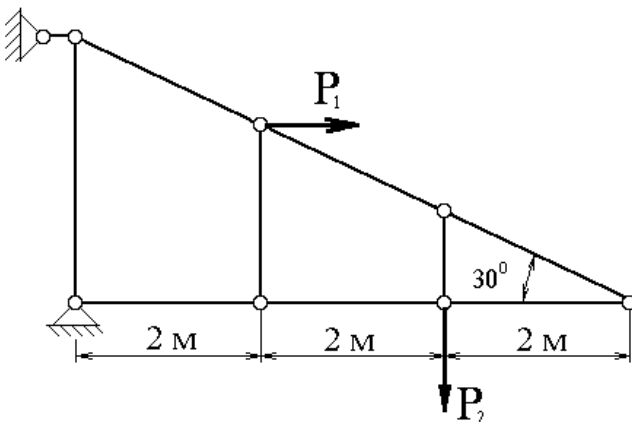


Рис. 15. Расчетная схема фермы

Практическая работа №10. Расчет пространственной рамы

Постановка задачи. Рассматривается пространственная рама (рис.16), которая шарнирно закреплена по четырем углам. На раму действуют: узловые силы $P = 1000$ Н и распределенная нагрузка $q=100$ Н/м.

Рамная конструкция сделана из различных материалов. Часть рамы, расположенная в горизонтальной плоскости, сделана из материала со свойствами: модуль Юнга $E=2 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона 0.3, плотность материала $\rho=7800$ кг/м³. Сечение – прямоугольник.

Часть рамы, имеющая криволинейные стержни в вертикальных плоскостях и стержень, их соединяющий, сделаны из материала со свойствами: $E=2.9 \cdot 10^{10}$ Па, коэффициент Пуассона 0.3, плотность материала $\rho=2700$ кг/м³. Сечение – квадрат.

Геометрические параметры рамы: $a=2$ м; $b=4$ м; $c=2$ м.

Геометрические параметры сечений: $B1=0.01$ м; $H1=0.03$ м.

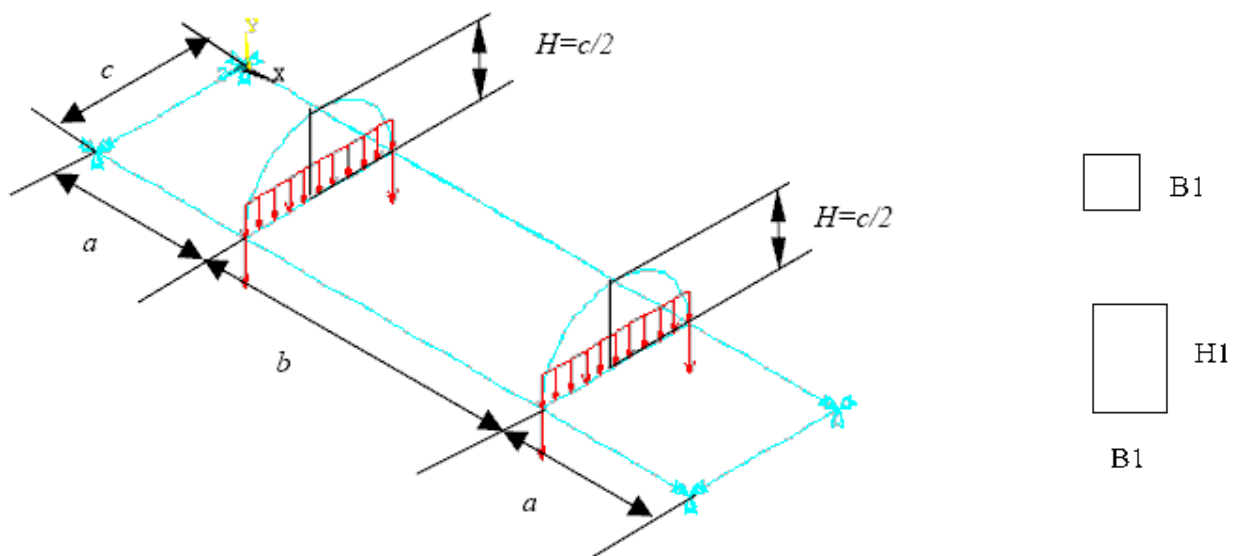


Рис.16. Схема рамы

В данной задаче изучается приложение различных видов нагрузок (узловой и распределенной) и учет веса конструкции. Для того чтобы рассмотреть влияние каждой, создается файл пошаговой нагрузки, и задача решается пошагово.

Решение задачи

1. Задание единиц измерения в командном окне_ /UNITS, SI
2. Задание скалярных параметров модели

Utility Menu>Parameters>Scalar Parameters...

В окне ввести:

- $a=2$ >Accept,
 $b=4$ >Accept,
 $c=2$ >Accept,

$b1=0.01$ > Accept,
 $h1=0.03$ > Accept,
 $P=1000$ > Accept,
 $q=100$ > Accept > Close.

3. Задание ключевых точек

Main Menu > Preprocessor > Modeling Create = Keypoints > In Active CS

В появившемся окне на первой строке – Keypoint number – указываем номер точки. Во второй строке – Location in active CS – вводим координаты точки.

Таблица – Координаты точек, м

№ точки	X	Y	Z
1	0	0	0
2	0	0	c
3	$b+2*a$	0	0
4	$b+2*a$	0	c
5	a	0	c
6	a	0	0
7	a+b	0	0
8	a+b	0	c
9	a	c/2	c/2
10	a+b	c/2	c/2
11	a	$c*\sqrt{2}/4$	$c/2 - c*\sqrt{2}/4$
12	a	$c*\sqrt{2}/4$	$c/2 + c*\sqrt{2}/4$
13	a+b	$c*\sqrt{2}/4$	$c/2 - c*\sqrt{2}/4$
14	a+b	$c*\sqrt{2}/4$	$c/2 + c*\sqrt{2}/4$

При вводе точек от 1 до 14 нажимаем кнопку **Apply**, после введения последней точки нажимаем **OK**.

4. Построение линий

Main Menu > Preprocessor > - Modeling > Create > -Lines – Lines > Straight Line.

Указываем пары точек для построения линий:

точки 1 и 2,
 точки 2 и 5,
 точки 5 и 8,
 точки 8 и 4,
 точки 4 и 3,
 точки 3 и 7,
 точки 7 и 6,
 точки 6 и 1,
 точки 5 и 6,
 точки 8 и 7,
 точки 9 и 10.

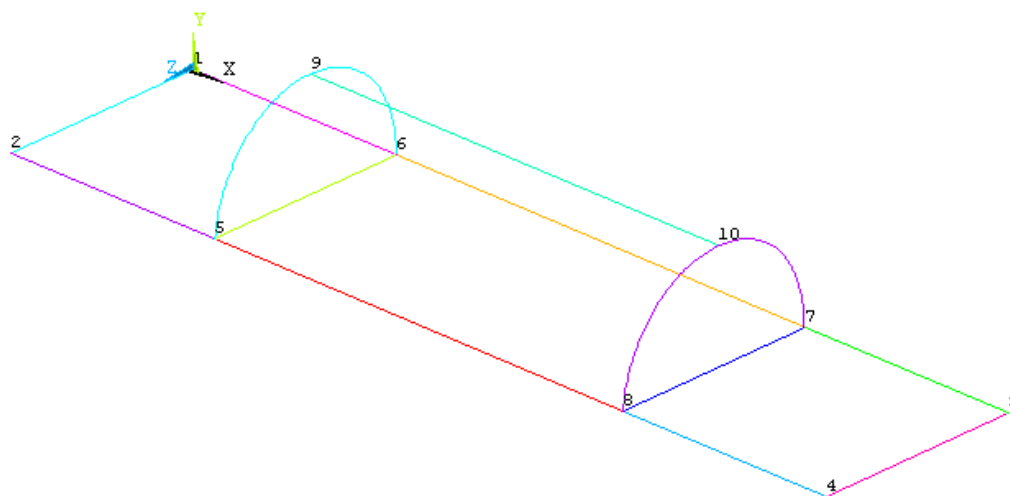


Рис. 17. Геометрическая модель

5. Построение дуг – сплайнов

Main Menu > Preprocessor > - Modeling > Create > -Lines – Splines > Spline thru KPs.

Указать точки с номерами 5,12,9,11,6 . Нажать Apply.

Указать точки с номерами 8,14,10,13,7. Нажать OK.

6. Склеивание линий (для того, чтобы воспринимать конструкцию как единое целое)

Main Menu > Preprocessor > - Modeling > Operate > Booleans > Glue > Lines.

Нажать **Pick All**.

7. Задание свойств материала

Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models

В окне выбираем **Favorites > Linear Static > Linear Isotropic** .

В появившемся окне вводим для первого набора данных:

модуль Юнга $E = 2e11$, коэффициент Пуассона – Poisson's ratio (minor) $\nu = 0.3$, плотность $DENS = 7800$. Нажать Apply.

Для второго набора данных (number 2), OK:

модуль Юнга $E = 2.9e10$, коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$, плотность $DENS = 2700$. Нажать OK.

8. Установки изометрического изображения.

Utility Menu > PlotCtrls > Pan Zoom Rotate ...

Нажать кнопку **Iso**.

9. Прорисование линий.

Utility Menu > Plot > Lines.

10. Задание типа и опций элемента

Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete ... > Add.

В левой части окна выбрать **Structural Beam**; в правой части выбрать **3D elastic 4**. Нажать **OK**. Будет выбран конечный элемент типа **BEAM4**.

В окне *Element Types* выбрать **Options** (свойства элемента) и для опции **K9** задать значение 9 intermed pts (для построения эпюр использовать 9 промежуточных точек в каждом элементе). Нажать **OK** для закрытия окна *Element Type options*. Нажать **Close** для закрытия окна *Element Types*.

11. Задание констант элемента.

Main Menu > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete... > Add > OK.

В появившемся окне Real Constants нажимаем **Add**. В окне Element type for real constants – **OK**.

В окне Real Constants Set Number ввести:

Set No. – 1 (первое сечение)

AREA (Площадь) – $B1 * H1$

Момент инерции сечения $IZZ = (B1 * H1 ** 3) / 12$

Момент инерции сечения IYY – $(H1*B1**3)/12$

Высота сечения вдоль оси z THZ – B1

Высота сечения вдоль оси y THY – H1

Угол поворота сечения вдоль продольной оси THETA – -90

Начальная деформация ISTRN – 0

Полярный момент инерции сечения IXX – $(H1*B1**3)/12+(B1*H1**3)/12$

Нажать **Apply**. Задать параметры второго сечения:

Set No. – 2

AREA (Площадь) – $B1*B1$

Момент инерции сечения IZZ – $(B1**4)/12$

Момент инерции сечения IYY – $(B1**4)/12$

Высота сечения вдоль оси z THZ – B1

Высота сечения вдоль оси y THY – B1

Угол поворота сечения вдоль продольной оси THETA – 0

Начальная деформация ISTRN – 0

Полярный момент инерции сечения IXX – $(B1**4)/6$

Нажать **OK. Close**.

12. Присвоение атрибутов линиям

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Line.

Указать все линии, расположенный в горизонтальной плоскости. Нажать **OK**. В появившемся окне установить:

MAT 1

REAL 1

TYPE BEAM4.

Нажать **Apply**.

Указать линии сплайнов и линию, их соединяющую. Нажать **OK**. В появившемся окне установить:

MAT 2

REAL 2

TYPE BEAM4.

Нажать **OK**.

13. Задание числа разбиений на элементы.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > Manual Size > -Lines > Picked Lines.

Указать все горизонтальные линии и линию, соединяющую сплайны. Нажать **OK**. В появившемся окне в строке No. of element division NDIV указываем число разбиений **10**. Нажать **Apply**. Указать линии сплайнов (4 дуги). В появившемся окне в строке No. of element division NDIV указываем число разбиений **5**. Нажать **OK**.

14. Построение сетки.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines

Нажать **Pick All**.

15. Нумерация линий по свойствам материала.

Utility Menu → PlotCtrls → Numbering.

В строке **Elem / Attrib number** выбрать **Material Numbers**. Нажать **OK**.

16. Просмотр формы сечения.

Utility Menu → PlotCtrls → Style → Size and Shape.

Включить опцию **Display of element**. Нажать **OK**.

Вызвать панель **Utility Menu > PlotCtrls > Pan Zoom Rotate**.

Выбрать **Box Zoom** и растянуть «мышью» область около какого-либо узла (рис. 18).

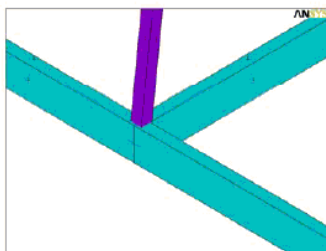


Рис. 18. Модель с изображением поперечного сечения стержней

17. Закрепление узлов.

Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Nodes.

Выбрать точки с номерами 1, 2, 3, 4. Нажать **OK**.

В появившемся окне выбрать направления **UX,UY,UZ**. Нажать **OK**.

18. Задание сосредоточенных сил.

Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Nodes.

Указать точки 5, 6, 7, 8. Нажать **OK**.

В появившемся окне выбрать направление силы **FY** и задать ее величину в поле **Value** равной **-P**. Нажать **OK**.

19. Запись приложенной нагрузки в файл, как первого шага нагружения.

Main Menu > Solution > Load Step Opts > Write LS File

В появившемся окне задать **1**. Нажать **OK**.

20. Приложение распределенной нагрузки.

Вначале следует выделить элементы линий, на которых приложена распределенная нагрузка. Воспользуемся для этого **инструментами выбора элементов**.

Utility Menu > Select > Entities...

В верхней части установить **Lines**, затем **By Num/Pick / From Full / Apply...**

Указать линии, соединяющие точки 5 и 6, и точки 7 и 8. Нажать **OK**.

Далее в диалоговом окне **Select Entities** указать **Elements, Attached to Areas, all**. Нажать **OK**.

Отобразить эти элементы **Utility Menu > Plot > Elements**.

Приложить распределенную нагрузку к каждому балочному элементу:

Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Beams.

В появившемся окне в строке VALI ввести значение распределенной нагрузки q , а в VALJ тоже q . Нажать **OK**.

Выбрать все.

Utility Menu > Select > Everything.

21. Запись приложенной нагрузки в файл, как второго шага нагружения.

Main Menu > Solution > Load Step Opts > Write LS File

В появившемся окне задать **2**. Нажать **OK**.

22. Учет веса конструкции, производится с помощью задания ускорения по оси Y.

Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Inertia > Gravity > Global.

В поле Y ввести **9.81**, нажать **OK**.

23. Запись приложенной нагрузки, как третьего шага нагружения.

Main Menu > Solution > Load Step Opts > Write LS File

В появившемся окне задать **3**. Нажать **OK**.

24. Запуск на счет записанных шагов нагружения с 1 по 3 с шагом 1.

Main Menu > Solution > Solve > From LS File.

В окне задать

LSMIN 1

LSMAX 3

LSINC 1.

Нажать **OK**.

Просмотр результатов расчета (поблочно).

25. Чтение первого набора результатов.

Main Menu > General Postproc > Read Results > First Set.

26. Просмотр деформированной формы.

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape.

27. Просмотр перемещений вдоль оси Y.

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solution > Y-Component of displacement.

28. Чтение второго набора результатов.

Main Menu > General Postproc > Read Results > Next Set.

29. Просмотр деформированной формы.

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape.

30. Просмотр перемещений вдоль оси Y.

Main Menu>General Postproc>Plot Results>Contour Plot>Nodal Solu > DOF Solution > Y-Component of displacement.

31. Чтение третьего набора результатов.

Main Menu > General Postproc > -Read Results > Next Set.

32. Просмотр деформированной формы.

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape.

33. Просмотр перемещений вдоль оси Y.

Main Menu>General Postproc>Plot Results>Contour Plot>Nodal Solu > DOF Solution > Y-Component of displacement.

34. Формирование таблиц значений.

Main Menu>General Postproc>Element Table>Define Table > Add..

В появившемся окне заполняем имена переменных в поле Lab и выбираем команды в разделе Results data item, дописываем номера переменных в соответствии с таблицей. После каждого набора значений необходимо нажимать кнопку **Apply**.

Таблица – Переменные для вывода результатов расчета

Имя переменной	Раздел команд	Команда	Комментарий
SMAXI	By sequence num	NMISC, 1	максимальные напряжения в узле i
SMAXJ	By sequence num	NMISC, 21	максимальные напряжения в узле j
FXI	By sequence num	SMISC, 1	усилия в узле i вдоль оси OX
FXJ	By sequence num	SMISC, 61	усилия в узле j вдоль оси OX
FYI	By sequence num	SMISC, 2	усилия в узле i вдоль оси OY
FYJ	By sequence num	SNMISC, 62	усилия в узле j вдоль оси OY
FZI	By sequence num	SMISC, 3	усилия в узле i вдоль оси OZ
FZJ	By sequence num	SMISC, 63	усилия в узле j вдоль оси OZ
MXI	By sequence num	SMISC, 4	момент в узле i вдоль оси OX
MXJ	By sequence num	SNMISC, 64	момент в узле j вдоль оси OX
MYI	By sequence num	SMISC, 5	момент в узле i вдоль оси OY
MYJ	By sequence num	SMISC, 65	момент в узле j вдоль оси OY
MZI	By sequence num	SMISC, 6	момент в узле i вдоль оси OZ
MZJ	By sequence num	SNMISC, 66	момент в узле j вдоль оси OZ

Нажать **Close**.

35. Построение эпюр.

Main Menu>General Postproc>Plot Results>Contour Plot>Line Elem Res...

Поочередно построить эпюры задавая имена переменных в полях LabI и LabJ (таблица). После ввода каждой пары следует нажимать **ОК**.

Таблица – Переменные для построения эпюр

Название эпюры	LabI	LabJ
максимальные напряжения	SMAXI	SMAXJ
усилия вдоль оси OX	FXI	FXJ
усилия вдоль оси OY	FYI	FYJ
усилия вдоль оси OZ	FZI	FZJ
момент вдоль оси OX	MXI	MXJ
момент вдоль оси OY	MYI	MYJ
момент вдоль оси OZ	MZI	MZJ

36.Просмотр значений реакций в закрепленных узлах

Main Menu > General Postproc > List Results > Reaction Solu.

В меню List Reaction Solution выбрать ОК. Результатом выполнения будет таблица значений реакций в зависимости от номера узла.

Практическая работа №11. Прочностной расчет вала

Задание.

Выполнить расчет вала (рис. 19) на прочность. Известно, что силы в зацеплении: $F_r = 2000$ Н; $F_t = 6700$ Н; $F_a = 1400$ Н. Крутящий момент $T = 1300$ Н·м. Необходимо:

1. Определить опорные реакции.
2. Построить эпюры изгибающих и крутящего момента.
3. Определить максимальную деформацию вала.
4. Определить максимальные напряжения и оценить запас прочности вала, если он изготовлен из стали 40Х, для которой предел текучести равен $\sigma_T = 800$ МПа.

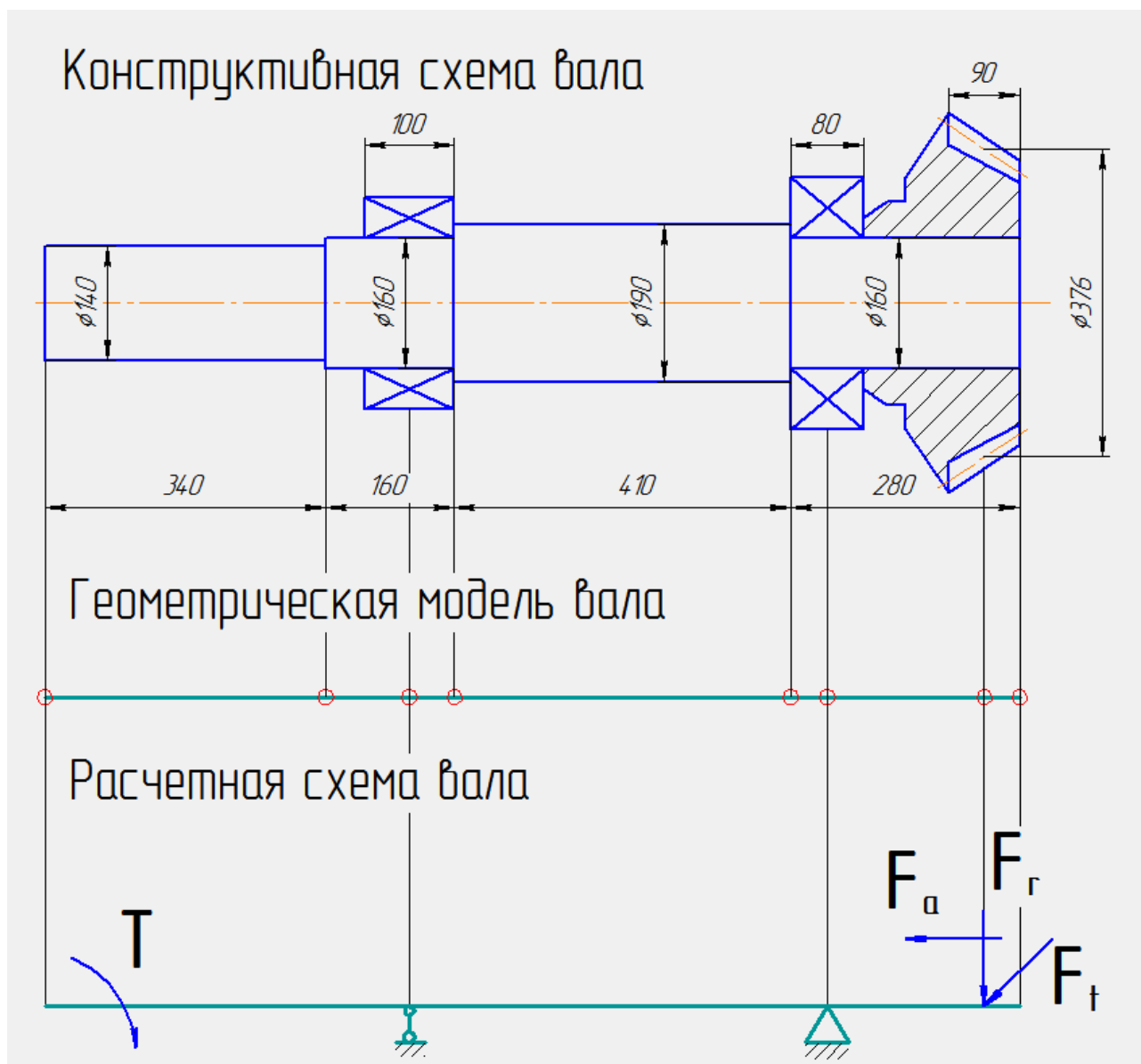


Рис. 19. Схемы для расчета вала на прочность

Ход расчета

1. Создание геометрической модели вала.

1.1 Построить точки

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS

1.2 Построить отрезки

Main Menu>Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line

2. Задание свойств материала.

Main Menu >Preprocessor>Material Props>Material Models

3. Выбор конечного элемента.

Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete – выбрать элемент BEAM188

4. Задание параметров поперечных сечений.

Main Menu>Preprocessor>Section>Beam>Common Section

Задать параметры для трех сечений с диаметрами 160, 140 и 190 мм.

5. Присвоение атрибутов отрезкам на геометрической модели.

Main Menu>Preprocessor>Meshing > Attributes> Define > Picked Lines

6. Задание размеров элементов или числа делений на отрезках.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > SizeCtrls > ManualSize > Lines > Picked Lines

(самостоятельно выбрать и задать либо размер элемента, либо количество делений)

7. Создание конечно-элементной модели вала.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines

8. Задание закреплений на подшипниковых опорах.

Main Menu > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints

9. Задание внешних сил и моментов.

Main Menu > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Keypoints

(самостоятельно задать окружную и радиальную силы, момент от осевой силы и крутящий момент)

10. Выполнение расчета.

Main Menu > Solution > Solve > Current LS

11. Просмотр результатов.

- 11.1 Просмотр внутренних усилий (проверка правильности расчета – сумма всех сил должна равняться нулю)

Main Menu > General Postproc > List Results > Nodal Loads

- 11.2 Просмотр деформированной формы вала.

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape

- 11.3 Просмотр реакций на опорах

Main Menu > General Postproc > List Results > Reaction Solu

12. Построение эпюр моментов

- 12.1 Создание таблицы вычисляемых параметров (таблица)

Main Menu > General Postproc > Element Table > Define Table > Add..

Таблица – Параметры для элемента **BEAM188**

Имя переменной	Раздел команд	Команда	Описание
MY_I MY_J	By sequence num	SMISC,2 SMISC,15	Изгибающий момент в вертикальной плоскости
MZ_I MZ_J	By sequence num	SMISC,3 SMISC,16	Изгибающий момент в горизонтальной плоскости
MX_I MX_J	By sequence num	SMISC,4 SMISC,17	Крутящий момент
SY_I SY_J	By sequence num	SMISC,32 SMISC,37	Изгибные напряжения на +Y стороне балки
SBY_I SBY_J	By sequence num	SMISC,33 SMISC,38	Изгибные напряжения на -Y стороне балки
SZ_I SZ_J	By sequence num	SMISC,34 SMISC,39	Изгибные напряжения на +Z стороне балки
SBZ_I SBZ_J	By sequence num	SMISC,35 SMISC,40	Изгибные напряжения на -Z стороне балки

- 12.2 Вывод эпюр

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res...

Практическая работа №12.

Распределение температуры в трубе с учетом симметрии

Определить распределение температуры в длинном стальном цилиндре (рис. 20) с внутренним радиусом 50 мм и внешним радиусом 100 мм. На внутренней поверхности цилиндра поддерживается температура $25^{\circ}\text{C} = 273^{\circ} + 25^{\circ} = 298^{\circ}\text{K}$, температура окружающей среды $5^{\circ}\text{C} = 5 + 273^{\circ} = 278^{\circ}\text{K}$ и коэффициент теплообмена 40 Вт/м·К. Коэффициент теплопроводности стали 47 Вт/м·К.

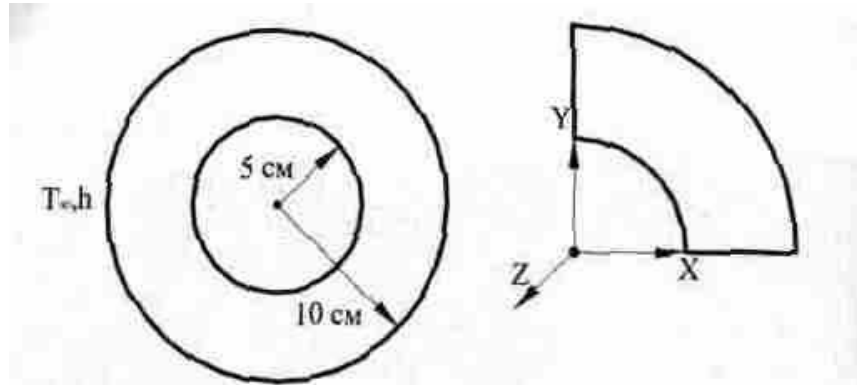


Рис. 20. Расчетная схема цилиндра

Как цилиндр, так и граничные условия обладают осевой симметрией, поэтому удобно моделировать распределение температуры в 1/4 части поперечного сечения цилиндра. На соответствующих границах задаются симметричные краевые условия – поток тепла через эти границы равен нулю. Необходимо подчеркнуть, что в силу осевой симметрии можно рассматривать сегмент любой величины (например, 15° или 25°), полагая на границах тепловой поток равным нулю.

Ход решения

1. Установка фильтров

Main Menu→Preferences

- а) выбрать Thermal, h-method;
- б) нажать ОК.

2. Выбор типа элементов

Поскольку границы сечения криволинейны, выберем для моделирования 8-узловой четырехугольный элемент PLANE77.

Main Menu→Preprocessor→Element Type→Add/Edit/Delete

- а) нажать Add;
- б) выбрать **Thermal Solid** в библиотеке элементов;
- в) выбрать **Quad 8 node 77** в окне Selection;
- г) ОК;
- д) в окне Element Types выбрать Close.

3. Свойства материала

Main Menu → Preprocessor → Material Props → Material Models

- а) в правой части окна выбрать **Thermal → Conductivity → Isotropic** (материал с номером 1);
- б) в появившемся окне в поле **KXX** ввести **47** для (коэффициент теплопроводности материала - сталь);
- в) нажать: **ОК**. Заккрыть окно свойств материала.

4. Создание геометрии модели

Ввиду симметрии задачи построим только первый квадрант поперечного сечения полого цилиндра.

MainMenu→Preprocessor→Modeling→Create→Areas→Circle→Partial Annulus

- а) в окне Part Annular Circ Area вводим координаты центра окружностей WPX=0, WPY=0, внутренний радиус Rad-1=0.05, внешний радиус Rad-2=0.1 и пределы изменения угла от 0° до 90°; Theta-1=0. Theta-2=90;
- б) нажать: **ОК**.

5. Построение сетки

На полученном сегменте построим упорядоченную (mapped) сетку. Для этого разобьем криволинейные линии на 8 частей, а радиальные границы на 5 частей.

Main Menu→Preprocessor→Meshing→Size Cntrls→Manual Size→Lines→Picked Lines

- а) мышью отметить внутреннюю и внешнюю части окружностей;
- б) **Apply**;
- в) в окне Element Sizes on Picked Lines указать число делений No. of element divisions=8;
- г) **Apply**;
- д) мышью отметить вертикальную и горизонтальную радиальные границы сегмента;
- е) **Apply**;
- ж) указать число делений в радиальном направлении No. of element divisions=5;
- з) нажать: **ОК**.

Main Menu→Preprocessor→Meshing→Mesh→Areas→Mapped→3 or 4 sided

- а) выбрать **Pick all**.

6. Задание граничных условий

- 1) задаем фиксированную температуру на внутренней поверхности цилиндра:

Main Menu→Preprocessor→Loads→Define Loads→Apply→Thermal→Temperatures→On Lines

- а) отметить мышью внутреннюю границу цилиндра;
- б) **Apply**;
- в) ввести значение температуры 298;
- г) нажать: **ОК**.

2) задаем конвективные граничные условия на внешней поверхности цилиндра:

Main Menu→Preprocessor→Loads→ Define Loads→Apply→Thermal→Convection → On Lines

- а) отметить мышью внешнюю границу цилиндра; Apply;
- б) в окне Apply Conv on lines ввести коэффициент теплообмена VALI Film coefficient = 40 и температуру внешней среды VAL2I Bulk temperature = 278;
- в) нажать: ОК.

3) на вертикальной и горизонтальной линиях симметрии задаем краевые условия – поток тепла через эти границы равен нулю:

Main Menu→Preprocessor→Loads→ Define Loads→Apply→Thermal→Heat Flux→ On Lines

- а) отмечаем мышью вертикальную и горизонтальную границы;
- б) Apply;
- в) вводим значение потока тепла VALUE Load FLUX value=0;
- г) нажать: ОК.

7. Решение задачи

Main Menu→Solution→Solve→Current LS

- а) проанализировать сообщение в информационном окне;
- б) нажать ОК для запуска программы на счет;
- в) Close в желтом окне с надписью Solution is done!

8. Анализ результатов

Для получения распределения температуры выполним команду:

Main Menu→General Postproc→Plot Results→Contour Plot→Nodal Solu

- а) в левом окне выбрать DOF Solution;
- б) в правом окне выбрать Temperature TEMP;
- в) нажать: ОК.

Для получения распределения теплового потока в теле цилиндра необходимо выполнить команду:

Main Menu→General Posproc→Plot Results→Vector Plot→Predefined

- а) в окне в левом поле выбираем Flux & gradient;
- б) в правом поле выбираем Thermal flux TF;
- в) отмечаем опции Vector Mode - тепловой поток показывать в виде стрелок;
- г) отмечаем Elem Centroid - каждая стрелка берет начало в центре элемента;
- д) нажать **ОК**.

Практическая работа №13.

Распространение тепла в трубах, состоящих из различных материалов

Труба квадратного поперечного сечения, показанная на рис. 21, состоит из двух различных материалов. Внутренний бетонный слой имеет теплопроводность $k=1,4$ Вт/м·К, внешний кирпичный слой имеет теплопроводность $k=0,8$ Вт/м·К. Температура горячего воздуха внутри трубы 80°C и коэффициент теплообмена $0,74$ Вт/м·К. Температура окружающей среды минус 10°C и коэффициент теплообмена $0,24$ Вт/м·К.

Требуется определить распределение температуры в бетонном и кирпичном слоях при стационарном процессе теплопередачи, а также построить график распределения тепловых потоков через каждый их слоев.

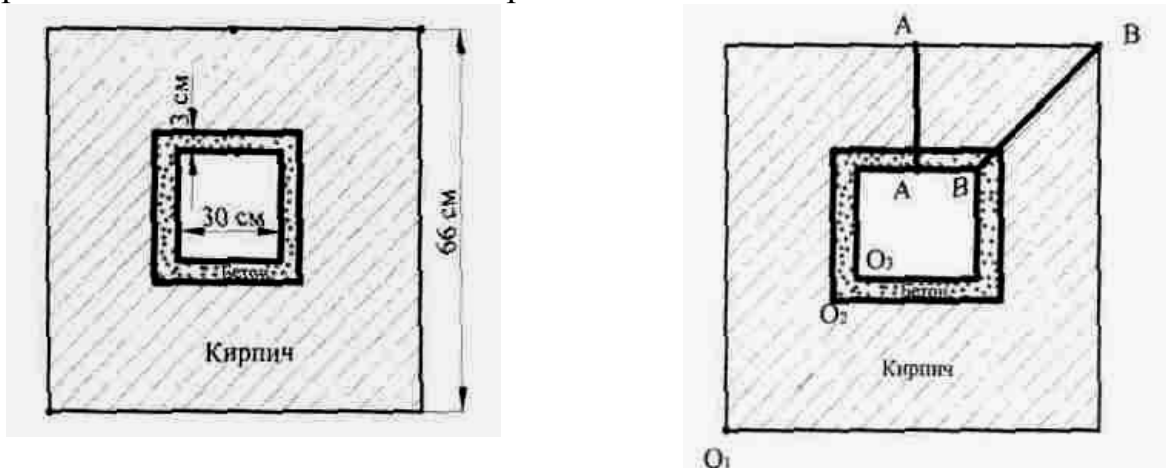


Рис. 21. Схема поперечного сечения трубы

Примечание. Координаты углов квадратов $O_1 (0;0)$, $O_2 (0.15; 0.15)$, $O_3(0.18;0.18)$. При задании температуры необходимо перейти к градусам Кельвина: $80^{\circ}\text{C} \rightarrow 273^{\circ} + 80^{\circ}=353^{\circ}\text{K}$, $-10^{\circ}\text{C} \rightarrow 273^{\circ}-10^{\circ}= 263^{\circ}\text{K}$.

Ход решения

1. Установка фильтров Main Menu → Preferences

- выбрать опцию: **Thermal** (выбрали задачу распространения тепла);
- нажать **OK**.

2. Выбор типа элементов

В данной задаче используется четырехугольный конечный элемент **PLANE55**.

Main Menu → Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete

- нажать: **Add** (добавить новый элемент);
- выбрать **Thermal Solid** в библиотеке элементов;
- выбрать **Quad 4 node 55** в окне Selection;
- OK**;
- в окне Element Type выбрать **Close**.

3. Свойства материала

Вводим значения коэффициентов теплопроводности для двух различных материалов бетона и кирпича.

Main Menu → Preprocessor → Material Props → Material Models

- а) в правой части окна выбрать **Thermal → Conductivity → Isotropic** (материал с номером 1);
- б) в появившемся окне в поле **KXX** ввести 1.4 для (коэффициент теплопроводности 1-го материала - бетона);
- в) нажать: **OK**;
- г) в левой части окна в меню выбрать **Material → New Model**;
- д) выбрать в левой части Material Model Number 2 (материал номер 2);
- е) в правой части окна выбрать **Thermal → Conductivity → Isotropic**
- ж) в появившемся окне в поле **KXX** ввести 0.8 для **KXX** (коэффициент теплопроводности 2-го материала - кирпича);
- з) закрыть окно свойств материалов.

Сохранить введенные данные: **Toolbar→SAVE_DB**

4. Создание геометрии модели

С помощью двух примитивов – прямоугольников – создадим модель кирпичного слоя трубы.

Main Menu→Preprocessor→Modeling→Create→Areas→Rectangle→By 2 Corners

- а) вводим координаты точки O_1 (левого нижнего угла прямоугольника) $X=0$, $Y=0$;
- б) вводим $Width=0.66$, $Height=0.66$;
- в) **Apply**;
- г) вводим координаты точки O_2 $X=0.15$, $Y=0.15$;
- д) вводим $Width=0.36$, $Height=0.36$;
- ж) нажать: **OK**.

Для того, чтобы создать кирпичный слой трубы воспользуемся булевой операцией вычитания площадей.

Main Menu→Preprocessor→Modeling→Operate→Booleans→Subtract→Areas

- а) отметить мышью область 1 (из которой производится вычитание);
- б) **Apply**;
- в) отметить мышью область 2 (которую вычитаем);
- г) **Apply**;
- д) нажать **OK**.

С помощью двух прямоугольников создадим модель бетонного слоя трубы.

Main Menu→Preprocessor→Modeling→Create→Areas→Rectangle→By 2 Corners

- а) вводим координаты точки O_2 $X=0.15$, $Y=0.15$;
- б) вводим $Width=0.36$, $Height=0.36$;
- в) **Apply** (получим область номер 4);
- г) вводим координаты точки $X=0.18$, $Y=0.18$;
- д) вводим $Width=0.30$, $Height=0.30$;
- е) нажать **OK** (получим область номер 5).

Для получения бетонного слоя трубы вычтем из области номер 4 область номер 5 с помощью команды

Main Menu→Preprocessor→Modeling→Operate→Booleans→Subtract→Areas

- а) отметить мышью область 4;
- б) **Apply**;
- в) отметить мышью область 5;
- г) нажать **OK**.

Для проверки правильности построения модели пронумеруем площади:

Utility Menu→PlotCtrls→Numbering...

- а) выбрать Area numbers;
- б) нажать: **OK**.

В результате прямоугольники выделены разным цветом и перенумерованы.

Показываем площади в графическом окне:

Utility Menu→Plot→Areas

Сохраним геометрию модели в файле базы данных: **Toolbar →SAVE_DB**.

5. Построение сетки

Установка размера элементов:

Main Menu→Preprocessor→Meshing→Size Ctrls→Manual Size→Global→Size

- а) в поле **Size** ввести 0.015;
- б) **OK**.

Прежде чем нанести конечно-элементную сетку, необходимо для целостности модели склеить площади с помощью булевой операции Glue:

Main Menu→Preprocessor→Modeling→Operate→Booleans→Glue→Areas

- а) выбрать **Pick All** (все имеющиеся площади);
- б) **OK**.

Припишем теперь бетонному и кирпичному слоям их материальные свойства (введенные раньше):

Main Menu→Preprocessor→Meshing→Mesh Attributes→Picked Areas

- а) отмечаем мышью слой бетона;
- б) **Apply**;
- в) слою присваивается Material Number – 1, Element type number – 1 Plane55;
- г) **OK**.

Main Menu→Preprocessor→ Meshing→Mesh Attributes→Picked Areas

- а) отмечаем мышью кирпичный слой;
- б) **Apply**;
- в) слою присваивается Material Number – 2, Element type number – 1 Plane55;
- г) **OK**.

Toolbar→SAVE_DB

6. Нанесение конечно–элементной сетки

Для областей сложной геометрии в ANSYS используется произвольная (Free) сетка:

Main Menu→Preprocessor→Meshing→Mesh→Areas→Free

а) выбрать Pick All (все имеющиеся области);

б) **OK**

7. Задание граничных условий

Переход в режим отрисовки линий

Utility Menu→Plot→Lines.

1) Задаем конвективный теплообмен и температуру на внутренней стороне трубы:

Main Menu→Solution→Define Loads→Apply→Thermal→Convection→On lines

а) отмечаем мышью четыре внутренние стороны трубы;

б) **OK**;

в) в открывшемся окне Apply Conv on lines вводим коэффициент теплообмена $VAL1=0.74$ и температуру $VAL2I=353$;

г) **OK**.

2) Задаем конвективный теплообмен и температуру на наружной стороне трубы:

Main Menu→Solution→ Define Loads →Apply→Thermal→Convection→On lines

а) отмечаем мышью четыре наружные стороны трубы;

б) **OK**;

в) в окне Apply Conv on lines вводим коэффициент теплообмена $VAL1=0.24$ и температуру наружного воздуха $VAL2I=263$;

г) **OK**.

Сохранить в введенные данные: **Toolbar→SAVE_DB.**

8. Решение задачи

Main Menu→Solution→Solve→Current LS

а) проанализировать сообщение в информационном окне и закрыть его;

б) нажать **OK** для запуска программы на счет;

в) нажать **Close** в окне с надписью Solution is done! (расчет окончен).

9. Анализ полученных результатов

Для получения распределения температуры по поперечному сечению трубы, выполним команду:

Main Menu→General Postproc→Plot Results→Contour Plot→Nodal Solu

а) в окне выбираем **Nodal Solution→DOF Solution→Nodal Temperature**

б) в нижнем поле выбираем Def shape only - показывать установившееся распределение температуры;

г) нажать **OK**.

Изотермы представлены в виде цветных полос. Рядом с рисунком дается легенда для расшифровки числовых значений температуры, а также указаны

максимальное и минимальное значение температуры.

Построим распределение теплового потока в векторном виде:

Main Menu→General Postproc→Plot Results→Vector Plot→Predefined

- а) в окне в левом поле выбираем Flux & gradient;
- б) в правом поле выбираем Thermal flux TF;
- в) отмечаем опции Vector Mode - тепловой поток показывать в виде стрелок;
- г) отмечаем Elem Centroid - каждая стрелка берет начало в центре элемента;
- д) нажать **ОК**.

Построим графики изменения градиентов температуры вдоль линии. Для этого определим путь А-А (см. рисунок) по двум точкам:

Utility Menu→Plot→Areas

Main Menu→General Postproc→Path Operations→Define Path→On Working Plane

- а) выбрать тип пути - Arbitrary path;
- б) отметить Yes в окне Plot Working Plane;
- в) отметить Yes в окне Show path on display;
- г) нажать **ОК**;
- д) отметить мышью две точки вдоль линии А-А, как показано на рисунке;
- е) **ОК**;
- ж) в окне On Working Plane вводим имя пути AA, nSets=30 (число данных, которые будут отображены на путь, по умолчанию - 30), nDiv=20 (число делений между ближайшими точками, по умолчанию - 20);
- з) нажать **ОК**.

Отобразим данные на путь:

Main Menu→General Postproc→Path Operations→Map onto Path

- а) ввести dTdX - метку, определяющую данные для отображения;
- б) в левом поле выбрать Flux & gradient;
- в) в правом поле выбрать Thermal grad TGX - градиент температуры dT/dX вдоль оси ОХ;
- г) **Apply**;
- д) ввести метку dTdY;
- е) в левом окне выбрать Flux & gradient;
- ж) в правом окне выбрать Thermal grad TGY - градиент температуры dT/dY вдоль оси ОУ;
- з) **Apply**;
- и) ввести метку Total Gra;
- к) в левом окне выбрать Flux & gradient;
- л) в правом окне выбрать Thermal grad TGSUM - модуль градиента температуры;
- м) отметить Yes в окне Average result across element - усреднять значения на элементе;
- н) нажать: **ОК**.

Построим график данных, отображенных на путь:

Main Menu→General Postproc→Path Operation→Plot Path Item→On Graph

а) отметить данные, отображенные на путь dT/dX, dT/dY, TotalGra;

б) нажать: ОК.

Получаем график изменения градиентов температуры вдоль пути А-А

Графики адекватно отображают физическую сущность задачи - ввиду симметрии задачи градиент температуры dT/dX вдоль пути А-А равен нулю, т.е. поток тепла в этом направлении отсутствует.

Аналогичным образом построить графики изменения градиентов температуры вдоль пути В-В.

Задание 1.

Определите распределение температуры в полем цилиндре, показанном на рис. 22. Внутренний диаметр цилиндра 20 мм, наружный диаметр цилиндра 80 мм, коэффициент теплопроводности $K_{XX} = 200$ Вт/м·К. На внутренней стороне цилиндра поддерживается температура 140°C , температура внешней среды $T_\infty = 30^\circ\text{C}$ и коэффициент теплообмена $h = 150000$ Вт/м²·К.

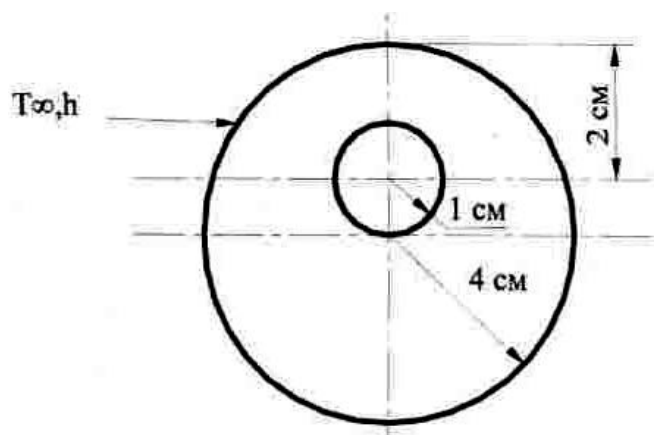


Рис.22. Расчетная схема

Задание 2.

Определите распределение температуры в двумерной детали, показанной на рис. 23. Постройте график изменения тепловых потоков вдоль линии А-А. Коэффициент теплопроводности $K_{XX} = 150$ Вт/м·К, температура на внутренней границе кругового отверстия поддерживается равной $T = 200^\circ\text{C}$.

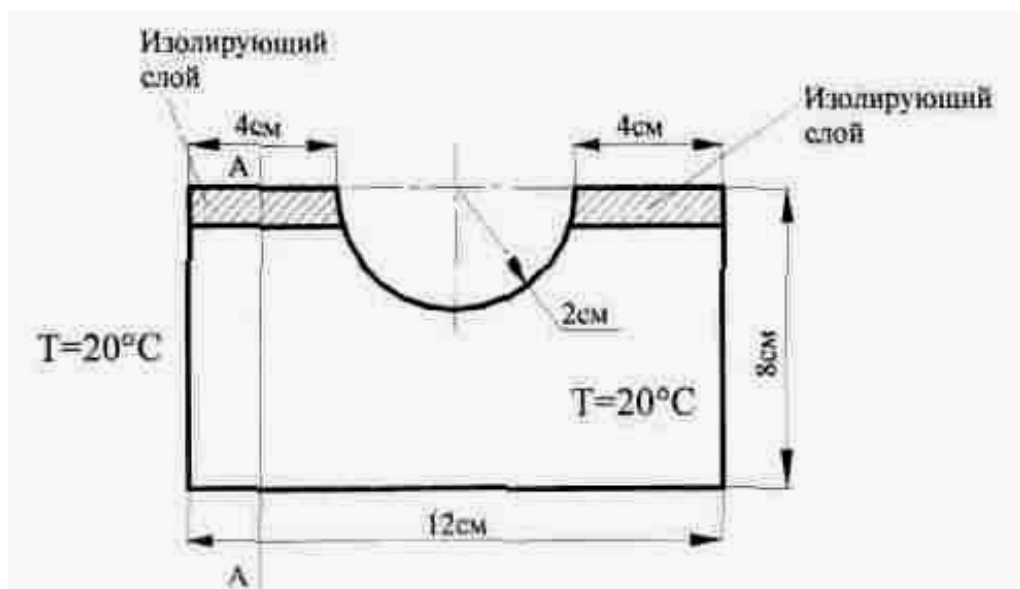


Рис. 23. Расчетная схема

Практическая работа № 14.

Температурные напряжения в телах при неоднородном изменении температуры

Рассмотрим расчет температурных напряжений, возникающих в теле в результате, неоднородного распределения температуры (предполагается, что начальные деформации и напряжения отсутствуют). Такого рода задачи решаются в два этапа:

1) на первом этапе создается геометрия модели, строится конечно-элементная сетка и решается задача двумерного распространения тепла. Результаты решения этой задачи сохраняются в файле `jobname.RTH` (результаты термического анализа).

2) на втором этапе удаляются тепловые нагрузки и тип элемента для решения задач распространения тепла (thermal) меняется на подходящий тип элемента для решения задач механики твердого деформируемого тела (structural). Вычисленные значения температуры, сохраненные в файле `jobname.RTH`, используются как внешняя тепловая нагрузка.

Стальной цилиндр длиной 40 см сферически закруглен с обоих концов (рис. 24). Внутренний радиус 50 мм, внешний радиус 100 мм. На внутренней поверхности цилиндра поддерживается температура 75°C , температура окружающей среды 40°C , коэффициент теплообмена $56 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Определить напряжения в цилиндре, обусловленные наличием температурных деформаций.

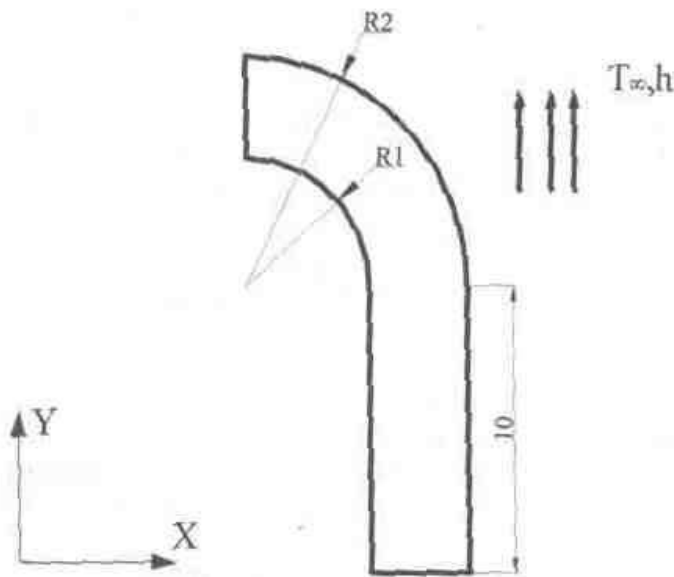


Рис. 24. Расчетная схема

Ход решения

1. Задать имя задачи

При запуске программы ANSYS в режиме Run Interactive ввести рабочую директорию и имя задачи (`jobname`) Thermal Stress (необходимо обратить внимание на этот шаг, поскольку при выполнении структурного анализа

необходимо будет обращаться к файлу результатов термического анализа Thermal Stress.RTH).

2. Установка фильтров

Main Menu → Preferences

а) выбрать Structural, Thermal, h-method; б) ОК.

3. Задание свойств материала

Main Menu → Preprocessor → Material Props → Constant → Isotropic

- а) ввести модуль Юнга $E_X=2e5$ и коэффициент Пуассона $PRXY=0.3$;
- б) ввести коэффициент температурного расширения стали $ALPX=1.2e-5$;
- в) ввести коэффициент теплопроводности $KXX=50$; г) ОК.

4. Создание геометрии модели

Ввиду осевой симметрии цилиндра достаточно рассмотреть только первый квадрант поперечного сечения. Он может быть построен с помощью двух примитивов прямоугольника и кругового сегмента. Построим прямоугольник:

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Areas → Rectangle → By 2 corners

- а) вводим координаты левого нижнего угла прямоугольника $X=50$, $Y=0$;
- б) вводим ширину $Width=50$ и высоту $Height=100$ прямоугольника; в) ОК.

Построим круговой сегмент:

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Areas → Circle → Partial Annulus

- а) вводим координаты центра окружностей $WPX=0.0$, $WPY=100$;
- б) вводим $R1=50$, $Thetal=0$, $R2=100$, $Theta2=90$; в) ОК,

Объединим построенные фигуры с помощью булевой операции Add areas:

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Operate → Booleans → Add → Areas

- а) отметить мышью сегмент и прямоугольник (или выбрать Pick All);
- б) ОК для слияния площадей.

Необходимо также объединить левые (и правые) вертикальную и криволинейную линии для создания непрерывной линии удобной для создания конечно-элементной сетки.

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Operate → Booleans → Add → Lines

- а) отметить мышью левые вертикальную и криволинейную линии; б) Apply;
- в) отметить мышью правые вертикальную и криволинейную линии; г) ОК для слияния линий.

5. Выбор типа элементов

Решаем задачу двумерного распространения тепла и используем конечный элемент PLANE77

Main Menu → Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete

- а) нажать Add;
- б) выбрать Thermal Solid в библиотеке элементов;

- в) выбрать Quad 8 node 77 в окне Selection; г) ОК;
- д) поскольку задача осесимметрична, то задаем опцию Options – Element behavior КЗ Axisymmetric; е) ОК;
- ж) в окне Element Types выбрать Close.

6. Построение сетки

На построенной модели построим упорядоченную (mapped) сетку. Для этого разобьем криволинейные линии на 20 частей, а прямолинейные - на 5 частей.

Main Menu → Preprocessor → Meshing → Size Cntrls → Manual Size → Lines → Picked Lines

- а) мышью отметить криволинейные линии; б) Apply;
 - в) в окне Element Size on Picked Lines ввести число делений No. of element divisions = 20; г) Apply;
 - д) мышью отметить прямолинейные линии; е) Apply;
 - ж) ввести число делений No. of element divisions = 5; з) ОК.
- Main Menu → Preprocessor → Meshing → Mesh → Areas → Mapped → 3 or 4 sided**
- а) выбрать Pick All.

7. Задание граничных условий

1) Задаем фиксированную температуру на внутренней поверхности цилиндра:

Main Menu → Preprocessor → Loads → Loads → Apply → Thermal → Temperature → On Lines

- а) отметить мышью внутреннюю границу цилиндра; б) Apply;
- в) ввести значение температуры 348; г) нажать ОК.

2) Задаем конвективные граничные условия на внешней поверхности цилиндра:

Main Menu → Preprocessor → Loads → Loads → Apply → Thermal → Convection → On Lines

- а) отметить мышью внешнюю границу цилиндра; б) Apply;
- в) ввести коэффициент теплообмена VAL1 Film coefficient=56 и температуру внешней среды VAL2I Bulk temperature=313; г) нажать ОК.

3) На вертикальной и горизонтальной линиях симметрии задаем краевые условия:

Main Menu → Preprocessor → Loads → Loads → Apply → Thermal → Heat Flux → On lines

- а) отмечаем мышью вертикальную и горизонтальную границы; б) Apply;
- в) вводим значение потока тепла VALUE Load FLUX value =0; г) нажать ОК.

8. Решение задачи

Main Menu → Solution → Solve → Current LS

- а) проанализировать сообщение в информационном окне File → Close;
- б) ОК для запуска программы на счет;
- в) Close в окне Solution is done! (проигнорировать предупреждение Warning "convection on or near a zero radius face").

9. Анализ результатов

Построить температурное поле в теле цилиндра:

Main Menu → General Postproc → Plot Results → Contour Plot → Nodal Solu

а) в левом окне выбрать DOF solution;

б) в правом окне выбрать Temperature TEMP; в) ОК.

10. Сохранить результаты вычисления температуры:

Utility Menu → File → Save as jobname.db

11. Удалить тепловую нагрузку:

Main Menu → Preprocessor → Loads → Define Loads → Delete → All Loads Data → All Loads & Opts → OK

12. Изменение типа элемента

Элемент PLANE77 заменяется на подходящий 8 узловой структурный элемент:

Main Menu → Preprocessor → Element Type → Switch Elem Type

а) выбрать Thermal to Struc в окне Change element type; б) ОК;

в) проигнорировать окно предупреждения Warning; г) Close.

13. Проверить, что выбран структурный элемент

Main Menu → Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete

а) в окне должен быть выбран элемент PLANE 82;

б) в окне Element Type выбрать Close.

14. Задание граничных условий

1) На вертикальной и горизонтальной линиях симметрии задаем краевые условия в перемещениях.

Main Menu → Preprocessor → Loads → Loads → Apply → Structural → Displacement → On Lines

а) отметить мышью вертикальную линию симметрии; б) Apply;

в) выбрать UX и ввести значение VALUE = 0; г) Apply;

д) отметить мышью горизонтальную линию симметрии; е) Apply;

ж) выбрать UY и ввести значение VALUE = 0; з) ОК.

2) Считаем значения температуры в каждом узле из файла Thermal Stress.RTH и рассмотрим это температурное поле как внешнюю тепловую нагрузку.

Main Menu → Preprocessor → Loads → Loads → Apply → Structural → Temperature → From Thermal Analysis

а) выбрать файл ThermalStress.RTH; б) ОК.

15. Решение задачи

Main Menu → Solution → Solve → Current LS

а) проанализировать сообщение в информационном окне; File→Close;

б) ОК для запуска программы на счет; в) Close в окне Solution is done!

16. Анализ результатов

Получим изолинии эквивалентных по Мизесу напряжений:

Main Menu → General Postprocessor → Plot Results → Contour Plot → Nodal Solu

а) в левом окне выбрать Stress;

б) в правом окне выбрать von Mises (SEQV); в) ОК.

Практическая работа №15

Температурные напряжения в телах, состоящих из различных материалов

При изменении температуры в телах, которые не могут свободно расширяться, возникают напряжения, обусловленные температурными деформациями.

Рассмотрим композитное тело, представляющее собой параллелепипед из материала 1, заключенный в оболочку из материала 2, как показано на рис. 25.

Материальные свойства материала 1: модуль Юнга $E=3 \cdot 10^4$ Н/мм², коэффициент Пуассона 0.3, коэффициент температурного расширения $10.3 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹.

Материальные свойства материала 2: модуль Юнга $2.5 \cdot 10^3$ Н/мм², коэффициент Пуассона 0.3, коэффициент температурного расширения $100 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹.

В начальном состоянии напряжения в теле отсутствуют, затем однородным образом композитное тело охлаждается до температуры минус 150°C.

Требуется определить наибольшие по абсолютной величине напряжения, возникающие в теле, вследствие понижения температуры.

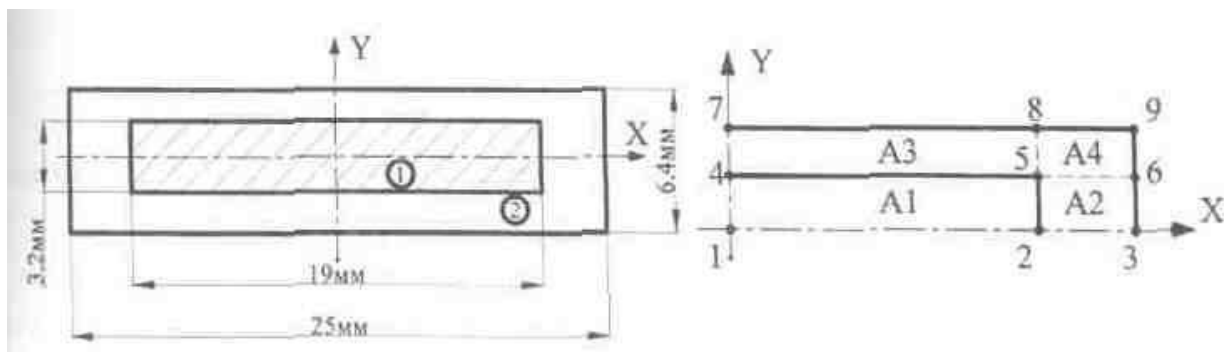


Рис. 25. Расчетная схема

В связи с наличием 2 осей симметрии можно рассматривать только 1/4 часть плоской модели. Рассчитаем координаты ключевых точек:

1(0, 0);	2(9.5, 0);	3(12.5, 0);
4(0, 1.6);	5(9.5, 1.6);	6(12.5, 1.6);
7(0.3, 2);	8(9.5, 3.2);	9(12.5, 3.2).

Ход решения

1. Создание геометрию первого квадранта модели.

С помощью команды построения прямоугольника по двум углам

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Areas → Rectangle → By Dimensions

самостоятельно создать 4 области – A1, A2, A3 и A4.

Применить к областям команду «склеивания» для создания общих границ:

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Operate → Booleans → Glue → Areas

выбрать Pick All.

Перенумеровать площади

Main Menu → Preprocessor → Numbering Ctrl → Compress Numbers

выбрать All.

Перерисовать площади **Utility Menu → Plot → Replot**

2. Задание свойств материалов.

Main Menu → Preprocessor → Material Props → Material Models

Structural → Linear → Isotropic

- а) нажать: OK (материал с номером 1);
- б) ввести $E=3e4$, $PRXY=0.3$, $ALPX=10.3e-6$;
- в) нажать: Apply;
- г) в поле Material Number ввести 2 (материал номер 2);
- з) ввести $E=2.5e3$, $PRXY=0.3$, $ALPX=100e-6$;
- е) нажать OK.

3. Выбор типа элементов

Main Menu → Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete

- а) нажать Add;
- б) выбрать Structural Solid в библиотеке элементов (решаем задачу деформируемого твердого тела, а температура в данной задаче рассматривается как внешняя нагрузка);
- в) выбрать Quad 8 node 82 в окне Selection;
- г) OK;
- д) по умолчанию используется опция Option - plane stress (плоское напряженное состояние);
- е) Close - закрыть окно Element Types.

4. Назначение свойств материала площадям

Припишем построенным площадям соответствующие материальные свойства.

Main Menu → Preprocessor → Meshing → Mesh Attributes → Define → Picked Areas

- а) отмечаем мышью площадь A1, Apply, ей автоматически приписываются свойства материала 1;
- б) OK;
- в) отмечаем мышью площадь A2, A3, A4, нажать Apply, и приписываем им свойства материала 2 Area attributes - Material number=2;
- г) OK.

5. Построение сетки

В задаче строится упорядоченная (mapped) сетка для модели.

Main Menu → Preprocessor → Meshing → Size Cntrl → Manual Size → Lines → Picked Lines

- а) отметить мышью 3 длинные горизонтальные линии прямоугольников A1 и A3;
- б) Apply;

в) в окне Element Sizes on Picked Lines указать число делений линий No. of element divisions = 12;

г) Apply;

д) отметить мышью все остальные линии;

е) Apply;

ж) указать число делений всех этих линий No. Of element divisions = 4;

з) OK.

Main Menu → Preprocessor → Mesh → Areas → Mapped → 3 or 4 sided

а) выбрать Pick All (построить упорядоченную сетку на всей модели).

Utility Menu → Plot → Replot

6. Задание нагрузок

1) Поскольку в точках на плоскостях симметрии (в плоском случае - на осях симметрии) соответствующие перемещения равны нулю, то необходимо задать на нижней границе $UY=0$ и на левой границе $UX=0$.

Main Menu → Preprocessor → Loads → Loads → Apply → Structural → Displacement → On lines

а) отмечаем мышью нижнюю границу модели; б) Apply;

в) выбрать UY (задается перемещение UY) и ввести VALUE=0; г) Apply;

д) отмечаем мышью левую границу модели; е) Apply;

ж) выбрать UX (задается перемещение UX) и ввести VALUE=0; з) OK.

2) Температура тела однородным образом понижается до минус 150°C . Зададим температуру в виде внешней нагрузки:

Main Menu → Preprocessor → Loads → Loads → Apply → Structural → Temperature → On Areas

а) выбрать Pick All (понижению температуры подвергается вся модель);

б) в окне Apply TEMP on Areas ввести значение VALUE = 123;

г) OK.

7. Решение задачи

Main Menu → Solution → Solve → Current LS

а) прочитав сообщение в окне The status windows, закрыть его, Close;

б) OK для запуска программы на счет;

в) после получения сообщения Solution is done! (Окончание счета) закрыть окно. Close.

8. Анализ полученных результатов

Main Menu → General Postproc → Plot Results → Deformed Shape

а) выбрать Def + undef edge;

б) OK.

На дисплее показана деформированная форма модели после однородного понижения температуры до минус 150°C .

Строим изолинии эквивалентных по Мизесу напряжений:

Main Menu → General Postproc → Plot Results → Contour Plot → Nodal Solu

- а) выбрать Stress в левом окне;
- б) выбрать von Mises (SEQV) в правом окне;
- в) ОК.

Задание 1.

Определите распределение температуры в двухслойном теле, показанном на рис. 26, а также максимальное значение эквивалентных по Мизесу напряжений,

Коэффициент теплопроводности первого материала $K_{XX}=100$ Вт/м·К, коэффициент теплопроводности второго материала $K_{XX}=1000$ Вт/м·К, температура нижней стороны тела 200°C , температура внешней среды на верхней стороне тела 20°C и коэффициент теплообмена $h=300000$ Вт/м²·К.

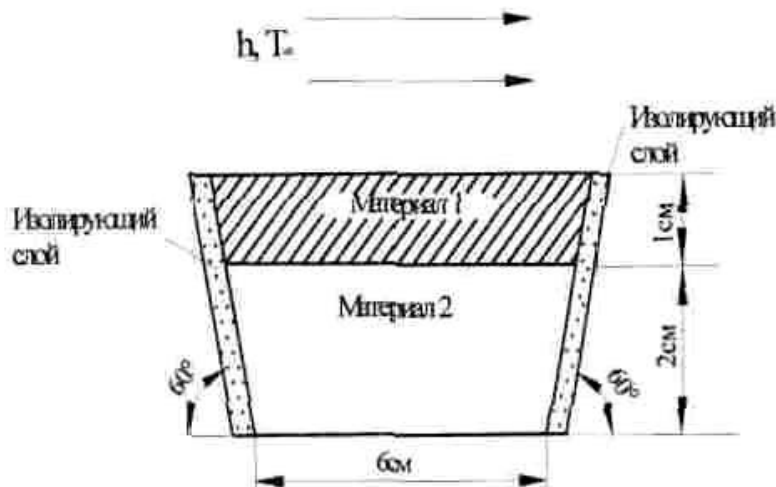


Рис. 26. Расчетная схема

Задание 2.

Стальной диск толщиной 1 мм и диаметром 80 мм имеет отверстие диаметром 20 мм, расположенное на расстоянии 10 мм от центра диска (рис. 27).

На внутренней поверхности отверстия поддерживается температура 75°C , температура окружающей среды 40°C , коэффициент теплообмена 56 Вт/м·К.

Определите распределение температуры в диске, а также максимальное значение эквивалентных по Мизесу напряжений, если до приложения тепловой нагрузки начальные деформации и напряжения отсутствуют.

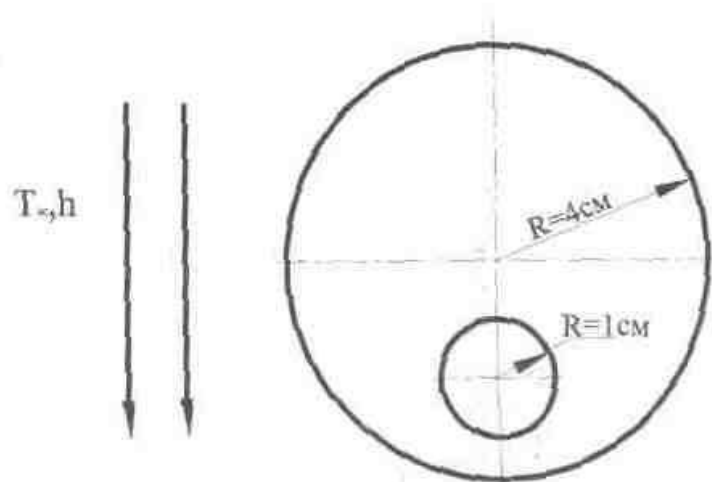


Рис. 27. Расчетная схема