

Министерство образования и науки Российской Федерации
Балтийский государственный технический университет «Военмех»

А. С. ПАВЛОВ

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЁРДОГО ТЕЛА В ПРОГРАММЕ ANSYS

Практикум

Санкт-Петербург
2014

УДК 539.3 (076.5)
П12

Павлов, А. С.

П12 Решение задач механики деформируемого твёрдого тела в программе ANSYS: практикум /
А. С. Павлов; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2014. – 34 с.
ISBN 978-5-85546-825-0

Предназначен для первоначального обучения работе в среде программы ANSYS на примерах решения задач механики деформируемого твёрдого тела. Приведены необходимые для решения предлагаемых задач сведения о возможностях программы ANSYS, а также результаты решений.

Может быть полезен при изучении курсов «Компьютерное проектирование изделий и технологий», «Основы численной технологической механики», «Строительная механика».

УДК 539.3 (076.5)

Рецензент канд. техн. наук, доц. БГТУ *И.А.Киселев*

*Утверждено
редакционно-издательским
советом университета*

ISBN 978-5-85546-825-0

© БГТУ, 2014
© А. С. Павлов, 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Пакет ANSYS предназначен для моделирования различных процессов в сплошных средах: деформирования тела под нагрузкой, движения жидкости и газа, теплопередачи и многих других.

Научиться работать в среде таких программ как ANSYS можно решая только большое количество задач и постепенно усложняя их содержание вначале с чьей-то помощью, а позже обязательно самостоятельно.

В настоящем практикуме описаны возможности пакета ANSYS для решения задач механики деформируемого твёрдого тела (МДТТ). Изучать пакет ANSYS и решать задачи следует под руководством преподавателя, который может при необходимости скорректировать действия и сформулировать дополнительные варианты предлагаемых задач.

Практикум содержит задачи по расчёту напряжённо-деформированного состояния (НДС) деталей простой формы основных типов, изучаемых в курсах сопротивления материалов и строительной механики: стержней, трёхмерных тел, пластинок и оболочек.

Все данные для расчета следует вводить в программу в системе единиц СИ.

Для постановки и решения задач МДТТ в среде ANSYS и правильного понимания результатов решения необходимо хорошо знать курс «Сопротивление материалов».

1. РАСЧЁТНАЯ МОДЕЛЬ КОНСТРУКЦИИ. СОСТАВ РАСЧЁТНОЙ МОДЕЛИ

Решение любой задачи МДТТ начинается с формирования расчётной модели конструкции (расчётной схемы).

Основными составляющими модели поведения конструкции под нагрузкой являются её геометрические характеристики – размеры и форма, физико-механические свойства материалов, из которых она изготовлена, а также закрепление и внешние нагрузки, приложенные к конструкции.

Эти компоненты модели представляют собой естественные исходные данные задачи и должны быть введены в программу ANSYS.

Задачи МДТТ в ANSYS решаются методом конечных элементов (МКЭ). Он состоит в том, что исследуемое тело, в общем случае трёхмерное и сложной формы, мысленно делится на части простой формы, например на тетраэдры или параллелепипеды – конечные элементы. Размеры конечных элементов можно подобрать такими, что в пределах каждого из них решение можно представить очень простой функцией. Чаще всего линейной или квадратичной.

Конечные элементы связаны между собой и взаимодействуют только в некоторых определённых точках – узлах. Поэтому в узлах возникают узловые силы и есть узловые перемещения. В МКЭ различными способами устанавливается связь между узловыми силами и узловыми перемещениями элемента. Эту связь можно рассматривать как соотношение упругости между узловыми силами и узловыми перемещениями или как условие равновесия отдельного конечного элемента. Условие равновесия всего тела получается суммированием уравнений равновесия всех конечных элементов. В окончательном виде это условие представляет собой систему линейных алгебраических уравнений относительно (в ANSYS) перемещений узлов. Найденные перемещения узлов полностью определяют деформированное состояние тела. По известным перемещениям можно найти напряжения и все другие компоненты НДС.

Таким образом, в МКЭ реальная конструкция заменяется ансамблем конечных элементов, обладающим такими же деформационными свойствами, что и исходная конструкция. Поэтому сетка конечных

элементов также является компонентом расчётной модели. Она заменяет в модели задачи исходную конструкцию.

Результат моделирования поведения тела под нагрузкой заключается в определении перемещений, деформаций и напряжений во всех его точках.

Расчётная модель конструкции формируется в нескольких разделах препроцессора ANSYS.

Основные составляющие расчётной модели следующие.

Геометрическая модель строится в графическом редакторе ANSYS. Создание геометрической модели может выполняться как снизу вверх (чаще всего), т. е. начинаться с построения точек, линий и заканчиваться построением объёмов, так и в обратном порядке.

Некоторые геометрические параметры, такие как сечения стержней, толщины оболочек, структура толщин слоистых оболочек, задаются отдельно от построения основной геометрии детали (не в графической среде).

Модель материала. Самая простая механическая модель упругого изотропного материала включает в себя два параметра. Например, модуль упругости и коэффициент Пуассона.

Закрепления и нагрузки. Закрепления – это ограничения перемещений по направлениям, известным из условий работы конструкции. Закрепления должны быть заданы так, чтобы конструкция не могла перемещаться как твёрдое тело, без деформаций. В необходимых случаях могут быть заданы и отличные от нуля перемещения.

Могут быть указаны закрепления геометрических элементов: точек, линий, площадей. Могут быть закреплены узлы конечноэлементной модели.

К внешним нагрузкам относятся давление (прикладывается к поверхностям, линиям), силы и моменты (прикладываются к точкам, узлам), температурные перепады, массовые силы (в виде ускорений, при этом должна быть введена плотность материала детали).

Конечные элементы. По размерностям задач, для которых предназначены конечные элементы, они делятся на элементы балок, трёхмерных тел, пластинок и оболочек. Группы этих элементов в ANSYS обозначаются соответственно BEAM, SOLID, SHELL.

В некоторых случаях расчёт трёхмерных тел может быть сведён к двумерным задачам – плоским и осесимметричным. Их решение зависит только от двух координат. Для этих задач используются элементы, которые входят в группу SOLID и составляют подгруппу PLANE. Область плоской задачи представляет собой плоское пространство в координатах X, Y.

Идентификатор элемента состоит из имени группы или подгруппы и уникального номера. Например, PLANE82 – элемент для двумерной задачи.

Оболочечные элементы группы SHELL так же, как и элементы PLANE, двумерные, но оболочки, для расчёта которых они служат, занимают область в трёхмерном пространстве. Эта область (в графическом редакторе ANSYS) не имеет видимой толщины. Толщина или её слоистая структура задаются отдельно. Решение же для оболочек зависит от трёх координат.

Элементы различаются порядком функции, которой задаются перемещения на элементе. Эти функции чаще всего бывают первого и второго порядка. Элементы первого порядка имеют узлы в вершинах элемента, а второго порядка имеют узлы ещё и на рёбрах элемента.

Трёхмерные элементы по основной форме могут быть шестигранными (brick), тетраэдральными (tet) и плоскими четырёхсторонними (quad, подгруппа PLANE).

Конечные элементы могут приобретать вырожденную форму, которая допустима. Она получается при генерации сетки конечных элементов в местах детали, имеющих сложную геометрию, объединением нескольких узлов в один. При этом основная форма шестигранных элементов может стать пятигранной и четырёхгранной, а основная форма четырёхсторонних элементов (PLANE или SHELL) вырождается в треугольную.

Некоторые конечные элементы, необходимые для решения задач:

LINK8, LINK180 – стержневые элементы, работающие на растяжение и сжатие;

BEAM189 – стержневой элемент 2-го порядка, работающий на все виды деформации;
SOLID45, SOLID185 – объёмные шестигранные (brick) элементы 1-го порядка;
SOLID95, SOLID186 – объёмные шестигранные (brick) элементы 2-го порядка;
SOLID285 – объёмный тетраэдральный (tet) элемент 1-го порядка;
SOLID92, SOLID187 – объёмные тетраэдральные (tet) элементы 2-го порядка;
PLANE42, PLANE182 – плоские (quad) элементы 1-го порядка;
PLANE82, PLANE183 – плоские (quad) элементы 2-го порядка;
SHELL63, SHELL181 – элементы пластинок и оболочек 1-го порядка;
SHELL93, SHELL281 – элементы пластинок и оболочек 2-го порядка.

Библиотека конечных элементов ANSYS содержит около двухсот элементов для решения задач механики.

2. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Вход в ANSYS осуществляется при помощи программы запуска Mechanical APDL Product Launcher.



>Программы>ANSYS XX.X>Mechanical APDL Product Launcher.

Перед началом сеанса работы в ANSYS следует создать директорию на диске, в которой в дальнейшем будут размещены рабочие файлы решаемой задачи. При входе в ANSYS необходимо указать в поле Working Directory панели программы запуска (рис. 1) путь к этой директории.

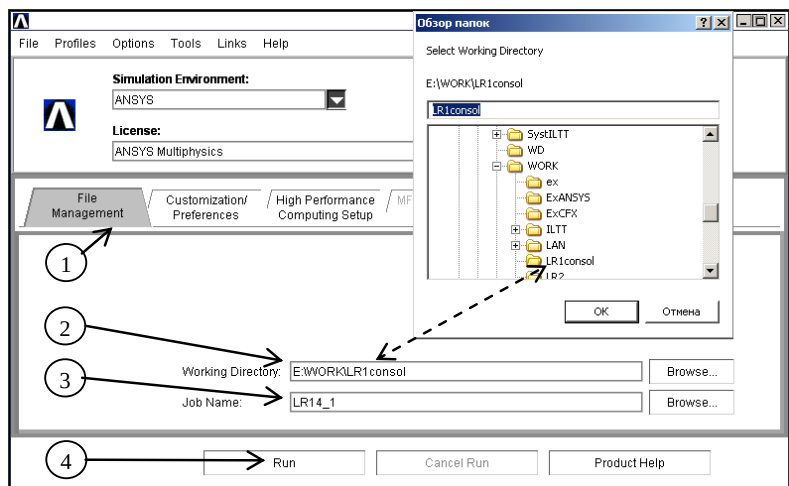


Рис. 1. Панель запуска пакета ANSYS. Вход в интерактивный режим

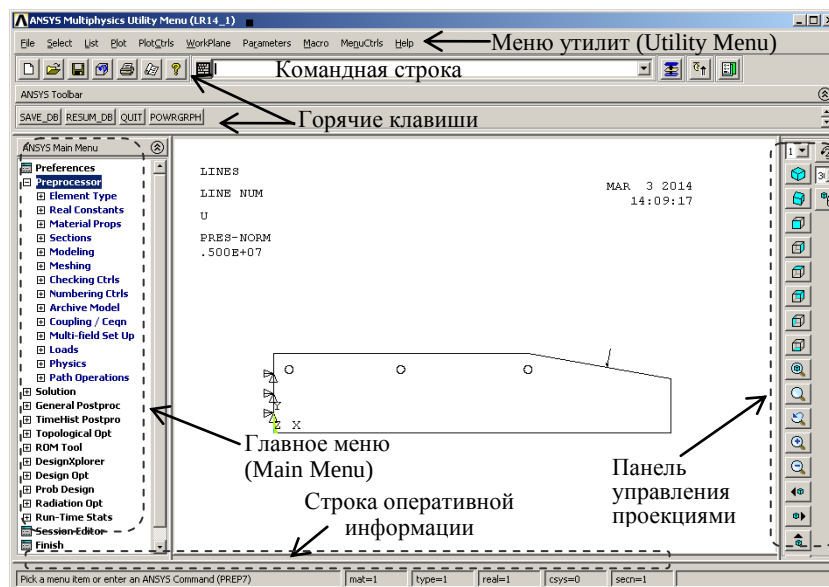


Рис. 2. Основные элементы графического интерфейса пакета ANSYS

При первом запуске задачи имя рабочего файла задачи записывать в поле Job Name; в дальнейшем оно выбирается из рабочей директории при помощи браузера.

После входа в программу решаемая задача загружается в графическую среду (рис. 2) макрокомандой *ANSYS RESUM_DB* (рис. 2, 3).

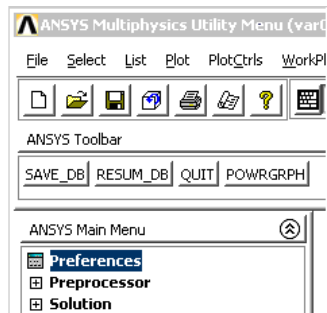


Рис. 3. Меню утилит, панели инструментов, главное меню

Результаты работы сохраняются макрокомандой *SAVE_DB* (рис. 3).

При решении задач МДТТ необходимо указать в пункте главного меню (ANSYS Main Menu) *Preferences* (рис. 3) тип решаемой задачи. Все задачи данного практикума относятся к типу *Structural*.

Расчёт конструкции состоит из трех основных этапов.

2.1. Создание геометрической модели конструкции в препроцессоре

1. Основные операции, необходимые для создания геометрической модели:

- создание точки по координатам

MM>P>M>¹Create>Keypoints>In Active CS> ...

- создание точки в рабочей плоскости

MM>P>M>Create>Keypoints>In Working Plane>

- построение линии по двум точкам

MM>P>M>Create>Lines>Lines>Straight Line> ...

- построение линии, нормальной к линии,

MM>P>M>Create>Lines>Lines>Normal to Line> ...

- построение сплайна по точкам

¹ *MM>P>M>≡Main Menu>Preprocessor>Modeling>*

MM>P>M>Create>Lines>Splines>Spline thru KPs> ...

- скругление пересекающихся линий

MM>P>M>Create>Lines>Lines>Line Fillet> ...

- создание окружности по центру и радиусу²

MM>P>M>Create>Lines>Arcs>By Cent & Radius> ...

- копирование точек, линий, ...

MM>P>M>Copy>Keypoints (Lines, ...)> ...

- симметричное отражение точек, линий, ...

MM>P>M>Reflect>Keypoints (Lines, ...)> ...

- деление линии в заданном отношении

MM>P>M>Operate>Booleans>Divide>Lines w/Options> ...

- деление линии линией

MM>P>M>Operate>Booleans>Divide>Line by Line> ...

- взаимное деление перекрещивающихся линий

MM>P>M>Operate>Booleans>Partition>Lines> ...

- деление площади линией

MM>P>M>Operate>Booleans>Divide>Area by Line> ...

- удлинение линии

MM>P>M>Operate>Extend Line> ...

- создание площади по линиям контура

MM>P>M>Create>Areas>Arbitrary>By Lines> ...

- создание площади (полигона) по точкам

² Возможно только в рабочей плоскости

MM>P>M>Create>Areas>Arbitrary>Through KPs> ...

- создание площади в виде круга

MM>P>M>Create>Areas>Circle>Solid Circle> ...

- создание площади экструзией линии вдоль пути

MM>P>M>Operate>Extrude>Lines>Along Lines> ...

- создание площади экструзией линии вокруг оси

MM>P>M>Operate>Extrude>Lines>About Axis> ...

- создание объёма экструзией площади вдоль пути

MM>P>M>Operate>Extrude>Areas>Along Lines> ...

- создание объёма экструзией площади вокруг оси

MM>P>M>Operate>Extrude>Areas>About Axis> ...

- удаление точек, линий, площадей

MM>P>M>Delete> ...

- проверка геометрии (определение размеров)

MM>P>M>Check Geom> ...

- объединение совпадающих точек

MM>P>Numbering Ctrl>Merge Items>Keypoints> ...

- создание локальной координатной системы

UM³>WorkPlane>Locale Coordinate Systems>Create Local CS>

By 3 Keypoints +> ...

После создания локальная система координат становится активной;

- переход к глобальной системе координат

³ UM≡Utility Menu

UM>WorkPlane>Change Active CS to>Global Cartesian> ...

- переход к системе координат с номером ...

UM>WorkPlane>Change Active CS to>Specified CS> ...

- сохранение копии экрана

UM>PlotCtrls>Hard Copy>To file> ...

2.Задание типов конечных элементов для стержней, объёмов, пластинок и оболочек производится, соответственно, операциями

MM>P>Element Type>Add/Edit/Delete>Add>Beam (Solid, Shell)> ...

Конечные элементы выбираются по группе (BEAM, SOLID, SHELL, ...), по номеру, по числу узлов.

3.Задание физико-механических свойств материалов: модуля упругости, коэффициента Пуассона, плотности и коэффициента линейного температурного расширения (в ANSYS обозначены соответственно EX, PRXY, DENS, ALPX) операциями:

MM>P>Material Props>Material Model>Structural>LinearElastic> >Isotropic> ...

MM>P>Material Props> Material Model>Structural>Density > ...

MM>P>Material Props>Material Model>Structural>

Thermal Expansion>Secant Coefficient>Isotropic> ...

4. Задание нагрузок и закреплений. Нагрузки и закрепления могут быть приложены как к примитивам геометрической модели – точкам, линиям, площадям, так и к узлам, и к конечным элементам.

Закрепления в точках, на линиях, на площадях задаются командами:

MM>P>Loads>Define Loads>Apply>Structural>Displacement>

On Keypoints (On Lines, On Areas)> ...

Указываются линейные (UX, UY, UZ) и угловые направления (ROTX, ROTY, ROTZ), по которым производятся закрепления.

Для приложения сил и моментов в точках и в узлах используются команды:

*MM>P>Loads>Define Loads>Apply>Structural>Force/Moment>
On Keypoints (On Nodes)> ...*

Указываются направления действия сил (FX, FY, FZ) и моментов (MX, MY, MZ) и их величины.

Давление на линиях, на площадях задаётся командами:

*MM>P>Loads>Define Loads>Apply>Structural>Pressure>
On Lines (On Areas)> ...*

5. Создание конечно-элементной модели конструкции. На этом этапе геометрическая модель конструкции заменяется её конечноэлементным аналогом, имеющим такие же свойства, как и исходная деталь. Перед тем как разбить область задачи сеткой конечных элементов, необходимо указать на геометрической модели, какие заданные свойства материалов, типы сечений стержней, оболочек, типы конечных элементов должны принадлежать, какой именно геометрической части конструкции.

Эти действия выполняются при помощи команды

*MM>P>Meshing>Mesh Attributes>Pickcd Lines (Pickcd Areas,
Pickcd Volumes)> ...*

Также должны быть заданы приблизительные размеры конечных элементов

MM>P>Meshing>Mesh Tool>Size Control:>Lines (Areas, Global)> ...

Собственно разбивка на конечные элементы производится командой

MM>P>Meshing>Mesh Tool>Mesh>Lines (Areas, Volumes) .

2.2. Формирование структуры решения. Задание типа задачи. Выбор программы решения. Решение

При статическом нагружении внешними силами, температурным перепадом, перегрузкой указанные действия выполняются следующими операциями:

1. Задание типа задачи

MM>Solution>Analysis Type>New Analysis>Static

2. Задание структуры решения

MM>Solution>Analysis Type>Sol'n Controls>Basic>

<i>Time at end of load step></i>	<i>1</i>
<i>Time step size></i>	<i>1</i>
<i>Time increment></i>	<i>(ON)</i>

3. Выбор решения

MM>Solution>Analysis Type>Sol'n Controls>Sol'n Options>Pre-Condition CG

4. Решение выполняется вслед за командой

MM>Solution>Solve>Current LS

2.3. Анализ результатов. Работа в постпроцессоре

Постпроцессор позволяет вывести на дисплей, а также сохранить в графическом виде распределения результатов решения – перемещений, напряжений. Возможно также построение графиков, эпюр.

Чтение результатов из файла результатов

MM>General Postproc>Read Results>Last Set

Построение контурных диаграмм – распределений значений параметров напряжённо-деформированного состояния

MM>General Postproc>Plot Results>Contour Plot>Nodal Solu> ...

Сохранение результатов в файлах <Jobname>.db, <Jobname>.dbb, <Jobname>.rst

ANSYS Toolbar>SAVE_DB

Выход из ANSYS с сохранением файла базы данных <Jobname>.db и файла результатов задачи <Jobname>.rst:

ANSYS Toolbar>QUIT>Save Geom+Load

3. РАБОЧАЯ ПЛОСКОСТЬ

Удобным инструментом для работы в графическом редакторе ANSYS является рабочая плоскость (рис. 4) *WorkPlane (Utility Menu>WorkPlane> ...)*. Она служит для привязки геометрических примитивов (точек, окружностей и др.) к предварительно заданным координатам – узлам рабочей плоскости. Визуально рабочая плоскость представляет собой сетку координатных линий (рис. 4). В рабочей плоскости можно задать основную (видимую) сетку и дополнительную (невидимую) с меньшим шагом.

Пример задания параметров рабочей плоскости приведен на рис. 4.

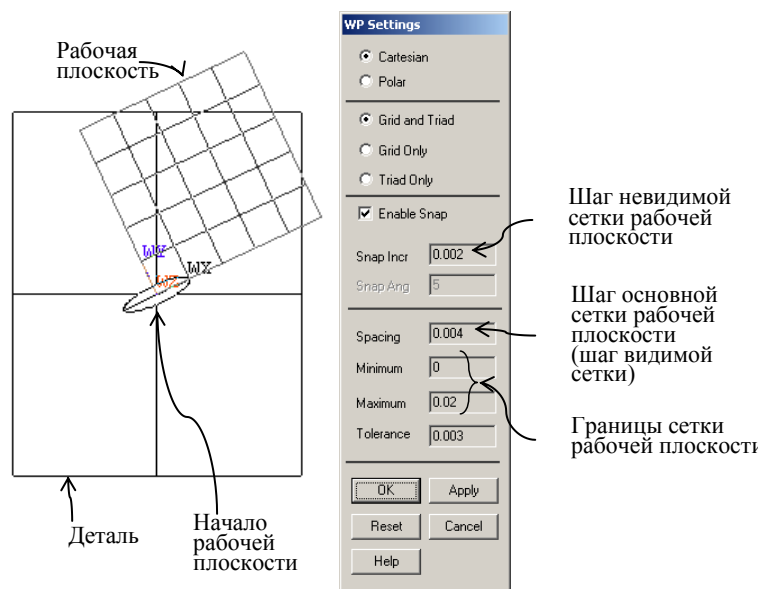


Рис. 4. Рабочая плоскость. Панель параметров рабочей плоскости

Параметры рабочей плоскости задаются после выполнения следующих действий:
Utility Menu>WorkPlane>WP Settings ...

Рабочая плоскость становится видимой после выполнения операции

Utility Menu>WorkPlane> ☒ Display Working Plane,

и невидимой после

Utility Menu>WorkPlane>Display Working Plane.

Рабочую плоскость можно расположить в любом месте графической среды, связав её с тремя уже существующими точками. Для этого при выполнении операции

Utility Menu>WorkPlane>Align WP with>Keypoints +

указываются курсором три точки, определяющие соответственно начало рабочей плоскости, направление оси X и положение плоскости XY .

Рабочую плоскость можно переместить в пространстве графического редактора в направлении нужной координаты или повернуть вокруг какой-либо из её осей, выполнив действия

Utility Menu>WorkPlane> Offset WP by Increments ...

4. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

В пакете ANSYS есть несколько заданных систем координат, которые называются главными. Их положение фиксировано. К ним относятся следующие системы координат: прямоугольная (с номером 0), цилиндрическая с осью Z (1), цилиндрическая с осью Y (5), цилиндрическая с осью X (6), сферическая (2), тороидальная (3) (не рекомендуется для использования), а также их разновидности. В частности, разновидностью цилиндрической системы координат является координатная система с координатными линиями в виде эллипсов (и гипербол).

При создании эллиптической системы координат параметр $PAR1$ представляет отношение масштаба по оси Y к масштабу по оси X . Для цилиндрической системы координат $PAR1 = 1$.

Линия, созданная в эллиптической координатной системе, соединяющая две точки в плоскости XY , будет дугой эллипса (рис. 4).

Пакет ANSYS поддерживает также локальные системы координат. Их можно создать в любой точке рабочего пространства. При создании им присваиваются типы главных координатных систем. Номера локальных систем координат начинаются с номера 11.

Локальную координатную систему можно создать в пространстве графического редактора по трём точкам операцией (рис. 5)

Utility Menu>WorkPlane>Local Coordinate Systems>Create Local CS> By 3 Keypoints + ...

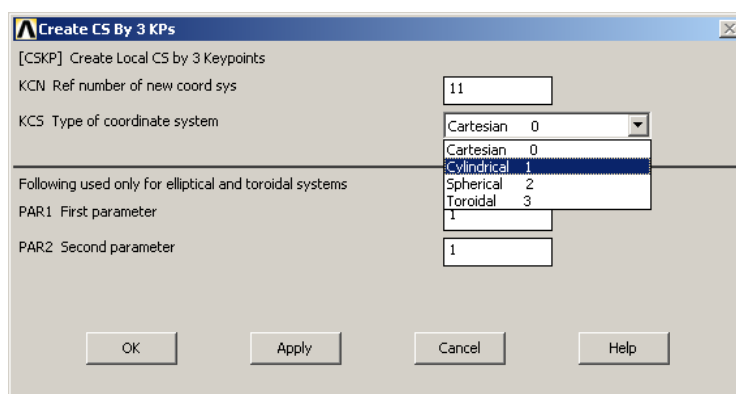


Рис. 5. Панель создания локальной системы координат

Эти точки определяют соответственно начало рабочей плоскости, направление оси X и положение плоскости XY .

Сразу же после создания локальной координатной системы она становится активной. Это означает, что операции создания геометрических объектов, их копирования, отражения и другие будут выполняться в этой координатной системе.

5. ЗАДАЧИ

Обязательная цель расчёта во всех задачах состоит в определении распределения напряжений и перемещений.

Размеры на чертежах деталей указаны в миллиметрах.

Задача № 1. Расчёт напряжённо-деформированного состояния балки

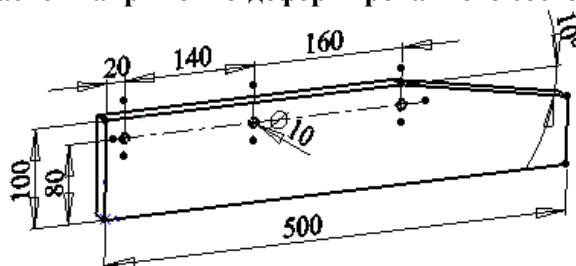


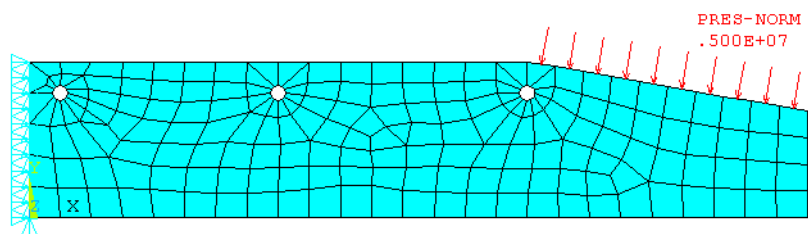
Схема и размеры балки

Свойства материала: модуль упругости 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3.

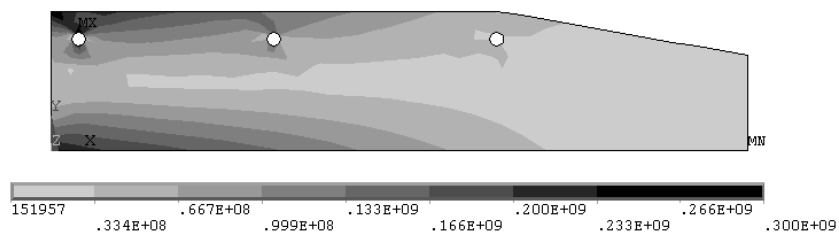
Закрепление – заделка на левом торце.

Нагрузка – давление 5 МПа, приложенное на косом срезе.

Конечные элементы: PLANE42, PLANE82, PLANE182, PLANE183.



Конечно-элементная сетка



Результат расчёта. Распределение эквивалентных напряжений, Н/м²

**Задача № 2. Определение коэффициента концентрации напряжений
напряжений около кругового отверстия**

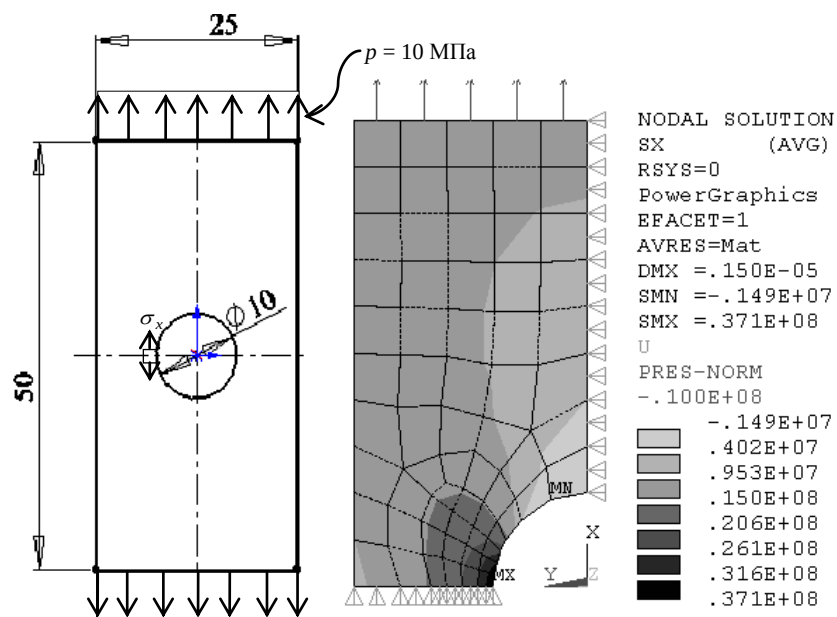


Схема и размеры детали. Результат расчёта.
Распределение напряжений в направлении X, Н/м²

Свойства материала: модуль упругости 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3.

Закрепление – ограничение перемещений состоит в выполнении условий симметрии в плоскостях симметрии.

Нагрузка – равномерно распределенное растягивающее усилие величиной 10 МПа на коротких сторонах детали.

Конечные элементы: PLANE42, PLANE82, PLANE182, PLANE183.

Коэффициент концентрации, определяемый по формуле $k = \sigma_x / p = 3,71$.

Деталь имеет две плоскости симметрии. Учет симметрии позволяет свести расчёт детали к расчёту её четверти.

Задача № 3. Определение коэффициента концентрации напряжений около отверстия эллиптической формы

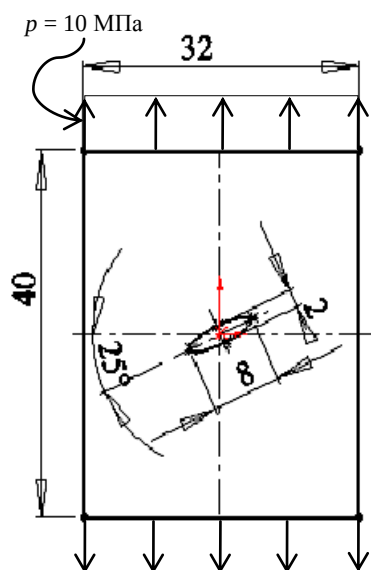


Схема и размеры детали

Свойства материала: модуль упругости 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3.

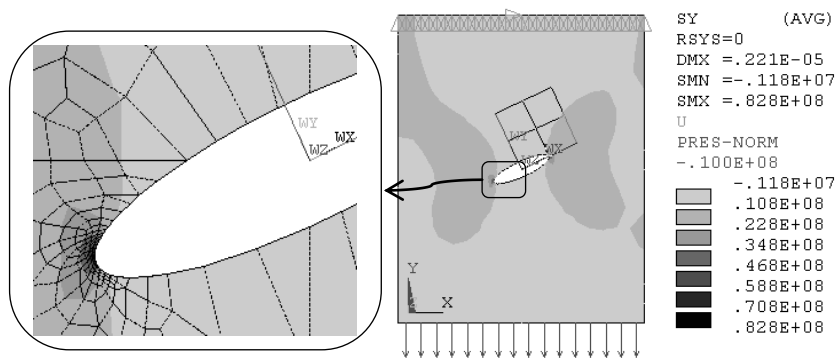
Закрепление – в направлении действия растягивающей нагрузки.

Нагрузка – равномерно распределенное растягивающее усилие величиной 10 МПа, действующее на коротких сторонах детали.

Конечные элементы: PLANE42, PLANE82, PLANE182, PLANE183.

Коэффициент концентрации, определяемый по формуле $k = \sigma_y / p = 8,28$.

Для построения эллиптического контура необходимо создать эллиптическую систему координат (см. разд. 4).



Результаты решения. Распределение напряжений в направлении Y, Н/м²

Figure 1 illustrates the geometry and boundary conditions of the problem. The left part shows a schematic of a rectangular plate with a central circular hole of diameter 20. The plate has a width of 40 and a height of 65. Boundary conditions include fixed supports on the left and right edges, and a prescribed displacement $u_x = 0$ on the top edge. A 45-degree angle is indicated for the top edge. The right part shows a finite element mesh of the same geometry, with a color scale for the stress field ranging from 150710 to 6.39E+08.

Свойства материала: модуль упругости 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3.

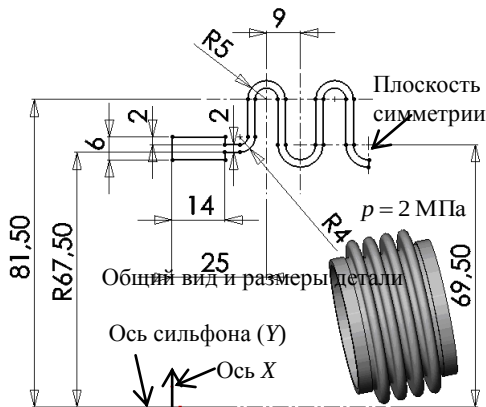
Проушина закреплена от перемещения в вертикальном направлении на сегментах контура отверстий Ø6. Размер сегментов 45°. Закрепление состоит также в выполнении условия симметрии в плоскости симметрии.

Нагрузка, действующая на проушину давлением 50 МПа, приложена к участкам контура отверстия Ø20, проекции которых на горизонтальное направление составляют 4 мм.

Конечные элементы: PLANE42, PLANE82, PLANE182, PLANE183.

Деталь имеет плоскость симметрии. Это позволяет свести её расчёт к расчёту её половины.

Задача № 5. Сильфон. Расчёт осесимметричной детали



Свойства материала: модуль упругости 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3.

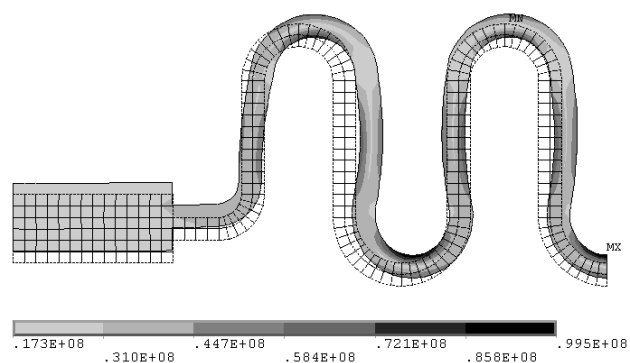
Сильфон нагружен внутренним давлением 2 МПа, закреплён на срезе фланца и в плоскости симметрии в осевом направлении.

Конечные элементы: PLANE42, PLANE82, PLANE182, PLANE183.

Деталь имеет осевую симметрию и симметрична также относительно плоскости, делящей её пополам по длине. Осесимметрична также и нагрузка. Это позволит свести расчет трёхмерной детали к расчёту четверти её сечения.

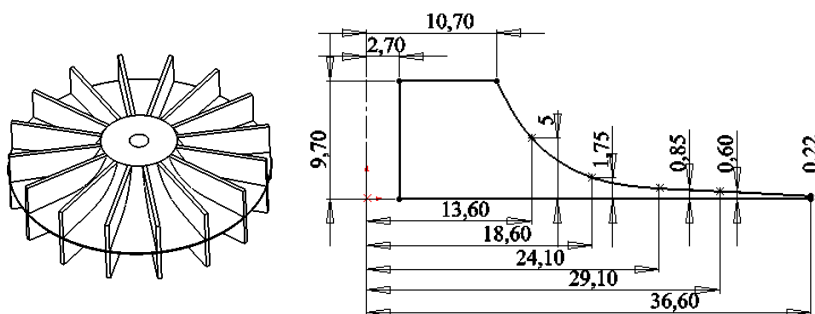
При задании типов конечных элементов (см. подразд. 2.1, п.2) необходимо придать опции K3 значение axisymmetric.

В геометрическом редакторе ANSYS сечение детали должно быть расположено так, чтобы его ось совпадала с осью Y прямоугольной системы координат и только в положительном направлении оси X.



Результат расчёта. Исходное и деформированное состояние детали. Распределение эквивалентных напряжений, Н/м² (показана конечно-элементная сетка)

Задача № 6. Расчёт диска колеса центробежного насоса



Общий вид колеса и эскиз четверти сечения диска

Свойства материала: модуль упругости 70 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3, плотность 2400 кг/м³.

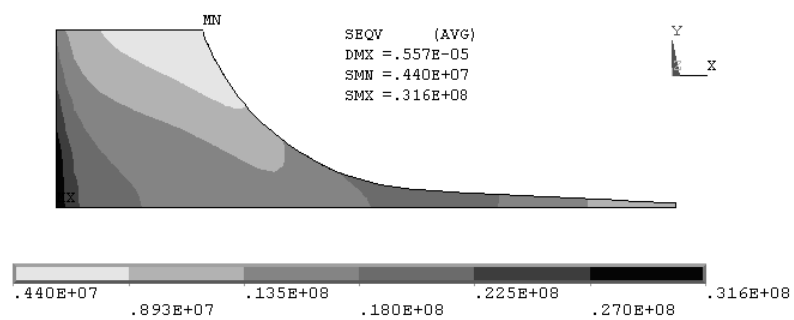
Напряжённое состояние диска возникает из-за его вращения со скоростью 1000 об/с.

Конечные элементы: PLANE42, PLANE82, PLANE182, PLANE183.

Деталь имеет осевую симметрию и симметрична также относительно плоскости, делящей её пополам по толщине. Осесимметрична также и нагрузка. Закрепление состоит в выполнении условий симметрии. Расчёт трёхмерной детали сводится к расчёту четверти сечения диска.

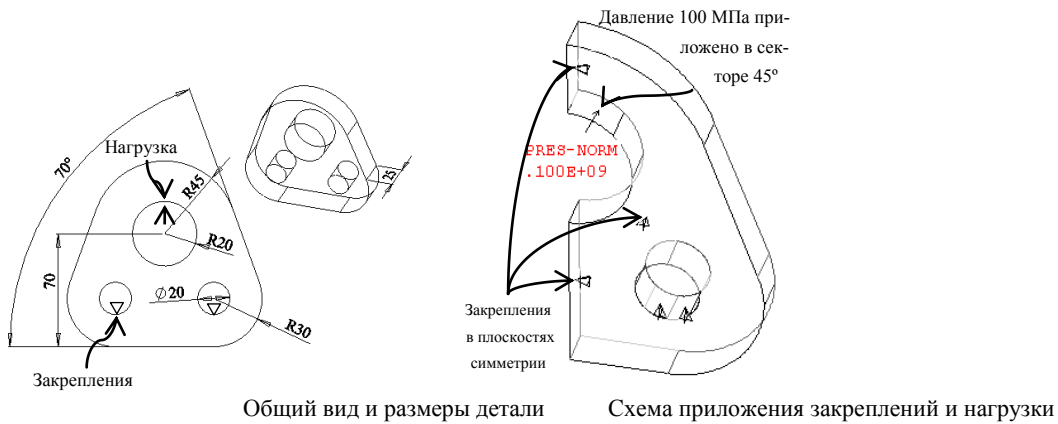
Кривую, определенную на эскизе сечения диска координатами, следует задать сплайном (см. подразд. 2.1, п. 1).

Требования к выполнению свойств симметрии такие же, как и в задаче № 5.



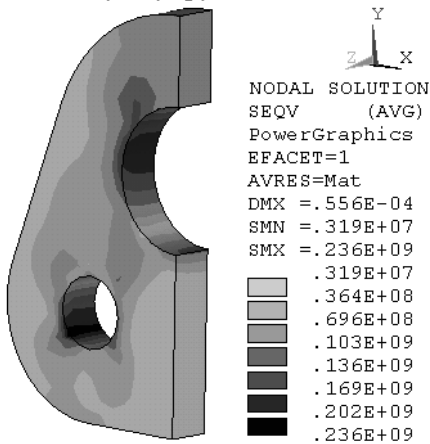
Результат расчёта. Распределение эквивалентных напряжений, Н/м²

Задача № 7. Расчёт грузовой детали – серьги



Деталь имеет две плоскости симметрии, которые делят её на четыре одинаковые по геометрии части; а закрепления и нагрузка приложены симметрично относительно этих плоскостей. Это позволяет свести расчёт детали к расчёту её четверти.

Модуль упругости 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3.

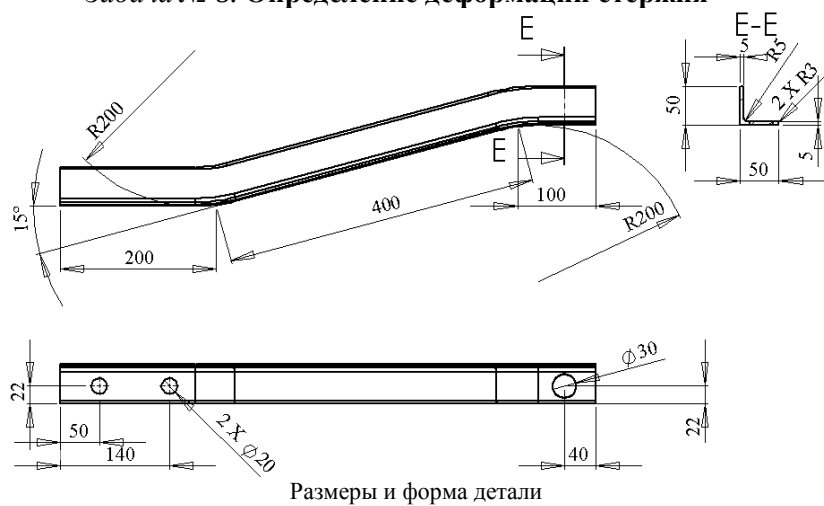


Серьга закреплена от перемещения в вертикальном направлении на сегментах отверстий $\varnothing 20$. Закрепление состоит также в выполнении условий симметрии в плоскостях симметрии.

Сила, действующая на проушину в отверстии R20, заменена давлением 100 МПа, эквивалентным ей по равнодействующей.

Давление и закрепления приложены к сегментам отверстий размером 45°.
Могут быть использованы конечные элементы SOLID45, SOLID95, SOLID185, SOLID186.

Задача № 8. Определение деформаций стержня

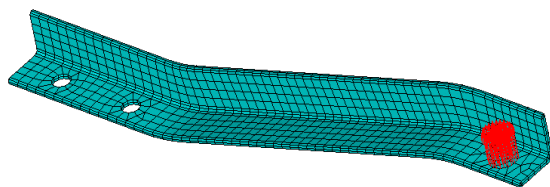


Свойства материала: модуль упругости 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3.

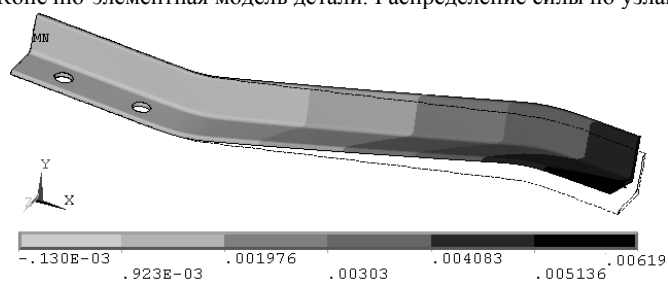
Стержень закреплён от перемещений по всем направлениям по внутренним поверхностям отверстий Ø20.

Сила 1000 Н распределена по узлам круговой области Ø20.

Могут быть использованы конечные элементы SOLID45, SOLID95, SOLID185, SOLID186.



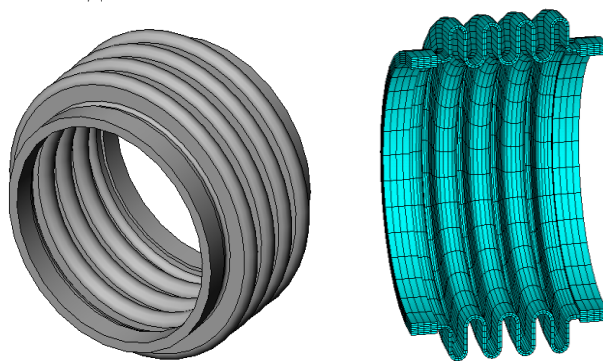
Конечно-элементная модель детали. Распределение силы по узлам



Результат решения. Распределение суммарных перемещений, м

Задача № 9. Напряжённое состояние сифона. Компенсация несоосности

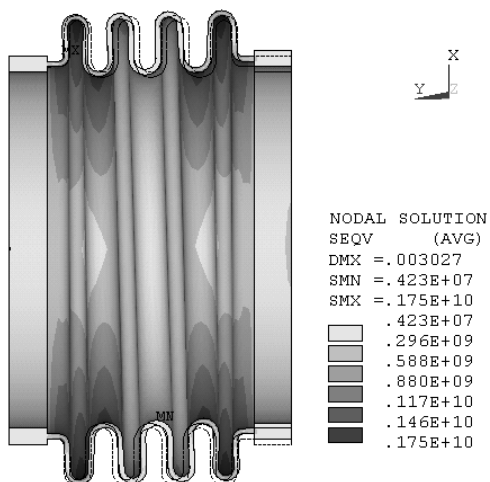
Размеры сифона приведены в задаче № 5.



Конструкция и её конечно-элементная модель

Свойства материала: модуль упругости 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3.

Если сифон используется для компенсации несоосности соединяемых им труб, то нагрузкой является смещение одного торца сифона относительно другого в направлении диаметра. В данной задаче это смещение составляет 2 мм.

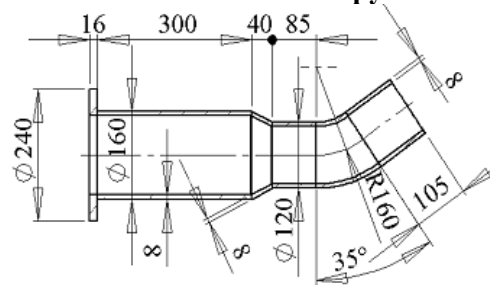


Сифон закреплён по торцам фланцев во всех направлениях, кроме направления смещения. В плоскости симметрии выполняются условия симметрии перемещений.

Результат решения. Распределение эквивалентных напряжений, Н/м²

Возможно использование конечных элементов SOLID 45, SOLID 95, SOLID185, SOLID186.

Задача № 10. Расчёт патрубка



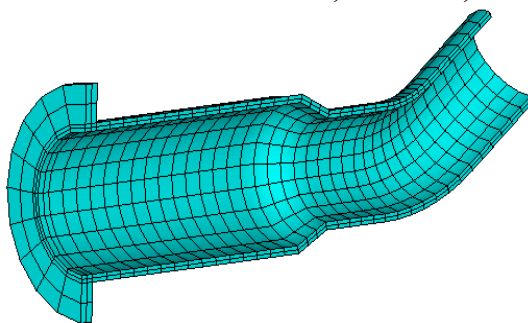
Размеры и форма детали

Свойства материала: модуль упругости 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3.

Закреплены контактная плоскость фланца и срез патрубка по всем направлениям.

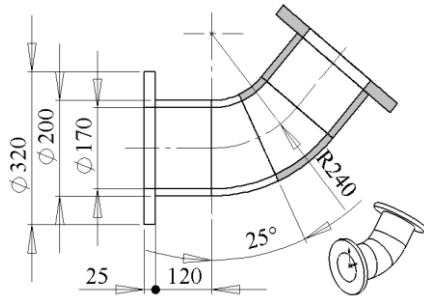
Нагрузка – внутреннее давление 10 МПа.

Могут быть использованы конечные элементы SOLID45, SOLID95, SOLID185, SOLID186.





Задача № 11. Колено трубы. Температурная нагрузка



Размеры и форма детали. Колено
изготовлено из двух материалов
с разными свойствами (см. таблицу)

Материал	Модуль упругости, ГПа	Коэффициент Пуассона	Коэффициент линейного температур- ного расширения 1/°C
Сталь	200	0,3	$1,1 \cdot 10^{-5}$
Латунь	110	0,32	$1,65 \cdot 10^{-5}$

Связывание механических свойств с частями детали осуществляется командой

Preprocesson>Meshing>Mesh Attributes>Picked Volumes

Могут быть использованы конечные элементы SOLID45, SOLID95, SOLID185, SOLID186.

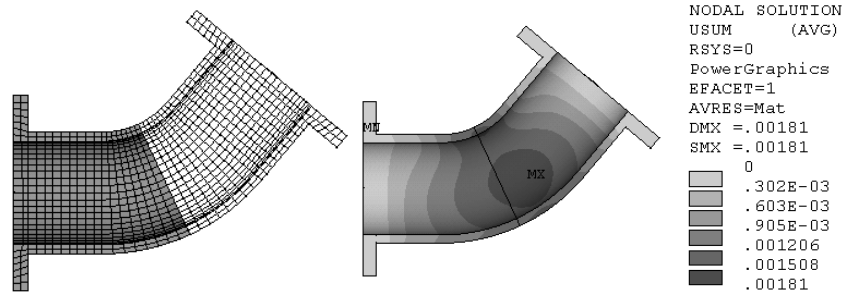
Закреплены контактные плоскости фланцев по всем направлениям. Нагрузкой является перепад температуры 300°C. Задаётся в виде разности между однородной (uniform) температурой 320°C и исходной (reference) температурой 20°C:

Main Menu>Preprocessor>

Loads> Define Loads>Uniform Temp>320

Main Menu > Preprocessor > Loads> Define Loads>Reference Temp>20

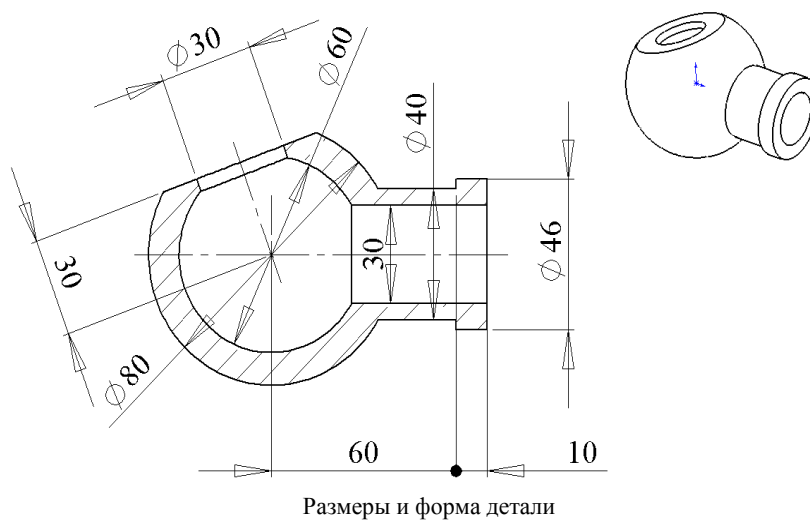
Равновесная температура указывается также при задании свойств материала.



Конечно-элементная модель
детали

Результат решения. Суммарные
перемещения, м

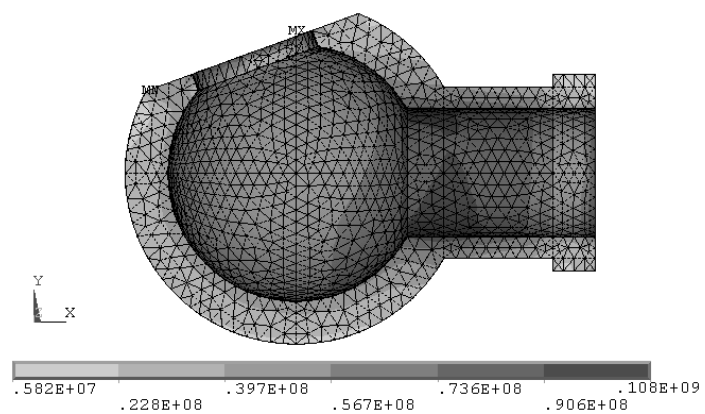
Задача № 12. Расчёт толстостенного сосуда



Свойства материала: модуль упругости 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3.

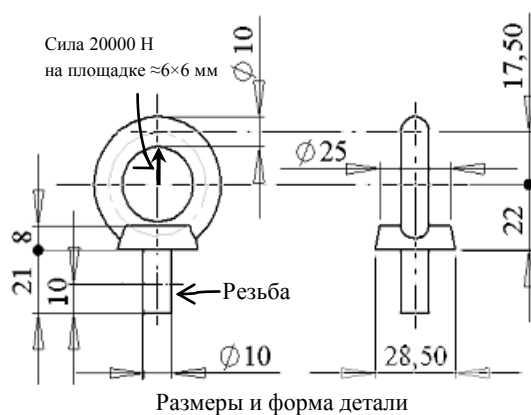
Закрепление – на контактной плоскости фланца, на срезе сферы. Давление во внутренней полости 20 МПа.

Могут быть использованы конечные элементы SOLID45, SOLID95, SOLID185, SOLID186.



Конечно-элементная модель. Результаты расчёта. Распределение напряжений, Н/м^2

Задача № 13. Расчёт рым-болта



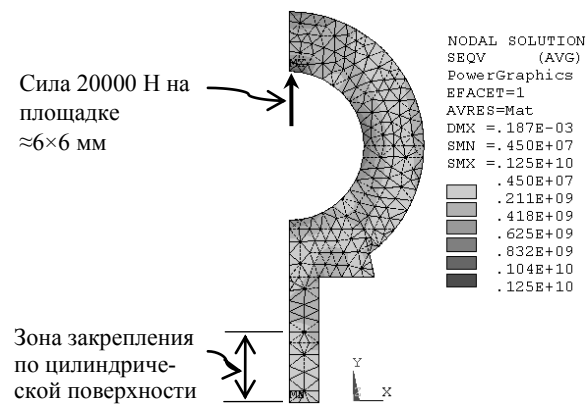
Свойства материала: модуль упругости 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3.

Нагрузка 20000 Н действует на внутреннюю поверхность кольца рым-болта. Приложена на площадке $\approx 6 \times 6$ мм.

Деталь имеет две плоскости симметрии. Это позволяет использовать в расчётной схеме одну четверть детали.

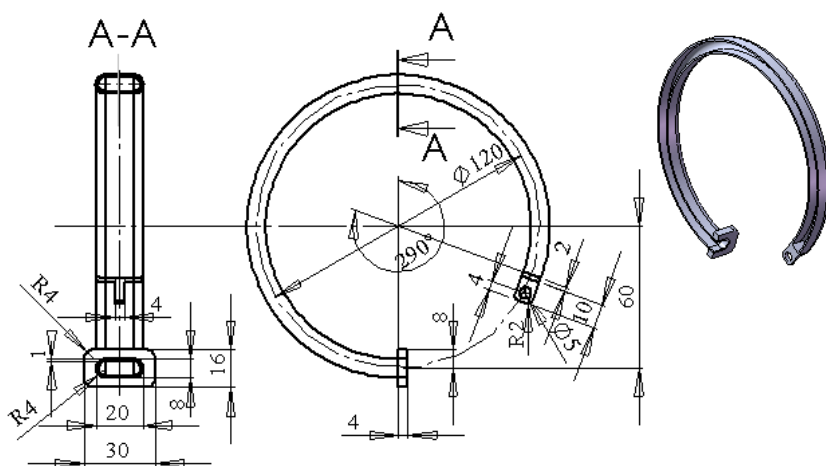
Закрепление – в зоне резьбы рым-болта в вертикальном направлении, а также на плоскостях симметрии.

Возможно использование конечных элементов SOLID92, SOLID187.



Результат решения. Распределение эквивалентных напряжений, Н/м²

Задача № 14. Расчёт манометрической трубки



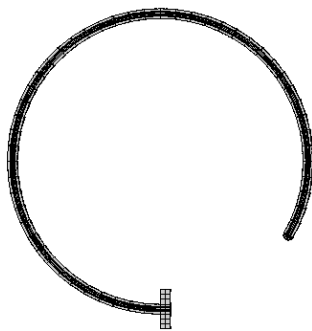
Размеры и форма детали

Свойства материала: модуль упругости 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3.

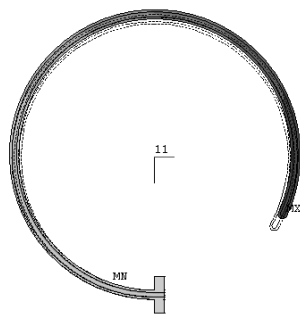
Закрепление на контактной плоскости фланца.

Нагрузка – давление 0,1 МПа, действующее внутри трубки.

Могут быть использованы конечные элементы SOLID45, SOLID95, SOLID185, SOLID186.



Конечно-элементная модель
детали

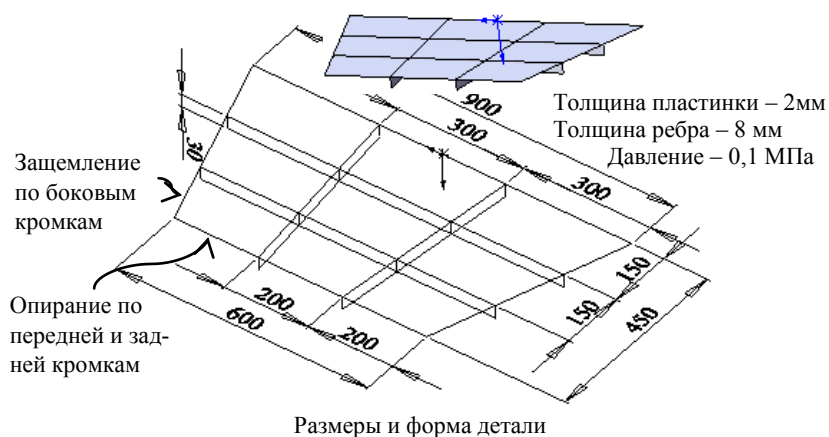


NODAL SOLUTION
UY (AVG)
RSYS=11
DMX =.716E-04
SMN =-.656E-07
SMX =.713E-04
-.656E-07
.118E-04
.237E-04
.356E-04
.475E-04
.594E-04
.713E-04



Результат решения. Распределение переме-
щений в окружном направлении, м

Задача № 15. Расчёт пластинки, подкреплённой рёбрами

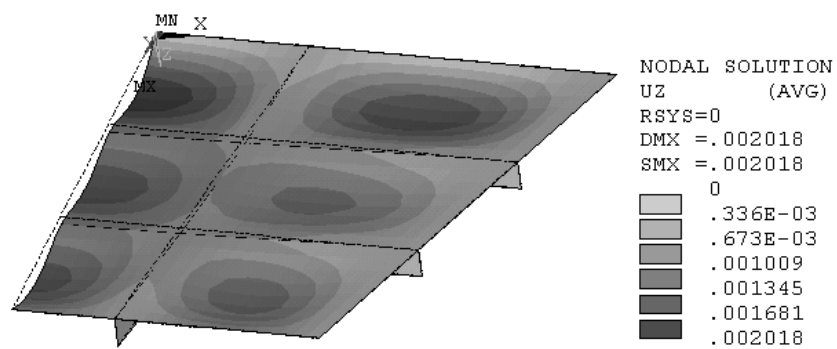


Свойства материала: модуль упругости 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3.

Нагрузка – давление 0,1 МПа со стороны пластинки, противоположной рёбрам.

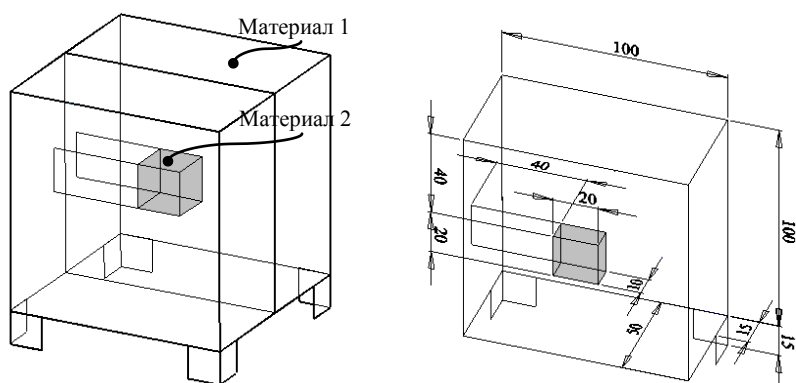
Закрепление – защемление по боковым кромкам, опираие по передней и задней кромкам пластинки.

Могут быть использованы конечные элементы SHELL93, SHELL281.



Результат решения. Распределение перемещений
 в вертикальном направлении, м

Задача № 16. Бокс. Действие перегрузки



Общий вид конструкции

Геометрия и размеры расчетной модели

Геометрия расчётной модели

Закрепление – конструкция жёстко прикреплена к основанию.

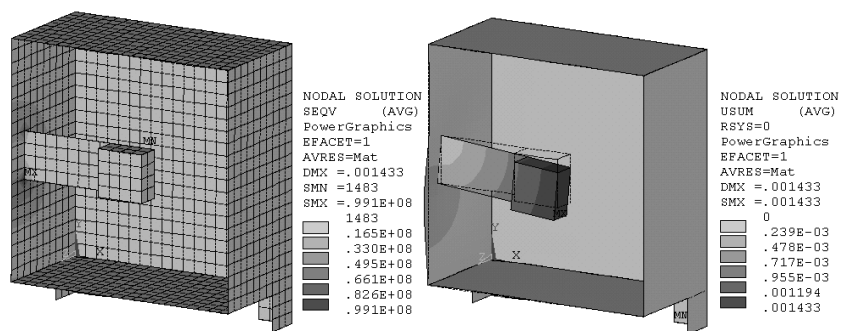
Нагрузка – перегрузка по оси X 5g, перегрузка по оси Y 10g.

Свойства материалов конструкции

Материал	Модуль упругости, ГПа	Коэффициент Пуассона	Плотность, кг/м ³	Толщина стенки, мм
1	70	0,3	2400	0,5
2	200	0,33	8000	—

О связывании свойств материалов с частями конструкции см. задачу № 11.

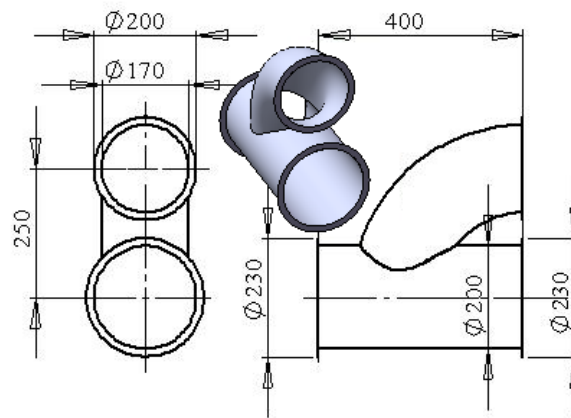
Могут быть использованы конечные элементы SHELL93, SHELL281, SOLID95.



Результаты расчёта. Распределение эквивалентных напряжений, Н/м²

Результаты расчёта. Распределение суммарных перемещений, м

Задача № 17. Расчёт тройника



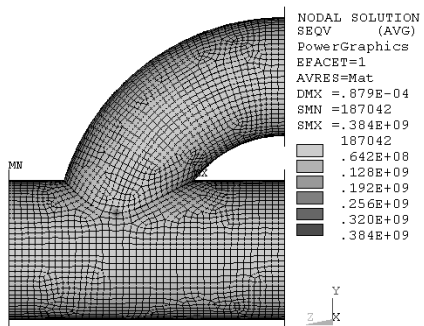
Размеры и форма конструкции. Толщины оболочек:
торовой – 2 мм, цилиндрической – 3 мм; фланцев – 5 мм

Свойства материала: модуль упругости 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3.

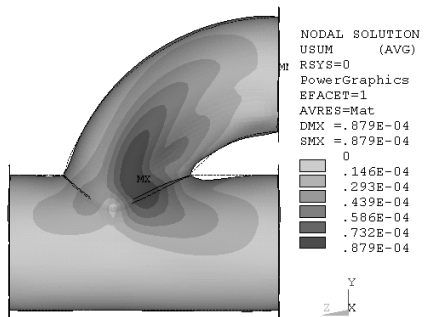
Закрепление – в восьми равноотстоящих точках по средним линиям всех фланцев.

Нагрузка – внутренне давление 0,5 МПа.

Могут быть использованы конечные элементы SHELL93, SHELL281.

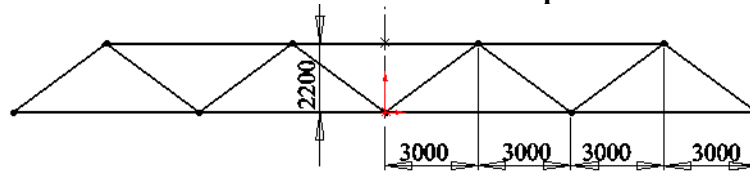


Конечно-элементная расчётная модель конструкции



Результат решения. Распределение суммарных перемещений, м

Задача № 18. Расчёт плоской рамы



Размеры и форма конструкции. Сечения верхнего и нижнего поясов – коробчатые $160 \times 160 \times 5$ мм. Сечения подкосов – $100 \times 100 \times 5$ мм

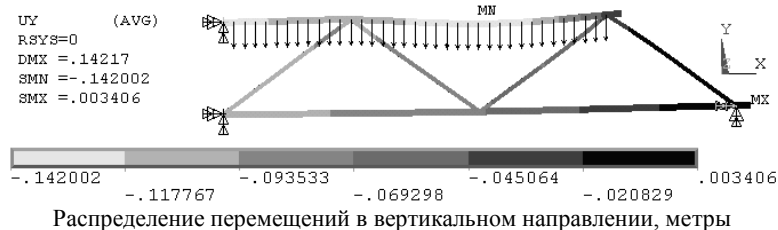
Свойства материала: модуль упругости 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3. Нагрузка 500000 Н равномерно распределена по узлам верхнего пояса.

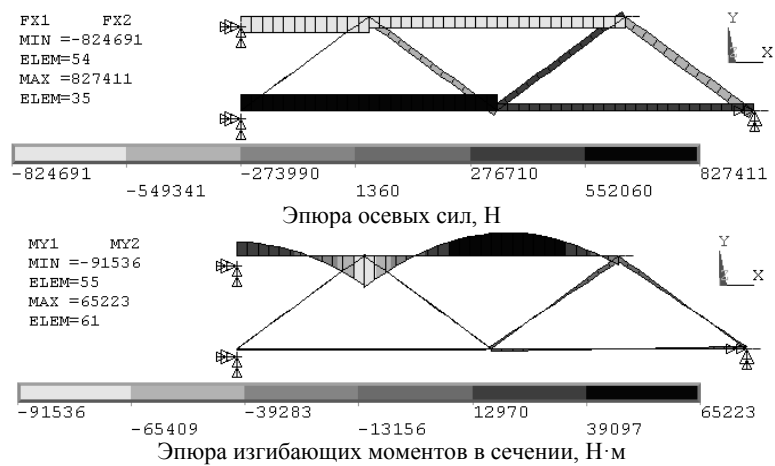
Закреплены крайние опоры. Одна – по всем направлениям, кроме поворота относительно оси Z, другая не закреплена ещё и в направлении X.

Симметрия конструкции и приложенной нагрузки позволяет рассчитать половину рамы. При этом в плоскости симметрии должны быть выполнены условия симметрии.

Использованы конечные элементы BEAM189.

Результаты решения





СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
1. РАСЧЁТНАЯ МОДЕЛЬ КОНСТРУКЦИИ. СОСТАВ РАСЧЁТНОЙ МОДЕЛИ	5
2. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ	8
2.1. Создание геометрической модели конструкции в препроцессоре.....	11
2.2. Формирование структуры решения. Задание типа задачи. Выбор программы решения. Решение	15
2.3. Анализ результатов. Работа в постпроцессоре.....	16
3. РАБОЧАЯ ПЛОСКОСТЬ	17
4. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ	19
5. ЗАДАЧИ.....	21
<i>Задача № 1.</i> Расчёт напряжённо-деформированного состояния балки.....	21
<i>Задача № 2.</i> Определение коэффициента концентрации напряжений около кругового отверстия	23
<i>Задача № 3.</i> Определение коэффициента концентрации напряжений около отверстия эллиптической формы	25
<i>Задача № 4.</i> Расчёт напряжённого состояния проушины.....	27
<i>Задача № 5.</i> Сильфон. Расчёт осесимметричной детали	29
<i>Задача № 6.</i> Расчёт диска колеса центробежного насоса	31
<i>Задача № 7.</i> Расчёт грузовой детали – серьги	33
<i>Задача № 8.</i> Определение деформаций стержня.....	35
<i>Задача № 9.</i> Напряжённое состояние сильфона. Компенсация несоосности ...	37
<i>Задача № 10.</i> Расчёт патрубка	39
<i>Задача № 11.</i> Колено трубы. Температурная нагрузка.....	41
<i>Задача № 12.</i> Расчёт толстостенного сосуда	43
<i>Задача № 13.</i> Расчёт рым-болта.....	45
<i>Задача № 14.</i> Расчёт манометрической трубки	47
<i>Задача № 15.</i> Расчёт пластинки, подкреплённой рёбрами	49
<i>Задача № 16.</i> Бокс. Действие перегрузки	51
<i>Задача № 17.</i> Расчёт тройника	53
<i>Задача № 18.</i> Расчёт плоской рамы	55

Павлов Александр Семенович

**Решение задач механики деформируемого твёрдого тела
в программе ANSYS**

Редактор *Г.В. Никитина*

Корректор *Л.А. Петрова*

Подписано в печать 02.09.2014. Формат 60×84/16. Бумага документная

Печать трафаретная. Усл. печ. л. 2. Тираж 100 экз. Заказ № 115

Балтийский государственный технический университет

Типография БГТУ

190005, С.-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1