



APM Studio

Руководство пользователя

APM Studio

Пре- и постпроцессор для конечно-элементного анализа деталей и конструкций с возможностью импорта файлов 3D-моделей

Версия 17

Руководство Пользователя

Научно-технический центр «АПМ»

141070, Россия, Московская область, г. Королёв, Октябрьский бульвар 14, оф. 6
тел.: +7 (495) 120-58-10.

Наш адрес в Интернете: <http://www.apm.ru>, e-mail: com@apm.ru

Авторские права © 1989 – 2020 Научно-технический центр «Автоматизированное проектирование машин». Все права защищены. Все программные продукты НТЦ «АПМ» являются зарегистрированными торговыми марками центра. Названия и марки, упомянутые в данном руководстве, являются зарегистрированными торговыми марками их законных владельцев.

Отпечатано в России.

Содержание

Содержание	3
Введение	4
Основные положения	4
Требования к аппаратному и программному обеспечению	4
Глава 1. Основные понятия и определения	5
Основные понятия и определения	5
Глава 2. Интерфейс модуля APM Studio	7
Общий вид <i>APM Studio</i>	7
Панели инструментов	7
2.1 Панель инструментов <i>Файл</i>	7
2.2 Панель инструментов <i>Дерево операций</i>	9
2.3 Панель инструментов <i>Вид</i>	11
2.4 Панель инструментов <i>Управление</i>	12
2.5 Панель инструментов <i>Эскиз</i>	21
2.6 Панель инструментов <i>Ручной ввод</i>	36
2.7 Панель инструментов <i>Операции</i>	37
2.8 Панель инструментов <i>3D Эскиз</i>	77
2.9 Панель инструментов <i>Нагрузки</i>	79
2.10 <i>Строка состояния</i>	94
2.11 <i>Колесико прокрутки (Scrolling)</i>	94
Глава 3. Команды APM Studio	95
3.1 Главное меню APM Studio	95
3.2 Меню <i>Файл</i>	95
3.3 Меню <i>Вид</i>	97
3.4 Меню <i>Инструменты</i>	97
3.5 Меню <i>Расчёт</i>	100
3.6 Меню <i>Результаты</i>	102
3.7 Меню <i>Окно</i>	105
3.8 Меню <i>Помощь</i>	106
Глава 4. Создание моделей в APM Studio	107
4.1 Пример создания поверхностной модели	107
<i>Общий порядок создания поверхностной модели:</i>	107
<i>Задача</i>	107
<i>Решение</i>	107
4.2 Пример создания твердотельной модели	113
<i>Общий порядок создания твердотельной модели:</i>	113
<i>Задача</i>	113
<i>Решение</i>	113
4.3 Особенности создания сборок в <i>APM Studio</i>	120
4.3.1 <i>Добавление/удаление детали</i>	120
4.3.2 <i>Работа с локальной системой координат</i>	120
Глава 5. Особенности работы с моделями, импортированными из форматов STEP	124
5.1 <i>Работа с деталью</i>	124
5.2 <i>Работа со сборкой</i>	125

Введение

Основные положения

Модуль *APM Studio* представляет собой инструмент для подготовки трехмерной модели с последующим конечно-элементным анализом. С помощью модуля *APM Studio* можно создать поверхностную или твердотельную модели, задать материал, указать граничные условия и организовать конечно-элементную сетку. При этом процедура генерация конечных элементов проводится автоматически. Кроме того, возможно импортировать в модуль *APM Studio* 3D модель (сборочную единицу) из системы Компас или других сторонних 3-х мерных редакторов, использующих формат STEP 203, STEP 242, SAT, IGES, C3D или файлы Autodesk Inventor IPT, IAM.

После генерации конечно-элементной сетки система позволяет провести следующие виды расчетов:

- статический расчет;
- нелинейный расчет (геометрическая нелинейность и контактное взаимодействие)
- расчет на устойчивость;
- расчет собственных частот и форм колебаний;
- расчет стационарной теплопроводности,
- расчет нестационарной теплопроводности.

В результате выполненных системой *APM Studio* расчетов Вы можете получить следующую информацию:

- карту распределения нагрузок, напряжений, деформаций в конструкции;
- коэффициент запаса устойчивости конструкции;
- частоты и формы собственных колебаний конструкции;
- карту распределения температур в конструкции;
- массу и момент инерции модели, координаты центра тяжести.

При необходимости расчета модели, включающих комбинацию стержневых, пластинчатых и объемных элементов, конечно-элементная сетка с закреплениями, совместными перемещениями и нагрузками может быть передана для последующего редактирования и расчета в модуль *APM Structure3D*.

Требования к аппаратному и программному обеспечению

Минимальные:

ОС: Windows 8/10, либо из семейства Windows Server;

Два процессора (ядра), поддерживающие 64-х разрядную адресацию.

Объем оперативной памяти – 8 ГБ.

Размер свободного пространства на жестком диске 500 ГБ.

Видеокарта Radeon или Nvidia с аппаратной поддержкой OpenGL.

Рекомендуемые:

ОС: Windows 8/10, либо из семейства Windows Server;

4-х ядерный процессор, поддерживающий 64-х разрядную адресацию.

Объем оперативной памяти – от 16 ГБ.

Размер свободного пространства на жестком диске 1,5 ТБ.

Видеокарта Radeon или Nvidia с аппаратной поддержкой OpenGL.

Глава 1. Основные понятия и определения

Основные понятия и определения

Модуль *APM Studio* в рамках системы *APM WinMachine* рассматривается как препроцессор создания моделей для конечно-элементного анализа в модуле *APM Structure 3D*. Исходя из выше изложенного факта, все основные понятия будут рассматриваться с точки зрения сопротивления материалов и создания объектов в трехмерном пространстве.

Основополагающими понятиями являются: твердотельная и поверхностная модели.

Твердотельная модель – некоторый объем произвольной конфигурации, заполненный упругим материалом (рис. 1.1). Основным способом получения твердотельной модели является проведение операций (выталкивание, вращение и т.п.) над **замкнутыми плоскими контурами** (см. главу 4).

Поверхностная модель – физическое тело, у которого один из размеров существенно меньше двух других (рис. 1.2). Основным способом получения поверхностной модели является проведение операций (выталкивание, вращение и т.п.) над **замкнутым и незамкнутыми плоскими контурами** (см. главу 4).

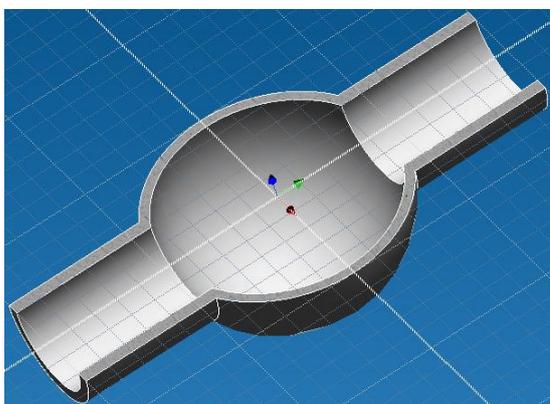


Рис. 1.1 Твердотельная модель.

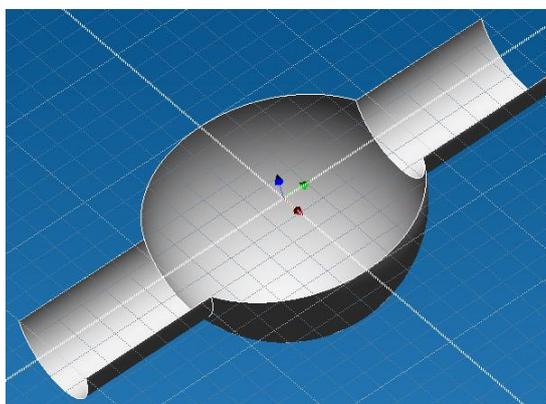


Рис. 1.2 Поверхностная модель.

Сборка – совокупность твердотельных (поверхностных) моделей, между которыми имеется различного рода связи, описывающие совместную работу данных моделей.

Эскиз – некоторая плоскость в трехмерном пространстве, предназначенная для построения различных плоских контуров и прочих графических объектов (рис. 1.3).

В дальнейшем построенные плоские контура и графические объекты будут использоваться для создания трехмерных объектов. Работа в Эскизе полностью соответствует работе в плоском графическом редакторе.

3d эскиз – некоторая трехмерная область, предназначенная для построения пространственных кривых. Основой 3d эскиза является трехмерная модель (рис. 1.4).

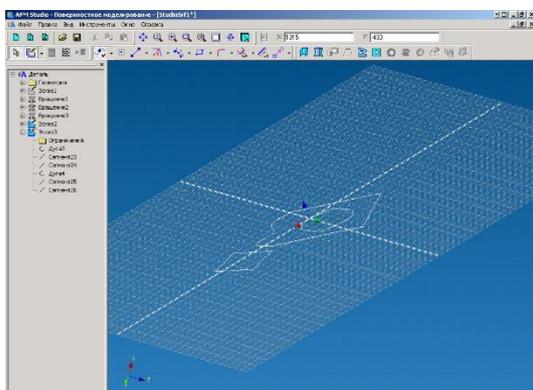


Рис. 1.3 Эскиз.

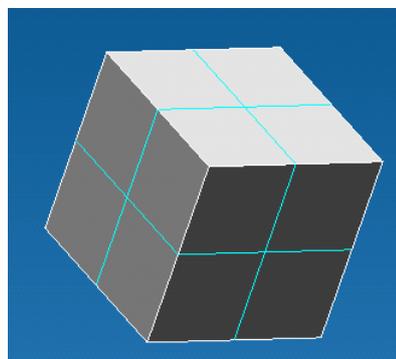


Рис. 1.4 Поверхностная модель, на базе которой предполагается построение 3d эскиза.

В состав пространственной кривой могут быть включены ребра трехмерной модели, а также прямолинейные участки, полученные путем соединения линиями узловых точек (рис. 1.5).

Практическим применением пространственной кривой является использование её как путь, при выполнении операции *Выталкивание по пути* (рис. 1.6).

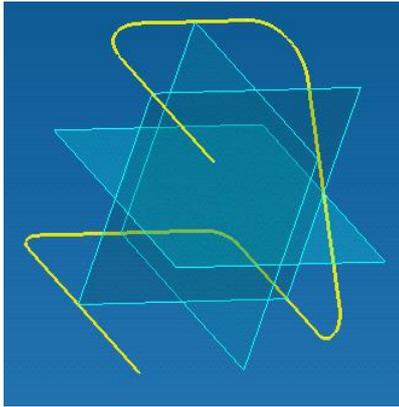


Рис. 1.5 Трехмерный эскиз.

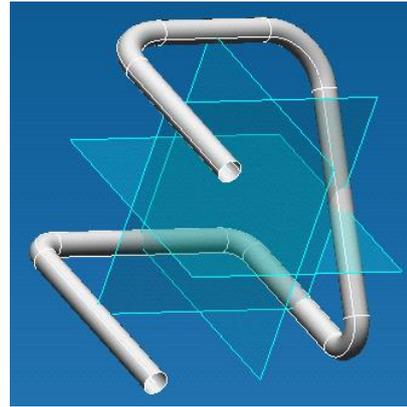


Рис. 1.6 Выталкивание по пути с использованием трехмерной кривой в качестве пути.

Виды конечных элементов – при генерации конечно-элементной сетки используются два вида конечных элементов: 4-ех узловой тетраэдр для твердотельного моделирования (рис. 1.7) 3-ех узловая треугольная пластина для поверхностного моделирования (рис. 1.8)

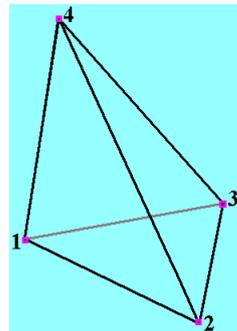


Рис. 1.7 4-ех узловой тетраэдр.

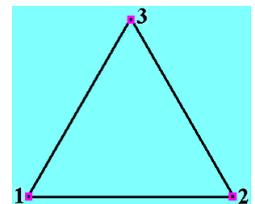


Рис. 1.8 3-ех узловая треугольная пластина.

Глобальная система координат – условная мировая система координат, характеризующая 3-ех мерное пространство.

Глава 2. Интерфейс модуля APM Studio

Общий вид APM Studio

Внешний интерфейс APM Studio (рис. 2.1) можно разделить на пять областей: главное меню, окно редактора, панели инструментов, окно дерева операций и строка состояния.

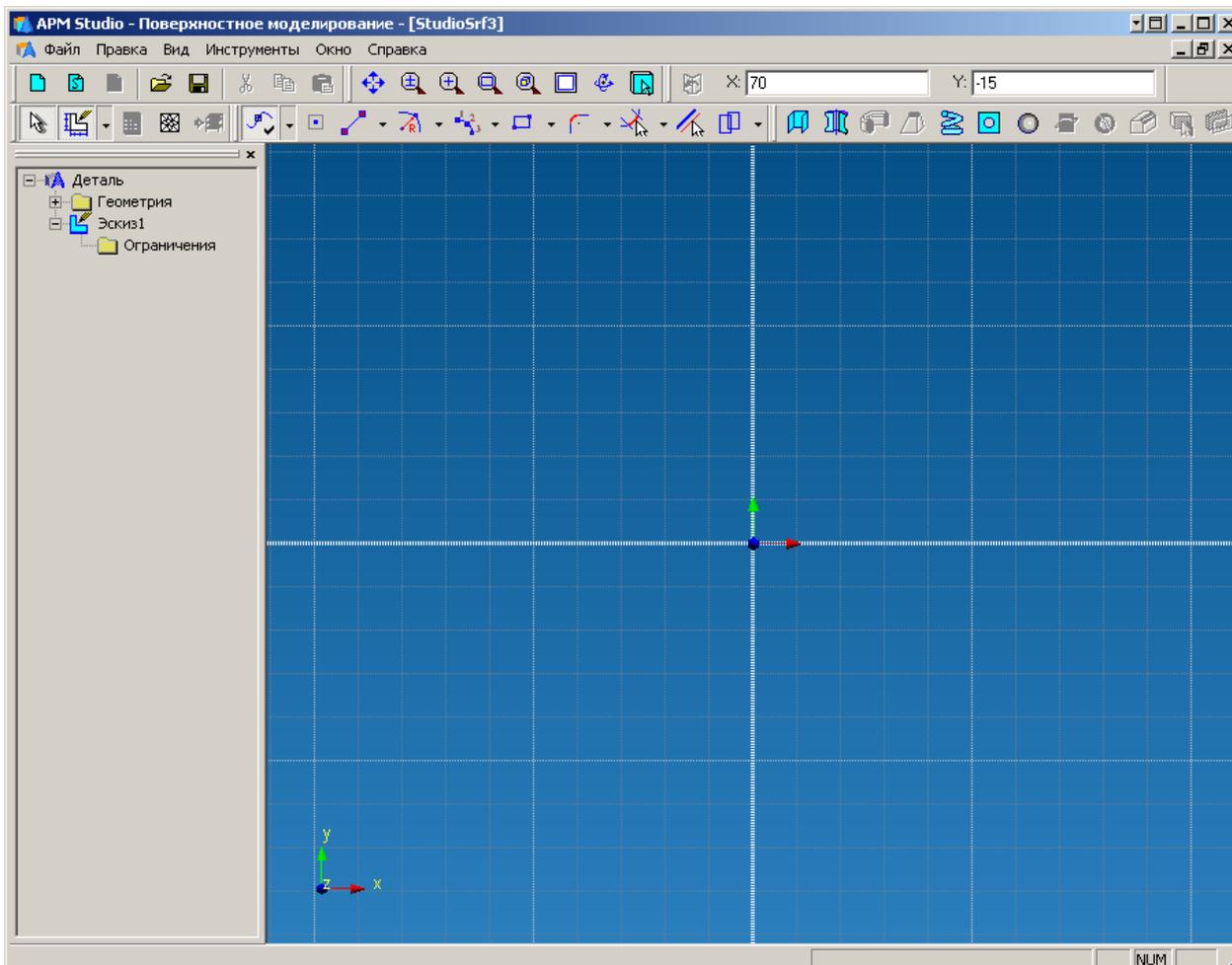


Рис. 2.1 Интерфейс модуля APM Studio.

Панели инструментов

Вы можете управлять отображением панелей инструментов данного редактора, используя пункт меню **Вид | Панели инструментов**. В редакторе используется 7 панелей инструментов: Файл, Ручной ввод, Дерево операций, Вид, Управление, Эскиз, Операции.

2.1 Панель инструментов Файл

Используя эту панель, Вы можете создать новую поверхностную, твердотельную модель или сборку, сохранить модель, создать конечно-элементную сетку и открыть ранее созданную модель.



Рис. 2.1.1 Панель инструментов Файл.

Создать поверхностную модель – команда позволяет создать новую поверхностную модель.

Ускоренный выбор:



Комбинация клавиш: Ctrl+N

Создать твердотельную модель – команда позволяет создать новую твердотельную модель.

Ускоренный выбор: 
Комбинация клавиш: Ctrl+M

Конечно-элементный анализ – команда позволяет создать новый файл конечно-элементного анализа. При этом в данный режим автоматически будет полностью перенесена активная трехмерная модель (сборка).

Ускоренный выбор: 
Комбинация клавиш: Ctrl+A

Конечно-элементный анализ сборки – команда позволяет создать новый файл конечно-элементного анализа. Данный режим позволяет создавать сборки для конечно-элементного анализа из созданных ранее в *APM Studio* трехмерных моделей компонентов. Команда вызывает диалоговое окно, в котором необходимо выбрать тип сборки.

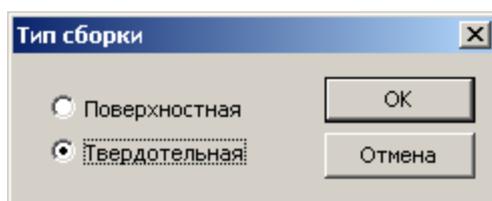


Рис. 2.1.2 Диалоговое окно Тип сборки.

Ускоренный выбор: 

Открыть – команда позволяет открыть ранее созданный файл. После вызова команды на экране появляется стандартное диалоговое окно *Открытие файла*.

Ускоренный выбор: 
Комбинация клавиш: Ctrl+O

Сохранить – команда сохраняет активную модель в файле следующих форматов:

- поверхностная модель - *.ams
- твердотельная модель - *.amr
- конечно-элементный анализ поверхностной (твердотельной) модели - *.ssa
- конечно-элементный анализ сборки - *.saa.

После вызова команды на экране появляется стандартное диалоговое окно *Сохранение файла*. Если схема ранее не сохранялась, то появится диалоговое окно *Сохранить как...*

Ускоренный выбор: 
Комбинация клавиш: Ctrl+S

2.2 Панель инструментов Дерево операций

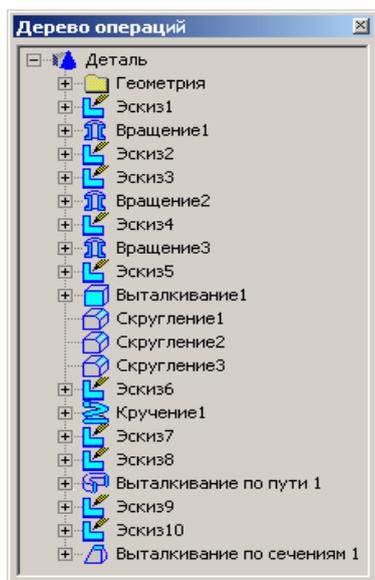


Рис. 2.2.1 Панель инструментов Дерево операций.

Если в режиме выбора объекта выделить Эскиз и нажать правую кнопку мыши, то появится контекстное меню, в котором будут доступны следующие команды (Рис 2.2.2).

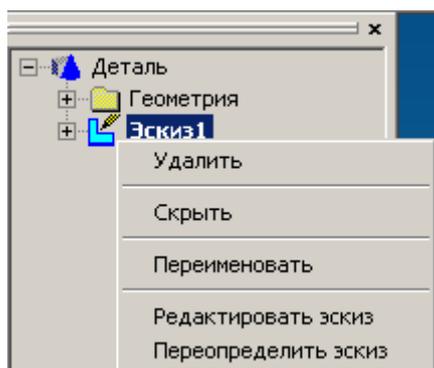


Рис. 2.2.2 Контекстное меню по работе с эскизом в дереве операций.

Удалить – данная команда позволит Вам удалить выделенный эскиз.

Скрыть – данная команда позволит Вам сделать невидимым выбранный эскиз.

Переименовать – данная команда позволит Вам изменить имя эскиза

Редактировать Эскиз – данная команда позволит Вам перейти в выделенный эскиз для внесения в нем изменений.

Переопределить Эскиз - данная команда позволит Вам совместить эскиз с любым стандартным видом.

Если в режиме выбора объекта выделить 3D Эскиз и нажать правую кнопку мыши, то появится контекстное меню, в котором будут доступны следующие команды (Рис 2.2.3).

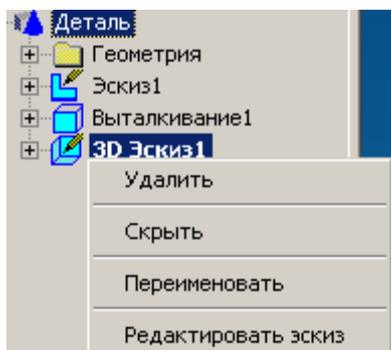


Рис. 2.2.3 Контекстное меню по работе с 3d эскизом в дереве операций.

Удалить – данная команда позволит Вам удалить выделенный 3d эскиз.

Скрыть – данная команда позволит Вам сделать невидимым выбранный 3d эскиз.

Переименовать – данная команда позволит Вам изменить имя 3d эскиза.

Редактировать Эскиз – данная команда позволит Вам перейти в выделенный 3d эскиз для внесения в нем изменений.

Если в режиме выбора объекта выделить любую операцию и нажать правую кнопку мыши, то появится контекстное меню, в котором будут доступны следующие команды (Рис 2.2.4).

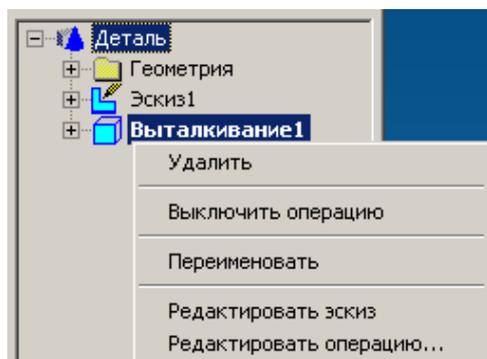


Рис. 2.2.4 Контекстное меню по работе с операциями в дереве операций.

Удалить – данная команда позволит Вам удалить выделенную операцию.

Скрыть – данная команда позволит Вам сделать невидимой выбранную операцию.

Переименовать – данная команда позволит Вам изменить имя операции.

Редактировать Эскиз – данная команда позволит Вам перейти в выделенный эскиз, элементы которого используются выделенной операцией, для внесения в нем изменений. При этом адекватно изменению эскизу, изменится и результат той или иной операции.

Редактировать операцию – данная команда позволит Вам перейти в выделенную операцию для внесения в ней изменений.

Если при конечно-элементном анализе в режиме выбора объекта выделить какой-либо объект (нагрузку, закрепление, совместные грани) и нажать правую кнопку мыши, то появится контекстное меню, в котором будут доступны следующие команды (Рис 2.2.5).

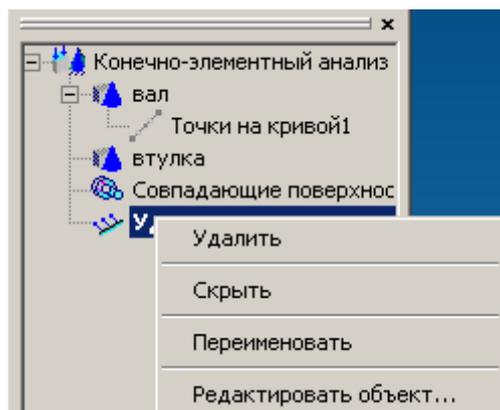


Рис. 2.2.5 Контекстное меню по работе с нагрузками в дереве операций.

Удалить – данная команда позволит Вам удалить выделенную нагрузку (закрепление).

Скрыть – данная команда позволит Вам сделать невидимой выбранную нагрузку (закрепление).

Переименовать – данная команда позволит Вам изменить имя нагрузки (закрепления).

Редактировать объект – данная команда позволит Вам внести изменения в выделенном объекте.

Также в режиме конечно-элементного анализа существует возможность выделения нескольких объектов рамкой. Охватывающая рамка (слева - направо) выделяет все объекты, которые попали внутрь рамки. Секущая рамка (справа - налево) выделяет все объекты, которые были пересечены рамкой.

Если при конечно-элементном анализе сборки в режиме выбора объекта выделить деталь, входящую в сборку, и нажать правую кнопку мыши, то появится контекстное меню, в котором будут доступны следующие команды (Рис 2.2.6).

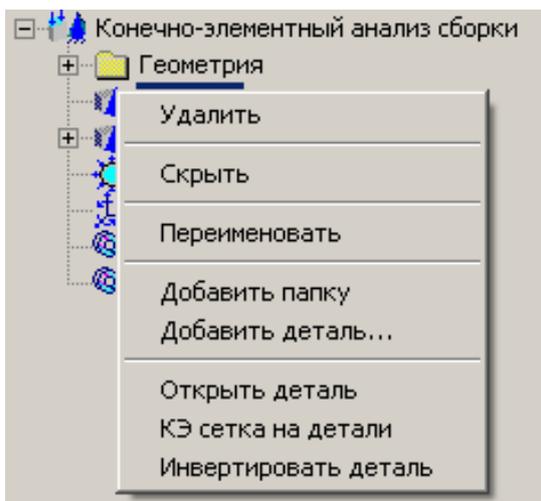


Рис. 2.2.6 Контекстное меню по работе с деталями в дереве операций.

Удалить – данная команда позволит Вам удалить выделенную деталь.

Скрыть – данная команда позволит Вам сделать невидимой выбранную деталь.

Переименовать – данная команда позволит Вам изменить имя выбранной детали.

Добавить папку - данная команда позволит Вам добавить папку в дерево выбранной детали.

Добавить деталь - данная команда позволит Вам добавить деталь в дерево выбранной детали.

Открыть деталь - данная команда позволит Вам открыть выделенную деталь в новом окне.

КЭ сетка на детали - данная команда позволит Вам создать КЭ сетку для выбранной детали.

Инвертировать деталь – данная команда позволит инвертировать нормаль для твердотельного компонента, импортированного из формата STEP.

При создании сложных сборок, Вы можете создавать под сборки («родительско-дочерние» отношения между компонентами сборки), используя обычное перемещение компонентов курсором мыши в дереве операций. Также в режиме конечно-элементного анализа сборки существует возможность выделения рамкой нескольких компонентов сборки. В режиме конечно-элементного анализа сборки при просмотре карт результатов можно «гасить» результаты покомпонентно, используя команду *Скрыть* контекстного меню соответствующего компонента сборки.

2.3 Панель инструментов Вид

Используя эту панель, Вы можете изменять масштаб, перемещать, вращать созданные объекты в рамках рабочего окна APM Studio.



Рис. 2.3.1 Панель инструментов Вид.

Динамическое панорамирование – выбрав данную команду, Вы можете перемещать созданные Вам элементы. Для динамического панорамирования нажмите левую кнопку мыши в любом месте окна редактирования и, не отпуская, переместите ее. Адекватно перемещению мыши будет перемещаться изображение.

Ускоренный выбор:

Динамическое масштабирование – выбрав данную команду, Вы можете перемещать динамически увеличивать или уменьшать изображение. Для динамического масштабирования нажмите левую кнопку мыши в любом месте окна редактирования и, не отпуская, переместите ее вверх или вниз. При перемещении мыши вверх изображение будет увеличиваться, при перемещении вниз - уменьшаться. При этом центром масштабирования будет являться точка, находящаяся посередине экрана. Отпустив кнопку мыши, Вы зафиксируете текущее изменение масштаба. Нажав правую кнопку мыши во время масштабирования, Вы вернетесь к первоначальному состоянию.

Ускоренный выбор:

Масштабирование на определенную величину - выбрав данную команду, Вы можете увеличить изображение на заданную величину. Щелкая левой кнопкой мыши, Вы увеличиваете изображение в 1.5 раза, щелкая правой - уменьшаете в 1.5 раза. Центром масштабирования становится точка щелчка мыши.

Ускоренный выбор:

Масштабирование окном – выбрав данную команду, Вы можете выбрать необходимую область для увеличения. Нажав левую кнопку мыши, Вы устанавливаете один из углов очерчивающего прямоугольника. Выбрав нужную область, снова нажмите левую кнопку, после этого выбранная область будет увеличена до размера окна редактирования. По правой кнопке, Вы можете отменить задание окна.

Ускоренный выбор: 

Показать выделенные объекты – выбрав данную команду, Вы можете увеличить выделенные элементы модели до максимально возможного размера. Выделив интересующие элементы нажмите на кнопку «Показать выделенные объекты». После этого выбранные элементы будут увеличены до размера окна редактирования.

Ускоренный выбор: 

Показать все - выбрав данную команду, Вы можете масштабировать модель/все элементы эскиза так, чтобы они были полностью видны на экране.

Ускоренный выбор: 

Поворот вида - выбрав данную команду, Вы можете поворачивать в пространстве тот или иной вид. При выборе этой команды в рабочем окне появляется окружность с отрезками в квадрантах - инструментом трёхмерного вращения. Если курсор мыши при вращении находится вне окружности, то происходит вращение вида в плоскости экрана вокруг центра рабочего окна. Если курсор мыши при вращении находится внутри окружности, то происходит вращение вида вокруг трех осей глобальной системы координат. Данная команда может быть активирована также при нажатии на клавишу ПРОБЕЛ или CTRL.

Ускоренный выбор: 

Показать плоскость - выбрав данную команду, Вы можете совместить активный эскиз или указанную плоскость с плоскостью экрана. При активном Эскизе достаточно нажать на кнопку «Показать плоскость». Для совмещения одной из плоскостей трехмерной модели с плоскостью экрана необходимо: выбрать команду, подвести курсор мыши к интересующей плоскости и нажать левую клавишу мыши.

Ускоренный выбор: 

Стандартные виды – выпадающая панель со стандартными видами. Нажав на данную панель Вы можете выбрать один из шести стандартных видов (Спереди, Сверху, Справа, Сзади, Снизу, Слева) и один Произвольный вид. При выборе одного из видов, Ваша деталь в окне редактора повернется в основном окне и примет соответствующий вид.

Ускоренный выбор: 


2.4 Панель инструментов Управление

Используя эту панель, Вы можете создать и активизировать эскизы, выбрать тот или иной элемент, а так же перейти в режим создания конечно-элементной сетки. Вид панели зависит от выбранного режима. Панель инструментов **Управление** для поверхностной и твердотельной модели представлена на рисунке 2.4.1а, для режима конечно-элементного анализа детали (рисунок 2.4.1б) или сборки (рисунок 2.4.1в).

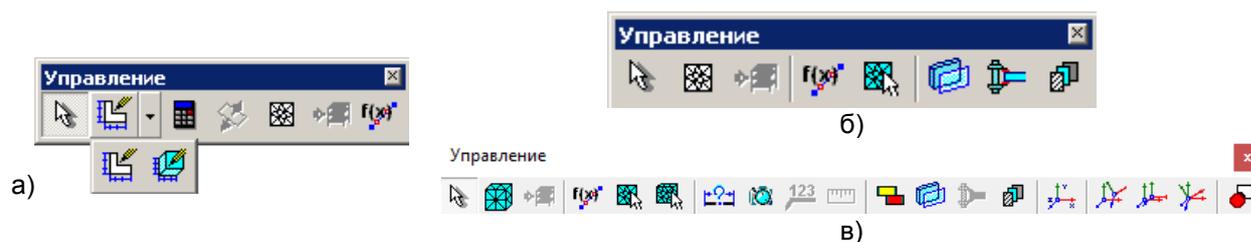


Рис. 2.4.1 Панель инструментов Управление.

Режим выбора – выбрав данную команду, Вы можете производить выбор одного или нескольких элементов.

Если Вы находитесь в эскизе, подведите курсор мыши к интересующему Вас объекту и нажмите один раз левой клавишей мыши. Удержание клавиши Ctrl позволит Вам выбирать группу элементов последовательным указанием каждого объекта по отдельности. Кроме того, выбирать группу элементов можно рамкой, для этого необходимо зажать левую клавишу мыши. Если рамку провести в направлении слева направо, то выделяются только те объекты, которые целиком попали в рамку; если в направлении справа налево, то выделяются объекты, которые какой-либо частью попали в рамку.

Если Вы находитесь в трехмерном пространстве, подведите курсор мыши к интересующему Вас объекту и нажмите один раз левой клавишей мыши.

Выбранные Вами объекты отображаются на экране красным цветом.

Ускоренный выбор: 

Новый эскиз – выбрав данную команду, Вы можете активизировать новый или уже существующий Эскиз.

Для создания нового эскиза выберите плоскую кривую, которая не была создана непосредственно в эскизе, а явилась результатом трёхмерной операции и редактор создаст для неё новый эскиз. Если по этой плоской кривой нельзя однозначно определить плоскость (например, по сегменту линии), то следует выбрать вторую кривую, которая вместе с первой однозначно определяет плоскость в пространстве.

Новый эскиз можно создать на одной из трех predeterminedных координатных плоскостей, на рабочей плоскости или плоской грани трехмерной модели.

Если Вы находитесь в режиме эскиза (для данного режим характерно наличие на экране координатной сетки), то нажатие кнопки «Новый эскиз» позволит Вам выйти из активного эскиза и перейти в трехмерное пространство.

Активный эскиз можно выбирать из ранее созданных, для этого либо в дереве операций нужно нажать левую клавишу мыши на требуемом эскизе, либо в рабочем окне нажать левую клавишу мыши на объект, принадлежащий интересующему эскизу.

Ускоренный выбор: 

Новый 3d эскиз – выбрав данную команду, Вы можете активизировать новый или уже существующий трехмерный эскиз, а так же выйти из активного 3d эскиза.

Для создания нового 3d эскиза достаточно нажать кнопку «Новый 3d эскиз». Элементами эскиза будут являться ребра трехмерной модели, кроме того, узловые точки модели могут быть соединены прямолинейными отрезками.

Для выхода из активного 3d эскиза достаточно отжать кнопку.

Для перехода в ранее созданный 3d эскиз его предварительно необходимо выделить в дереве операций и далее нажать кнопку «Новый 3d эскиз».

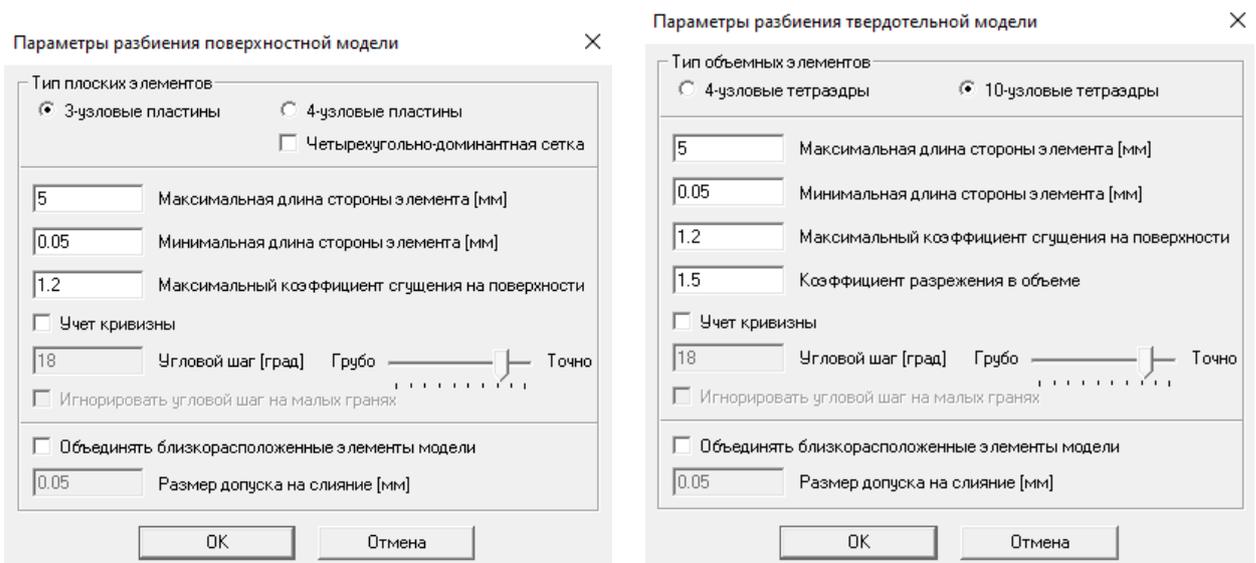
Ускоренный выбор: 

Обновить – выбрав данную команду, модуль *APM Studio* заново пересчитает и перестроит трехмерную модель.

Ускоренный выбор: 

КЭ сетка - выбрав данную команду, перед Вами появится диалоговое окно, в котором Вы можете выбрать алгоритм разбиения (для твердотельной модели) и указать параметры разбиения модели на конечные элементы. Параметры разбиения зависят от того какая это модель: поверхностная или твердотельная.

Ускоренный выбор: 



а) Параметры разбиения
поверхностной модели.

б) Параметры разбиения
твердотельной модели.

Рис. 2.4.2 Диалоговое окно Параметры разбиения.

Тип плоских элементов:

- 3-х узловые пластины - разбиение только на треугольники. Можно корректно разбить практически любую поверхность, но при одинаковом шаге получается максимальное количество конечных элементов и сетка всегда нерегулярная.

- 4-х узловые пластины - разбиение только на четырехугольники. При одинаковом шаге разбиение можно получить минимальное количество конечных элементов и регулярную сетку. Возможно появление некорректных конечных элементов при малом шаге разбиения. При использовании 4-х угольно-доминантной сетки для отдельных участков используются 3-х узловые конечные элементы, что повышает качество сетки.

Тип объемных элементов - 4-х и 10-ти узловые тетраэдры. Для 10-ти узловых тетраэдров возможен учет кривизны границ элементов.

Максимальная длина стороны элемента – величина, характеризующая размер конечного элемента в мм.:

максимальная длина стороны 3-х или 4-х угольного конечного элемента или для поверхностного моделирования;

максимальная длина ребра тетраэдра для твердотельного моделирования.

Максимальный коэффициент сгущения – величина, характеризующая во сколько раз, при адаптивной разбивке, будут уменьшены размеры конечных элементов, т.е. ограничение на минимальную сторону треугольника на поверхности. Если коэффициент сгущения равен единице, то все конечные элементы будут одного размера, адаптивная разбивка выполнена не будет.

Коэффициент разрежения в объеме – степень уменьшения стороны тетраэдра при уходе вглубь объема твердотельной модели. Чем меньше – тем более одинаковыми становятся слои КЭ. Диапазон изменения: 0.7...5.

Учет кривизны – настройка позволяет автоматически сгущать сетку у криволинейных поверхностей.

Угловой шаг – настройка, определяющая угол между нормальными элементами у криволинейной поверхности. Шаг может задаваться в поле ввода или ползунком грубо – точно.

Объединить близкорасположенные элементы модели – настройка позволяет в автоматическом режиме объединить элементы, расположенные на расстоянии, задаваемые в поле Размер допуска на слияние. Настройка позволяет игнорировать некоторые ошибки геометрии.

При включении элементов интерфейса FGA в меню Инструменты становится доступным специальный режим при генерации КЭ-сетки – «Погружение». Режим необходим для автоматического «погружения» детали в среду и совместного разбиения детали и среды на КЭ.

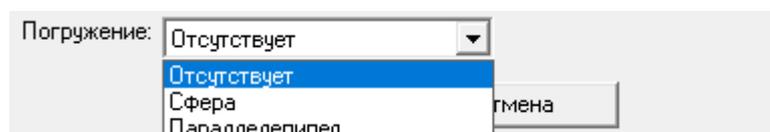


Рис. 2.4.3 Дополнительная опция Погружение

Ручная разбивка ребер – команда позволяет задать точки разбиения на ребрах, явно указывая места сгущения или разрежения. Эти точки будут учитываться при разбивке ребер на конечно-элементную сетку.

Ускоренный выбор: 

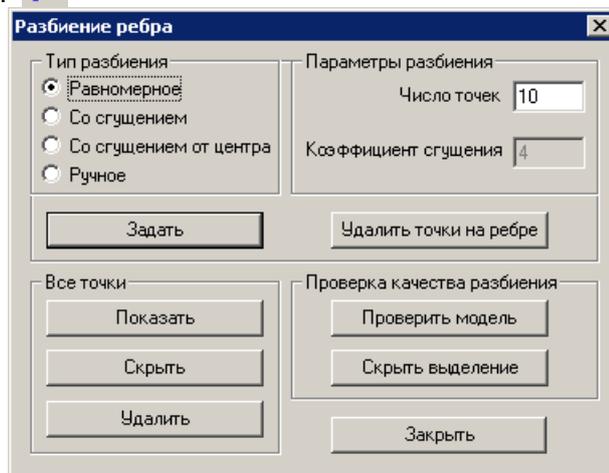


Рис. 2.4.4 Диалоговое окно параметров разбиения ребра.

Тип разбиения (рис. 2.4.5):

- Равномерное – равное расстояние между точками на ребре, тип разбиения характеризуется числом точек.
- Со сгущением – сгущение (разрежение) точек от одного конца ребра к другому. Дополнительные параметры – число точек и коэффициент сгущения. При положительном коэффициенте сгущения – сгущение точек в одном направлении, при отрицательном – в другом.
- Сгущение от центра – сгущение (разрежение) точек от середины ребра к концам. Дополнительные параметры – число точек и коэффициент сгущения. При положительном коэффициенте сгущения – сгущение точек от центра, при отрицательном – к центру.
- Ручное – указание точек на ребре с помощью мыши.левой кнопкой мыши – указываем точку. Удерживая левой кнопку мыши нажатой – перемещаем точку по ребру, если при этом точка оказывается за пределами ребра – она удаляется. Нажатие на правую кнопку мыши – отмена операции. Точно ввести расстояние от начала ребра до устанавливаемой точки можно в поле панели инструментов «Ручной ввод». Для справки число установленных на ребре точек отображается в поле «Число точек» (недоступно для редактирования).

Параметры разбиения:

- Число точек – число точек на ребре после его разбиения.
- Коэффициент сгущения – характеризует изменение расстояния между точками по ребру. Если коэффициент сгущения положительный – сгущение точек, если отрицательный – разрежение (сгущение в другом направлении), при нулевом коэффициенте сгущения – разбиение равномерное.

После задания всех параметров разбиения ребра необходимо указать с помощью мыши ребро на модели и в диалоговом окне (рис. 2.4.4) нажать кнопку *Задать*. При этом в дереве модели создается объект «Точки на ребре», а точки отрисуются на ребре в соответствии с заданными параметрами разбиения. Если заданное разбиение не устраивает можно воспользоваться кнопкой «Удалить точки на ребре» и затем задать разбиение с другими параметрами.

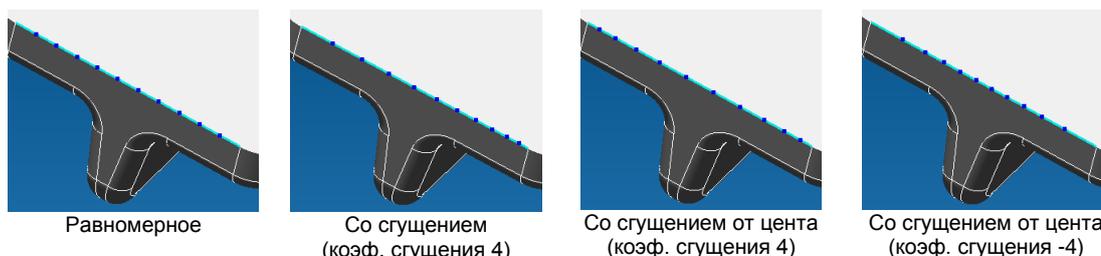


Рис. 2.4.5 Типы разбиения.

Группа *Все точки* диалогового окна позволяет показать/скрыть все точки или удалить все точки разбиения граней данной детали. При удалении система предложит подтвердить операцию.

Проверка качества разбиения:

- Проверить модель – система подсветит ребра проверка по внутренним критериям корректности пользовательского разбиения. Некорректные ребра при этом подсвечиваются.
- Скрыть выделение – скрывает подсветку предыдущего пункта.

Ограничения при работе с «Точками на кривой»:

- Нельзя редактировать точки на кривой, если к ней подходят поверхности с заданной конечно-элементной сеткой.
- Нельзя удалить объект «Точки на кривой», если они были образованы в результате разбиения грани. В данном случае необходимо сначала удалить сетку с поверхности, а потом уже точки на кривой.

Ручная разбивка граней – команда позволяет задавать разные разбиения на конечно-элементную сетку для разных поверхностей одной детали, явно указывая места сгущения. Кроме того, в этом режиме можно сгущать конечно-элементную сетку вокруг определенных узлов одной поверхности.

Данная команда работает в двух режимах:

1. Разбиение поверхностей на конечно-элементную сетку.
2. Сгущение сетки вокруг выбранного узла конечно-элементной сетки поверхности.

1. Для разбиения поверхности укажите поверхность. Выбранная поверхность при этом подсветится зеленым цветом и станут доступны поля диалогового окна для ввода параметров разбиения (рис. 2.4.6). Далее введите параметры сетки (длина стороны элемента и коэффициент сгущения) и нажмите кнопку *Разбить*. При этом в дереве модели детали создается объект «Точки на поверхности» и связанные с поверхностью объекты «Точки на кривой» (рис. 2.4.7). Сетка отрисовывается на ребре в соответствии с заданными параметрами разбиения. Если заданное разбиение не устраивает можно воспользоваться кнопкой *Удалить сетку с поверхности* и затем задать разбиение с другими параметрами.

Тип элементов, на которые будет разбиваться поверхность можно выбрать в соответствующем разделе диалогового окна.

Перед заданием новой сетки необходимо предварительно удалить точки на ребрах граней, которые остались от предыдущей сетки на поверхности, иначе новая сетка будет «привязываться» к прежним точкам на ребрах.

Группа *Все точки* диалогового окна позволяет показать/скрыть все точки или удалить все точки разбиения поверхностей данной детали (не относится к ребрам). При удалении система предложит подтвердить операцию.

Особенности разбивки граней:

- При разбиении поверхности создаются узлы на смежных ребрах в виде Точек на кривой (рис. 2.4.7). Эти точки на кривой являются связанными с сеткой на поверхности. Для удаления необходимо сначала удалить точки на поверхности (сетку), а только потом можно удалить точки на кривой.
- Если на ребрах грани присутствуют «Точки на ребре», то конечно-элементная сетка поверхности грани будет «привязана» к этим точкам для обеспечения непрерывности сетки.
- При разбиении двух поверхностей, имеющих общие ребра, сетка поверхности, разбиваемой второй, будет «привязываться» к точкам на общем ребре, полученным в результате разбиения первой поверхности для обеспечения непрерывности сетки детали.

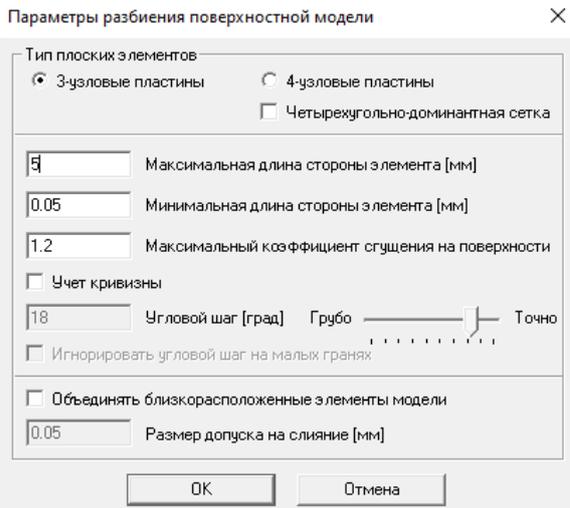


Рис. 2.4.6 Окно Разбиение поверхности.

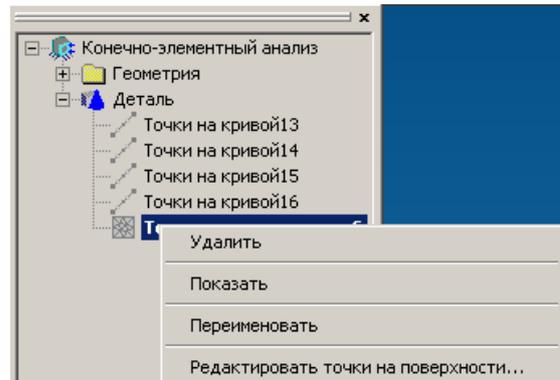


Рис. 2.4.7 Объект Точки на поверхности.

2. Для сгущения сетки выберете узел. После этого станут доступны поля для ввода параметров переразбиения (рис. 2.4.6). Введите число уровней и коэффициент сгущения и нажмите кнопку «Переразбить» (рис. 2.4.8).

Число уровней – количество рядов элементов вокруг выбранного узла, которые будут переразбиты. Настройка «Удалить выбранный узел» позволяет использовать выбранный узел в новой разбивке (флаг выключен) или удалить выбранный узел (флаг включен).

Ускоренный выбор:

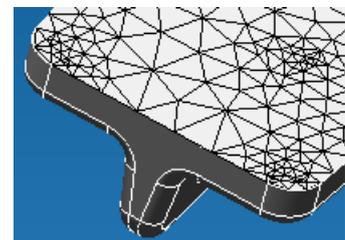


Рис. 2.4.8 Пример сетки со сгущением.

КЭ сетка на детали – команда позволяет выполнить конечно-элементное разбиение каждой входящей в состав сборки детали с собственными параметрами. После указания детали, которую нужно разбить, появляется диалоговое окно для задания параметров разбивки (Рис. 2.4.9).

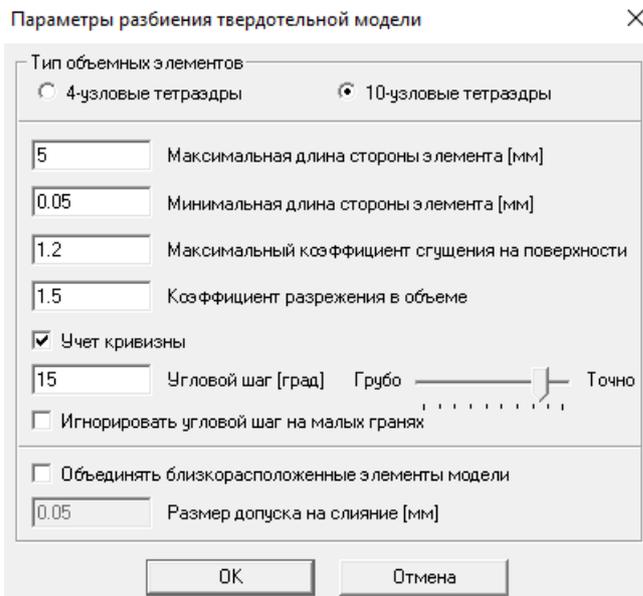


Рис. 2.4.9 Диалоговое окно задания параметров разбивки твердотельной детали.

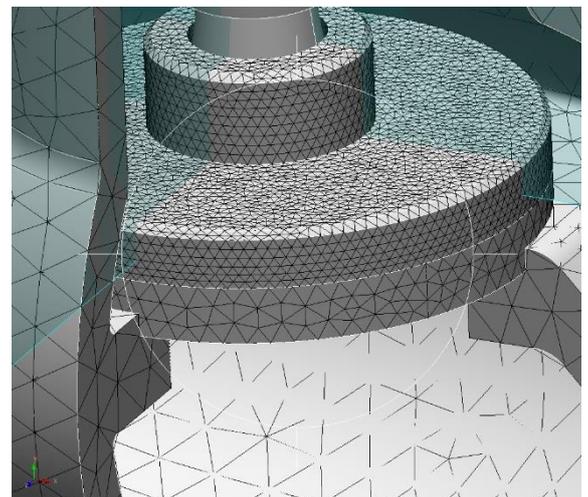


Рис. 2.4.10 Пример КЭ сетки для деталей сборки.

Ускоренный выбор:

Передать КЭ сетку в APM Structure3D – команда позволит Вам передать сгенерированную конечно-элементную сетку в модуль APM Structure3D.

Ускоренный выбор: 

Измерить дистанцию – команда позволяет определить расстояние между двумя точками. После активации команды перед Вами появится окно *Измеритель*. Укажите курсором точки, расстояние между которыми требуется определить. В окне *Измеритель* появится значение расстояния между указанными точками, а также расстояние между ними по координатным осям X, Y, Z.

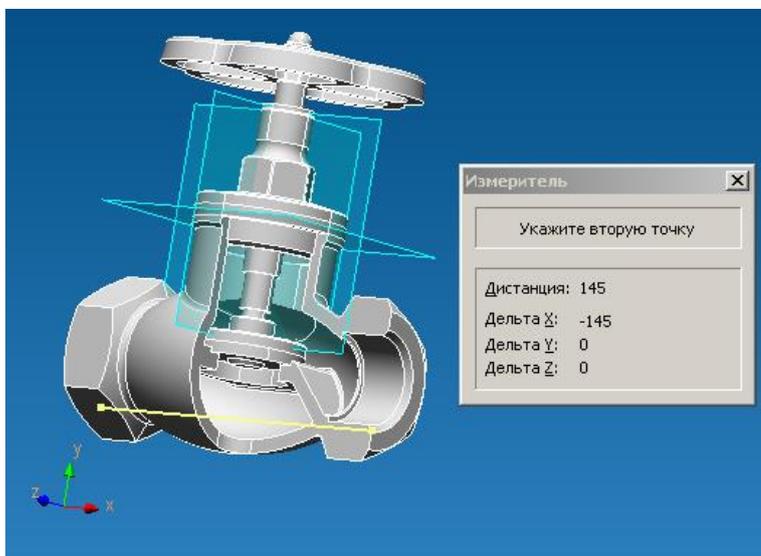


Рис. 2.4.11 Пример выполнения команды Измерить дистанцию

Ускоренный выбор: 

 **Снимок экрана.** Сохранение текущего вида модели или карты результатов в виде картинки формата *.jpg или *.bmp.

 **Выноска.** Команда для простановки выносок на карте результатов. Необходимо указать с помощью мыши точку на карте результатов и, удерживая левую кнопку мыши нажатой, отвести в сторону - в предполагаемое место численного значения выноски. После активации команды появляется диалоговое окно для возможности удаления одной или нескольких выносок. Удалить конкретную выноску можно также щелчком правой кнопки мыши на тексте выноски.

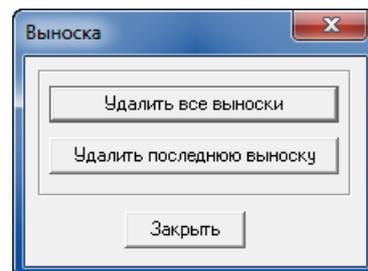


Рис. 2.4.12 Диалоговое окно Выноска.

 **Линейка.** Команда для измерения расстояния между точками на карте результатов. Первым щелчком мыши необходимо указать первую точку на карте результатов, вторым щелчком - вторую. В результате появится информационное окно с расстоянием между указанными точками.

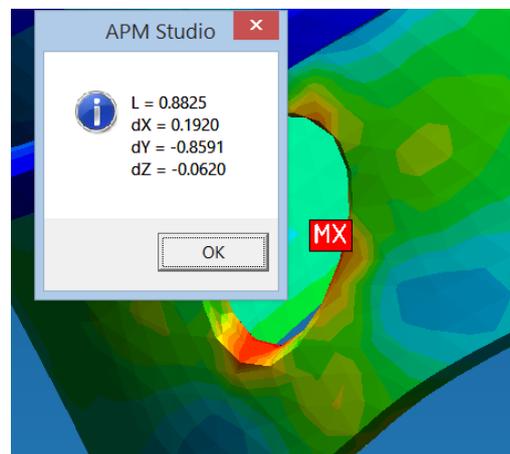


Рис. 2.4.13 Окно с расстоянием.

Задать совпадающие поверхности – команда позволяет указать, каким образом сборочные единицы связаны друг с другом. После нажатия перед Вами появится диалоговое окно.

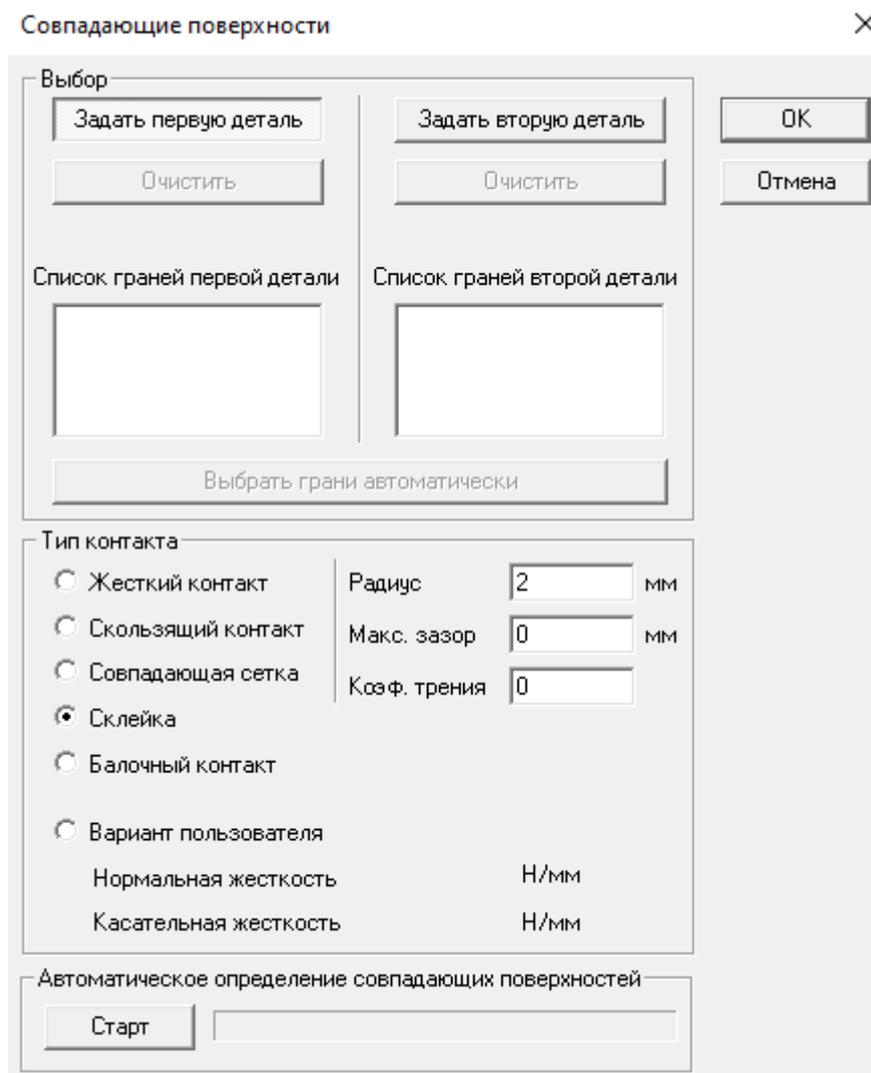


Рис. 2.4.14 Диалоговое окно задания совпадающих поверхностей.

Режим задания совпадающих граней может быть автоматический и ручной. Для автоматического поиска всех совпадающих граней нажмите кнопку *Старт*, расположенную в нижней части диалогового окна. После автоматического поиска все совпадающие грани будут размещены в дереве модели. Нажав кнопку *выбрать*, Вы в дереве модели можете указать совпадающие грани. При этом они подсветятся на самой модели. Таким образом, можно проконтролировать все автоматически созданные совпадающие грани. Для редактирования совпадающих граней нажмите правую клавишу мыши в дереве модели и в контекстном меню выберите команду *Редактировать объект...* В появившемся диалоговом окне Вы можете перезадать совпадающие грани как это описано для ручного режима задания совпадающих граней.

!!! Замечание. При нажатии на кнопку *Старт* программа определяет ВСЕ пары контактирующих деталей и выделяет ВСЕ грани. Т.е. фактически все поверхности одной детали контактируют со всеми поверхностями другой детали, что практически невозможно. Далее необходимо для каждой совпадающей грани удалить не контактирующие поверхности. Для удаления грани выберите ее в списке (грань подсветится на модели) и нажмите клавишу *Delete* на клавиатуре.

Ручной режим задания совпадающих граней проходит в два этапа: 1) задание пары деталей; 2) задание всех совпадающих граней для выбранной пары деталей. Эту операцию необходимо повторить для всех пар контактирующих деталей.

Для выбора пары деталей в данном окне необходимо нажать кнопку *Задать первую деталь* и указать первый элемент сборочной единицы. После этого на экране останется указанная деталь, а все остальные элементы сборки станут полупрозрачными. Далее указываем вторую деталь. Для этого нажимаем на кнопку *Задать вторую деталь* в диалоговом окне *Совпадающие грани*. Сразу после активизации кнопки все полупрозрачные детали станут видны в явном виде, и необходимо подвести курсор мыши ко второй детали и нажать один раз левую клавишу мыши.

После указания пары деталей необходимо указать те поверхности, которые находятся в контакте. Для этого необходимо, во-первых, нажать кнопку *Указать поверхности* первой детали. При этом все детали, кроме выбранной, станут полупрозрачными. Далее необходимо указать поверхности на модели. Для этого достаточно подвести курсор к интересующей поверхности, и нажать один раз левой клавишей мыши. Необходимо указать все поверхности, находящиеся в контакте.

После необходимо указать те поверхности второй детали, которые находятся в контакте с первой деталью. Для этого необходимо нажать кнопку *Указать поверхности* второй детали. При этом все детали, кроме выбранной, станут полупрозрачными. Далее необходимо указать поверхности на модели. Для этого достаточно подвести курсор к интересующей поверхности, и нажать один раз левой клавишей мыши. Необходимо указать все поверхности, находящиеся в контакте.

Для ускорения выбора совпадающих граней можно воспользоваться кнопкой *Выбрать грани автоматически*.

При работе со сборками возможен выбор *Типа контакта* между деталями: жесткий, скользящий и пользовательский вариант с указанием *Радиуса зоны контакта*. Для пользовательского варианта типа контакта необходимо также задание *нормальной* и *касательной* жесткостей.

Ускоренный выбор: 

Рабочая плоскость – создание новой рабочей плоскости. Подробное описание команды приводится в разделе 2.7.

Ускоренный выбор: 

Толщина пластин – с помощью этой команды можно задать толщину выделенным пластинам. При выборе данной команды появляется диалоговое окно для ввода значения толщины.

Ускоренный выбор: 

Материалы... – команда позволяет задавать для разных элементов конструкции различные материалы. После вызова команды на экране появляется диалоговое окно, в котором можно выбрать один из материалов базы данных или ввести свойства материала вручную.

Ускоренный выбор: 

Задать локальную систему координат – задание локальной системы координат (ЛСК) детали. Деталь может иметь несколько локальных систем координат. В этом режиме нужно указать деталь, потом, последовательно, точки начала и осей X, Y. В созданной ЛСК цветами обозначены оси x (красный), y (зеленый), z (синий).

Ускоренный выбор: 

Совместить локальные системы координат – позиционирование деталей посредством совмещения их локальных систем координат. Указываем первую ЛСК, потом вторую – детали позиционируются так, чтобы их ЛСК были совмещены.

Ускоренный выбор: 

Переместить локальную систему координат – перемещения созданной ранее ЛСК. Необходимо выбрать ЛСК для перемещения и задать вектор перемещения или ввести его параметры с клавиатуры.

Ускоренный выбор: 

Повернуть локальную систему координат – поворот созданной ранее ЛСК. Необходимо выбрать ЛСК для поворота и задать углы вращения.

Ускоренный выбор: 

Операции с деталями – команда позволяет совершать логические операции с деталями. Доступны операции Объединение, Вычитание, Пересечение.

Ускоренный выбор: 

2.5 Панель инструментов Эскиз

Используя эту панель, Вы можете в активном эскизе создать различные линии, окружности, дуги и прочие элементы.



Рис. 2.5.1 Панель инструментов Эскиз.

Включить/Выключить объектные привязки – нажатие на данную кнопку позволит Вам активизировать работу глобальных объектных привязок в режиме эскиза.

Ускоренный выбор: 

С помощью объектных привязок, Вы можете привязываться к характерным точкам существующих объектов эскиза.

Объектные привязки бывают двух типов:

Глобальные, которые работают всегда, если они включены;

Локальные, которые включаются на одну операцию, для того, чтобы привязаться к какой-либо одной точке.

При нажатии на кнопку «Включить/Выключить объектные привязки» активизируются глобальные объектные привязки. Для выключения режима активизации объектной привязки необходимо повторно нажать на кнопку, которая визуальнo «отожметсЯ».

Включение локальных объектных привязок осуществляются следующими способами:

- нажмите на колесико скролла мыши или на третью, среднюю, кнопку (если мышь без колесика скролла);
- нажмите одновременно клавишу Shift + правая кнопка мыши (если у используемой пользователем мыши только две кнопки).

После этого откроется контекстное меню (рис. 2.5.2), в котором нужно будет выбрать нужную привязку на предстоящую операцию.

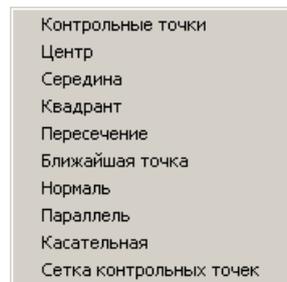


Рис. 2.5.2 Контекстное меню – Локальные объектные привязки

Включение привязки осуществляется щелчком левой кнопки мыши на выбранной привязке.

Перечень объектных привязок модуля *APM Studio*:

Название привязки	Описание
Контрольные точки	при установленном флажке при приближении курсора мыши к контрольной точке на расстояние, меньшее, чем зона чувствительности, курсор автоматически будет «перескакивать» на контрольную точку. Ускоренный выбор: 
Центр	при установленном флажке при приближении курсора мыши к окружности (дуге) на расстояние, меньшее, чем зона чувствительности, автоматически будет показана точка, соответствующая центру окружности (дуги). Ускоренный выбор: 
Середина	при установленном флажке при приближении курсора мыши к середине линии на расстояние, меньшее, чем зона чувствительности, курсор автоматически будет «перескакивать» на точку, соответствующую середине линии. Ускоренный выбор: 
Квадрант	при установленном флажке при приближении курсора мыши к точкам на окружности соответствующие углам 0, 90, 180, 270 на расстояние меньшее, чем зона чувствительности, курсор автоматически будет перескакивать на данные точки. Ускоренный выбор: 
Пересечение	при установленном флажке при приближении курсора мыши к точке соот-

	<p>ветствующей пересечению двух и более элементов на расстояние меньшее, чем зона чувствительности, курсор автоматически будет перескакивать на данную точку.</p> <p>Ускоренный выбор: </p>
Ближайшая точка	<p>при установленном флажке при приближении курсора мыши к графическому примитиву на расстояние меньшее, чем зона чувствительности, курсор автоматически будет перескакивать на ближайшую точку, принадлежащую данному примитиву.</p> <p>Ускоренный выбор: </p>
Нормаль	<p>при установленном флажке при построении графического примитива, автоматически будет выделяться красным цветом тот объект, к которому строящийся примитив, при текущем положении курсора, будет нормален. Данную объектную привязку наиболее целесообразно использовать, когда необходимо построить отрезок перпендикулярно какому-либо графическому примитиву.</p> <p>Ускоренный выбор: </p>
Параллель	<p>при установленном флажке при построении графического примитива, автоматически будет выделяться красным цветом тот объект, к которому строящийся примитив, при текущем положении курсора, будет параллелен. Данную объектную привязку наиболее целесообразно использовать, когда необходимо построить отрезок параллельно какому-либо графическому примитиву.</p> <p>Ускоренный выбор: </p>
Касательная	<p>при установленном флажке при построении графического примитива, автоматически будет выделяться красным цветом тот объект (окружность, дуга, эллипс, сплайн, би-сплайн), к которому строящийся примитив, при текущем положении курсора, будет располагаться касательно. Данную объектную привязку наиболее целесообразно использовать, когда необходимо построить отрезок касательно к окружности, дуге, эллипсу, сплайну, би-сплайну.</p> <p>Ускоренный выбор: </p>
Сетка контрольных точек	<p>при установленном флажке при перемещении курсора мыши по окну редактора данная привязка сработает в случае совпадения координат курсора с координатами контрольных точек.</p> <p>Ускоренный выбор: </p>

Рисовать узел – позволяет поставить узел в плоскости эскиза.

Используя панель инструментов Ручной ввод (рис. 2.5.3) Вы имеете возможность ввести координаты узлы с клавиатуры.



Рис. 2.5.3 Панель инструментов Ручной ввод.

Ускоренный выбор: 

Рисовать отрезок – данная команда позволит Вам начертить в эскизе прямолинейный отрезок.

Последовательное нажатие на кнопку  в панели инструментов Ручной ввод активизирует возможность задания длины отрезков с клавиатуры различными способами:

по длине и углу



по координате 2-ой точке



по смещению относительно 1-ой точки



Ускоренный выбор:



Рисовать сплайн – данная команда позволит Вам начертить в эскизе сплайн.

Сплайнами называются гладкие кривые 3-го порядка, которые обладают непрерывными производными второго порядка в точках соединения сегментов, при этом все указанные на эскизе точки будут принадлежать кривой.

Чтобы построить сплайн необходимо поставить характерные точки кривой путем нажатия левой клавиши мыши. Для задания точного положения точек в эскизе необходимо обратиться к панели Ручной ввод (рис. 2.5.4), и указать координаты X и Y.



Рис. 2.5.4 Панель инструментов Ручной ввод.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения кривой и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим рисования.

Ускоренный выбор:



Рисовать би-сплайн – данная команда позволит Вам начертить в эскизе би-сплайн. Би-сплайнами называют однородные нерациональные B-сплайны, которые в отличие от сплайновой кривой 3-го порядка проходит не непосредственно через вершины многоугольника, а «сглаживают» эти углы. Чтобы построить би-сплайн необходимо выбрать команду «Рисовать би-сплайн», после чего перед Вами появится диалоговое окно Параметры би-сплайна (рис. 2.5.5).

В данном окне Вы указываете порядок кривой, которую хотите начертить и нажимаете кнопку **OK** диалогового окна «Параметры би-сплайна». Далее путем нажатия левой клавиши мыши ставите все необходимые точки на эскизе. После построения всех необходимых точек необходимо нажать клавишу **Enter** на клавиатуре, тем самым Вы зафиксируете кривую на эскизе.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения кривой и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим рисования.

Ускоренный выбор:

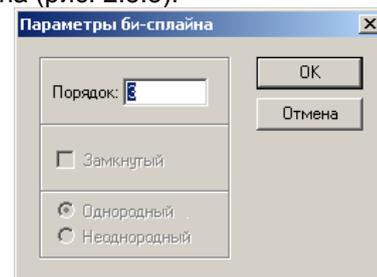


Рис. 2.5.5 Диалоговое окно Параметры би-сплайна.

Рисовать окружность по центру и радиусу - данная команда позволит Вам начертить в эскизе окружность по центру и радиусу.

Для создания окружности с помощью мыши достаточно щелкнуть по точке, которая будет являться центром окружности, а затем, смещая курсор, зафиксировать вторым щелчком вторую точку на окружности, заканчивая тем самым ее создание. В промежутке между первым и вторым щелчками мыши, за курсором будет тянуться динамический объект, отрисовываемый линией желтого цвета.

Однако Вы можете точно задать параметры окружности с клавиатуры. Чтобы задать координаты центральной точки, достаточно обратиться к панели инструментов «Ручной ввод» (рис. 2.5.6).



Рис. 2.5.6 Панель инструментов Ручной ввод.

После ввода координат точки, она подсветится желтым цветом на эскизе. Если Вас устраивает данное расположение, нажмите левую клавишу мыши, тем самым Вы зафиксируете положение этой точки на Эскизе.

Далее, последовательное нажатие на кнопку  в панели инструментов Ручной ввод активирует возможность задания радиуса окружности с клавиатуры различными способами:

по точке принадлежащей окружности
по радиусу окружности
по диаметру окружности

X:	-20	Y:	30
R:	49.4974746831		
D:	67.082039325		

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения окружности и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим рисования.

Ускоренный выбор: 

Рисовать окружность по двум точкам на диаметре – данная команда позволит Вам начертить в эскизе окружность по двум точкам, которые однозначно зададут отрезок, являющейся диаметром создаваемой окружности.

Для создания окружности с помощью мыши достаточно щелкнуть по точке, которая будет являться первой точкой диаметра окружности, а затем, смещая курсор, зафиксировать вторым щелчком вторую точку на диаметре окружности, заканчивая тем самым ее создание.

В промежутке между первым и вторым щелчками мыши, за курсором будет тянуться динамический объект в виде окружности, отрисовываемой линией желтого цвета. Кроме того, на эскизе будут показаны 3 точки, которые будут обозначать начало диаметрального отрезка, конец диаметрального отрезка, а так же точку, характеризующую центр окружности. Однако Вы можете точно задать параметры окружности с клавиатуры. Чтобы задать координаты первой точки диаметрального отрезка, достаточно обратиться к панели инструментов Ручной ввод (рис. 2.5.7).

Ручной ввод			
X:	-60	Y:	0

Рис. 2.5.7 Панель инструментов Ручной ввод.

После ввода координат точки, она подсветится желтым цветом на эскизе. Если Вас устраивает данное расположение, нажмите левую клавишу мыши, тем самым Вы зафиксируете положение этой точки на Эскизе.

Далее, последовательное нажатие на кнопку  в панели инструментов Ручной ввод активизирует возможность задания диаметрального отрезка с клавиатуры различными способами:

по координате конца диаметрального отрезка
по длине и углу диаметрального отрезка
по смещению относительно первой точки

X:	45	Y:	5
D:	50	A:	0
dX:	45	dY:	10

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения окружности и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим рисования.

Ускоренный выбор: 

Рисовать окружность по двум точкам и радиусу - данная команда позволит Вам начертить в эскизе окружность по двум точкам и радиусу.

Для создания окружности этим способом с помощью мыши следует сначала задать две точки окружности, щелкнув левой кнопкой сначала по первой, а затем по второй. После ввода второй точки (второго щелчка мышью), за курсором будет тянуться динамический объект в виде двух радиусов, выходящих из динамического центра окружности. Кроме того, будет показывающий текущее положение окружности. Далее необходимо нажатием левой клавиши мыши задать центр создаваемой окружности.

Чтобы задать точно радиус окружности достаточно обратиться к панели инструментов Ручной ввод. Последовательное нажатие на кнопку  активизирует возможность задания радиуса с клавиатуры 2-мя способами:

по точке принадлежащей окружности
по радиусу окружности

X:	-20	Y:	30
R:	49.4974746831		

Ускоренный выбор: 

Рисовать окружность по трем точкам - данная команда позволит Вам начертить в эскизе окружность по трем точкам, принадлежащим окружности.

При создании окружности, следует последовательно ввести координаты трех точек окружности. Это может быть сделано щелчком левой кнопкой мыши, или с клавиатуры, путем введения координат этих точек в панели инструментов Ручной ввод. После задания двух точек окружности будет отрисовываться динамический объект — окружность, проходящий через две уже введенных точки и, который изменяется при изменении положения курсора. Заданием положения третьей точки окружности (или щелчком левой кнопки мыши или введением ее координат в панели инструментов Ручной ввод) завершаем создание окружности.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения окружности и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим рисования.

Ускоренный выбор: 

Рисовать эллипс по трем точкам – данная команда позволит Вам начертить в эскизе эллипс по двум осям и центру.

Установка первой точки, являющейся центром эллипса, осуществляется нажатием один раз левой клавишей мыши в плоскости Эскиза или указанием координаты X и Y в панели инструментов Ручной ввод (рис. 2.5.8).



Рис. 2.5.8 Панель инструментов Ручной ввод.

Установка второй точки, определяющую длину первой оси эллипса и ее расположение в Эскизе, осуществляется нажатием один раз левой клавишей мыши в плоскости Эскиза. Чтобы задать точно координаты достаточно обратиться к панели инструментов Ручной ввод. Последовательное нажатие на кнопку  активизирует возможность задания оси эллипса с клавиатуры 3-мя способами:

- по длине полуоси и углу
- смещением относительно центральной точки
- по координате точки



Установка третьей точки, определяющую длину второй оси эллипса, осуществляется нажатием один раз левой клавишей мыши в плоскости Эскиза. Чтобы задать точно координаты достаточно обратиться к панели инструментов Ручной ввод. Последовательное нажатие на кнопку  активизирует возможность задания оси эллипса с клавиатуры 2-мя способами:

- по длине полуоси
- по координате точки



Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения эллипса и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим рисования.

Ускоренный выбор: 

Рисование эллипса, вписанного в прямоугольник - команда позволит Вам начертить в эскизе эллипс, вписанный в прямоугольник.

Задание первой точки (начало диагонали прямоугольника, в который будет вписан эллипс) осуществляется нажатием один раз левой клавишей мыши в плоскости Эскиза или указанием координаты X и Y в панели инструментов Ручной ввод (рис. 2.5.9).



Рис. 2.5.9 Панель инструментов Ручной ввод.

Задание второй точки (конец диагонали прямоугольника, в который будет вписан эллипс) осуществляется нажатием один раз левой клавишей мыши в плоскости Эскиза. Либо можно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где последовательное нажатие на кнопку  активирует возможность задания параметров прямоугольника с клавиатуры 2-мя способами:

по длине и высоте прямоугольника

	L: 15	H: 35
	X: -15	Y: -15

по координате конца диагонали прямоугольника

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения эллипса и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим рисования.

Ускоренный выбор: 

Рисование дуги по трем точкам - данная команда позволит Вам начертить в эскизе дугу по ее началу, промежуточной точке и концу.

Для создания дуги по трем точкам следует указать первую точку дуги. Сделать это можно щелчком левой кнопки мыши (введенная точка зафиксировается), затем аналогично ввести вторую точку и при смещении указателя мыши от введенных точек к указателю курсора потянется динамический объект, отрисовываемый линией желтого цвета. Третьим щелчком левой кнопки мыши, Вы вводите третью точку, заканчивая, тем самым создание дуги.

Координаты точек можно ввести с клавиатуры, обратившись к панели инструментов **Ручной ввод** (рис. 2.5.10).



Рис. 2.5.10 Панель инструментов Ручной ввод.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения дуги и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим рисования.

Ускоренный выбор: 

Рисование дуги конечным точкам и точке на дуге - данная команда позволит Вам начертить в эскизе дугу по ее началу, концу и промежуточной точке.

Для создания дуги по конечным точкам и точке на дуге следует вначале задать первую точку дуги (ее начало). Сделать это можно щелчком левой кнопки мыши (введенная точка зафиксировается), затем аналогично ввести вторую точку и при смещении указателя мыши от введенных точек потянется динамический объект (дуга), отрисовываемый линией желтого цвета, положение которого будет зависеть от положения курсора. Третьим щелчком левой кнопки мыши, Вы вводите третью точку, заканчивая, тем самым создание дуги. Координаты точек можно ввести с клавиатуры, обратившись к панели инструментов **Ручной ввод** (рис. 2.5.11).



Рис. 2.5.11 Панель инструментов Ручной ввод.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения дуги и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим рисования.

Ускоренный выбор: 

Рисовать дугу по центральной, начальной точкам и углу - данная команда позволит Вам начертить в эскизе дугу по ее центру, началу и центральному углу.

Для создания дуги по точкам начала, центра и значению ее центрального угла следует вначале задать первую точку дуги – ее центр. Сделать это можно щелчком левой кнопки мыши (введенная точка зафиксировается), затем аналогично ввести вторую (точку начала дуги). После ввода этих точек, у Вас отрисовывается динамический объект — дуга, у которой будет изменяться (в зависимости от положения курсора) положение конечного радиуса дуги. Третьим щелчком левой кнопки мыши, Вы вводите центральный угол, заканчивая, тем самым создание дуги. Координаты

центральной точки можно ввести с клавиатуры, обратившись к панели инструментов **Ручной ввод** (рис. 2.5.12).



Рис. 2.5.12 Панель инструментов Ручной ввод.

Для задания с клавиатуры начальной точки дуги достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где последовательное нажатие на кнопку  активизирует возможность задания этой точки 2-мя способами:

по координатам начальной точки
через радиус и начальный угол дуги



Центральный угол также можно задать с клавиатуры, достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где последовательное нажатие на кнопку  активизирует возможность задания угла 2-мя способами:

по координате точки
через значение центрального угла дуги



Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения дуги и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим рисования.

Ускоренный выбор: 

Рисовать прямоугольник по диагональным точкам - данная команда позволит Вам начертить в эскизе прямоугольник по его диагонали.

Для создания прямоугольника следует вначале задать первую точку – начало диагонали прямоугольника. Сделать это можно щелчком левой кнопки мыши (введенная точка зафиксируется). После ввода первой точки, у Вас отрисовывается динамический объект — прямоугольник, у которого будет изменяться (в зависимости от положения курсора) его ширина и длина. Вторым щелчком левой кнопки мыши, Вы вводите конечную точку диагонали, заканчивая, тем самым создание прямоугольника.

Координаты первой точки можно ввести с клавиатуры, обратившись к панели инструментов **Ручной ввод** (рис. 2.5.13).



Рис. 2.5.13 Панель инструментов Ручной ввод.

Для задания с клавиатуры конечной точки диагонали прямоугольника достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где последовательное нажатие на кнопку  активизирует возможность задания параметров прямоугольника 2-мя способами:

по длине и высоте прямоугольника
по координате конечной точки диагонали



Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения прямоугольника и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим рисования.

Ускоренный выбор: 

Рисовать прямоугольник по диагональным точкам - данная команда позволит Вам начертить в эскизе прямоугольник по трем его вершинам.

Для создания прямоугольника следует вначале задать первую точку – начало прямоугольника. Сделать это можно щелчком левой кнопки мыши (введенная точка зафиксируется). После ввода первой точки, у Вас отрисовывается динамический объект — отрезок (длина прямоугольника), у которого будет изменяться (в зависимости от положения курсора) его длина. Алогичным образом

вводим вторую точку. После ввода второй точки, у Вас отрисовывается динамический объект — прямоугольник, у которого будет изменяться (в зависимости от положения курсора) его высота. Третьим щелчком левой кнопки мыши, Вы вводите третью вершину, заканчивая, тем самым создание прямоугольника.

Координаты первой точки можно ввести с клавиатуры, обратившись к панели инструментов **Ручной ввод** (рис. 2.5.14).



Рис. 2.5.14 Панель инструментов Ручной ввод.

Для задания с клавиатуры второй вершины прямоугольника достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где последовательное нажатие на кнопку  активизирует возможность задания параметров длины прямоугольника 3-мя способами:

по длине и углу стороны
 смещением относительно начальной
 точки
 по координате второй точки стороны



Для задания с клавиатуры высоты прямоугольника также достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где последовательное нажатие на кнопку  активизирует возможность задания высоты прямоугольника 2-мя способами:

по высоте прямоугольника
 по координате третьей вершины прямоугольника



Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения прямоугольника и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим рисования.

Ускоренный выбор: 

Рисовать полигон - данная команда позволит Вам начертить в эскизе правильные многоугольники.

Построение многоугольника может быть осуществлен двумя способами: по вершине; по стороне. В первом случае пользователь задает, при создании многоугольника по сути дела радиус описанной около многоугольника окружности, а во втором — вписанной. После включения соответствующего режима открывается немодальное диалоговое окно **«Многоугольник»** (рис. 2.5.15).

Наличие немодального диалогового окна не препятствует работе и с самим окном и с объектом, многоугольником, параметры которого задаются в этом окне. В этом окне следует выбрать способ создания многоугольника и задать число его вершин.

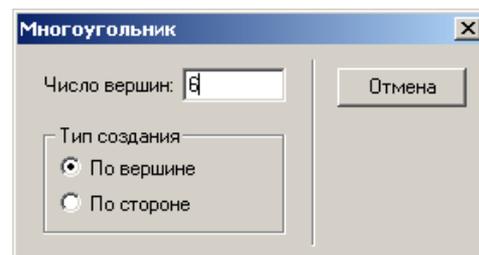


Рис. 2.5.15 Диалоговое окно Многоугольник.

Далее, следует задать центральную точку многоугольника или с помощью мыши, или заданием ее координат в панели инструментов **Ручной ввод** (рис. 2.5.16).



Рис. 2.5.16 Панель инструментов Ручной ввод.

После этого, смещая курсор, к которому будет «привязана» одна из вершин (середина стороны) многоугольника, получим динамический объект в виде многоугольника, отображаемый линией желтого цвета. Если Вы захотите после задания центральной точки многоугольника, изменить его число сторон, то это можно будет сделать, не отменяя ввод центральной точки. Достаточно изменить число вершин в диалоговом окне **Многоугольник**.

Далее необходимо зафиксировать точку, определяющую радиус описанной окружности для режима построения многоугольника по вершине или радиус вписанной окружности для режима построения многоугольника по стороне. Сделать это можно щелчком левой кнопки мыши, либо обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где последовательное нажатие на кнопку  активизирует возможность задания параметров многоугольника 3-мя способами:

по величине радиуса и углу
 смещением относительно центральной точки
 по координате точки вершины/стороны

	L: 35	A: 90
	dX: 0	dY: 25
	X: 0	Y: 45

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения многоугольника и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим рисования.

Ускоренный выбор: 

Рисовать скругление - данная команда позволит Вам построить скругление к двум объектам.

Допустимыми объектами для данной операции являются линии и дуги. Для скругления объектов необходимо указать первый и второй скругляемые объекты. Чтобы указать первый скругляемый объект, необходимо подвести к нему курсор мыши. Ближайший к курсору мыши объект будет подсвечен желтым цветом, чтобы его зафиксировать достаточно один раз нажать на него левой клавишей мыши, после чего отрезок приобретет голубой цвет, тем самым, показывая, что он выбран. Если после перемещения курсора в сторону от объекта он не будет подсвечен голубым цветом, значит, Вы не произвели его выделение.

После указания первого объекта необходимо выбрать второй скругляемый отрезок. Процедура выделения второго объекта аналогична процедуре выделения первого объекта.

После выделения двух объектов, у Вас динамически будет отрисовываться дуга, у которой будет изменяться (в зависимости от положения курсора) её радиус. Нажатием левой клавиши мыши Вы фиксируете текущее значение радиуса дуги, заканчивая, тем самым создание скругления.

Чтобы точно задать с клавиатуры радиус скругления достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, и ввести значение радиуса (рис. 2.5.17).

	R: 20.8222904518
---	------------------

Рис. 2.5.17 Панель инструментов Ручной ввод.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения скругления и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим рисования.

Ускоренный выбор: 

Рисовать фаску - данная команда позволит Вам поставить фаску к двум объектам. Допустимыми объектами для данной операции являются линии и дуги. Для установки фаски необходимо указать первый и второй объекты, на которые необходимо поставить фаску. Выделение осуществляется путем нажатия левой клавиши мыши на интересующий объект (выделенные объекты отображаются голубым цветом).

После выделения двух объектов, у Вас динамически будет отрисовываться отрезок, у которого будет изменяться (в зависимости от положения курсора) его длина. Нажатием левой клавиши мыши Вы фиксируете текущее значение параметров фаски, заканчивая, тем самым установку фаски.

Чтобы задать фаску с клавиатуры достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где последовательное нажатие на кнопку  активизирует возможность задания параметров фаски 3-мя способами:

по двум катетам
 по катету и углу
 по катету угол = 45°

	c1: 30.2520406577	c2: 30.2520406577
	c: 30.2520406577	A: 65.9483217058
	c: 30.2520406577	

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения фаски и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим рисования.

Ускоренный выбор: 

Усечь кривую - данная команда позволит Вам удалить часть кривой, ограниченную ближайшими точками пересечения этого объекта с другими объектами эскиза.

Для усечения кривой щелкните левой кнопкой мыши на той части объекта, которую необходимо удалить. При совпадении точек пересечения с концевыми точками кривой (т.е. если объект не имеет «выступающих» частей), объект будет удален.

Для того чтобы оставить указанную часть и удалить внешние относительно нее участки, при выполнении операции держите нажатой клавишу **Shift**. Правой кнопкой мыши или нажатием клавиши **Esc** Вы можете отменить операцию.

Ускоренный выбор: 

Продолжить кривую - данная команда позволит Вам продолжить указанную кривую до ближайшего объекта эскиза.

Для продолжения кривой достаточно щелкнуть на объекте левой клавишей мыши. Продолжаться будет та часть кривой ближе к концевой точке которой, находился курсор мыши. Правой кнопкой мыши или нажатием клавиши **Esc** Вы можете отменить операцию.

Ускоренный выбор: 

Смещение кривой - данная команда позволит Вам создать эквидистанту интересующего объекта.

Для того чтобы сместить кривую необходимо указать эту кривую путем нажатия на ней один раз левой клавишей мыши. Далее переместите курсор на то расстояние, на которое хотите сместить кривую и зафиксируйте положение курсора нажатием левой клавишей мыши. После этого в эскизе появится копия выделенной кривой.

Чтобы задать смещение с клавиатуры достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где необходимо указать величину смещения (рис. 2.5.18).



Рис. 2.5.18 Панель инструментов Ручной ввод.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения эквидистанты и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим рисования.

Ускоренный выбор: 

Копирование объектов - данная команда позволит Вам создать копию уже существующего в эскизе объекта.

Прежде чем непосредственно перейти к операции **Копирование** необходимо заранее выделить те объекты, копию которых вы хотите создать. Для того чтобы выделить объекты необходимо воспользоваться командой **Режим выбора**.

После выделения объектов переходим к команде **Копирование**, путем нажатия левой клавишей мыши на пиктограмму . Далее задаем базовую точку также нажатием левой клавишей мыши. После ввода базовой точки, у Вас отрисуются динамические объекты, полностью соответствующие ранее выделенным, у которых будет изменяться (в зависимости от положения курсора) их расположение в эскизе. Затем переместите курсор в новое положение и зафиксируйте путем нажатия левой клавишей мыши.

Чтобы задать базовую точку с клавиатуры достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где необходимо указать координаты точки (рис. 2.5.19).



Рис. 2.5.19 Панель инструментов Ручной ввод.

Для задания конечного положения скопированного объекта с клавиатуры достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где последовательное нажатие на кнопку  активизирует возможность задания параметров скопированного объекта 3-мя способами:

по длине и углу смещения



смещением относительно базовой точки
по координате конечной точки стороны



Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап копирования объекта и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим копирования.

Ускоренный выбор: 

Перемещение объектов - данная команда позволит Вам переместить в эскизе уже существующие объекты.

Прежде чем непосредственно перейти к операции **Перемещения** необходимо заранее выделить те объекты, которые Вы хотите переместить. Для того чтобы выделить объекты необходимо воспользоваться командой **Режим выбора**.

После выделения объектов переходим к команде **Перемещения**, путем нажатия левой клавишей мыши на пиктограмму . Далее задаем базовую точку также нажатием левой клавишей мыши. После ввода базовой точки, у Вас отрисуются динамические объекты, полностью соответствующие ранее выделенным, у которых будет изменяться (в зависимости от положения курсора) их расположение в эскизе. Затем переместите курсор в новое положение и зафиксируйте его путем нажатия левой клавиши мыши.

Чтобы задать базовую точку с клавиатуры достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где необходимо указать координаты точки (рис. 2.5.20).



Рис. 2.5.20 Панель инструментов Ручной ввод.

Для задания конечного положения перемещаемого объекта с клавиатуры достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где последовательное нажатие на кнопку  активизирует возможность задания параметров перемещаемого объекта 3-мя способами:

по длине и углу смещения
смещением относительно базовой точки
по координате конечной точки перемещения



Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап перемещения и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим перемещения объектов.

Ускоренный выбор: 

Вращение объектов - данная команда позволит Вам повернуть в эскизе уже существующие объекты на определенный угол.

Прежде чем непосредственно перейти к операции **Вращения** необходимо заранее выделить те объекты, которые Вы хотите повернуть. Для того чтобы выделить объекты необходимо воспользоваться командой **Режим выбора**.

После выделения объектов переходим к команде **Вращение объектов**, путем нажатия левой клавишей мыши на пиктограмму . Далее задаем базовую точку вращения также нажатием левой клавишей мыши. Затем переместите курсор для задания начального угла поворота. После ввода начального угла, у Вас отрисуются динамические объекты, полностью соответствующие ранее выделенным, у которых будет изменяться (в зависимости от положения курсора) их расположение в эскизе. Заключительным этапом является указание конечного угла поворота, путем нажатием левой клавиши мыши.

Чтобы задать базовую точку поворота с клавиатуры достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где необходимо указать координаты точки (рис. 2.5.21).



Рис. 2.5.21 Панель инструментов Ручной ввод.

Для задания начального угла поворота вращаемых объектов с клавиатуры достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где последовательное нажатие на кнопку  активизирует возможность задания начального угла поворота 2-мя способами:

по координате точки  X: Y:

через значение угла  A:

Для задания конечного угла поворота вращаемых объектов с клавиатуры достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где последовательное нажатие на кнопку  активизирует возможность задания конечного угла поворота 2-мя способами:

по координате точки  X: Y:

через значение угла  A:

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап поворота и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим поворота объектов.

Ускоренный выбор: 

Масштабирование объектов - данная команда позволит Вам изменить масштаб уже существующих объектов в эскизе.

Прежде чем непосредственно перейти к операции **Масштабирования** необходимо заранее выделить те объекты, для которых Вы хотите изменить масштаб. Для того чтобы выделить объекты необходимо воспользоваться командой **Режим выбора**.

После выделения объектов переходим к команде **Масштабирования объектов**, путем нажатия левой клавишей мыши на пиктограмму . Далее задаем базовую точку масштабирования также нажатием левой клавишей мыши. После ввода базовой точки масштабирования, у Вас отрисуются динамические объекты, полностью соответствующие ранее выделенным, у которых будет изменяться (в зависимости от положения курсора) их размер. Заключительным этапом является указание величины масштаба, путем нажатием левой клавиши мыши.

Чтобы задать базовую точку масштабирования с клавиатуры достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где необходимо указать координаты точки (рис. 2.5.22).



Рис. 2.5.22 Панель инструментов Ручной ввод.

Для задания коэффициента масштабирования с клавиатуры достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод** (рис. 2.5.23):



Рис. 2.5.23 Панель инструментов Ручной ввод.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап масштабирования и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим масштабирования объектов.

Ускоренный выбор: 

Создание зеркальной копии объектов - данная команда позволит Вам создать зеркальную копию уже существующих объектов в эскизе.

Прежде чем непосредственно перейти к операции **Создания зеркальной копии** необходимо заранее выделить те объекты, которые Вы хотите зеркально откопировать. Для того чтобы выделить объекты необходимо воспользоваться командой **Режим выбора**.

После выделения объектов переходим к команде **Создания зеркальной копии объектов**, путем нажатия левой клавишей мыши на пиктограмму . После выбора режима создания зеркальной копии на экране появится диалоговое окно (рис. 2.5.24), в котором Вы можете указать сохранить ли ранее выделенные объекты, или удалить их.

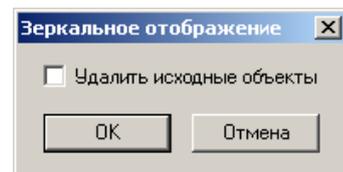


Рис. 2.5.24 Диалоговое окно Зеркальное отображение.

Чтобы удалить ранее выделенные объекты, необходимо поставить галочку рядом с надписью – *Удалить исходные объекты*. Далее задаем первую точку линии симметрии также нажатием левой клавишей мыши. После ввода первой точки линии симметрии, у Вас отрисовывается динамические объекты, полностью соответствующие копии ранее выделенным, у которых будет изменяться (в зависимости от положения курсора) их расположение. Заключительным этапом является указание второй точки линии симметрии, путем нажатием левой клавиши мыши.

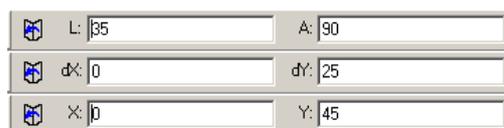
Для того чтобы ввести первую точку линии симметрии с клавиатуры, достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где необходимо указать координаты данной точки (рис. 2.5.25).



Рис. 2.5.25 Панель инструментов Ручной ввод.

Для задания конечной точки линии симметрии с клавиатуры также достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где последовательное нажатие на кнопку  активизирует возможность задания параметров отрезка 3-мя способами:

- по длине и углу
- смещением относительно первой точки
- по координате конечной точки отрезка



Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап зеркальной копии и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим создания зеркальной копии объектов.

Ускоренный выбор: 

Массив объектов - данная команда позволит Вам создать массив объектов в Эскизе.

Прежде чем непосредственно перейти к операции **Массив объектов** необходимо заранее выделить те объекты, которые станут основой массива. Для того чтобы выделить объекты необходимо воспользоваться командой **Режим выбора**.

После выделения объектов переходим к команде **Массив объектов**, путем нажатия левой клавишей мыши на пиктограмму . После выбора режима создания массива на экране появится соответствующее диалоговое окно.

Данная команда работает в двух режимах:

- Создание прямоугольного массива
- Создание полярного массива

Рассмотрим режим создания прямоугольного массива.

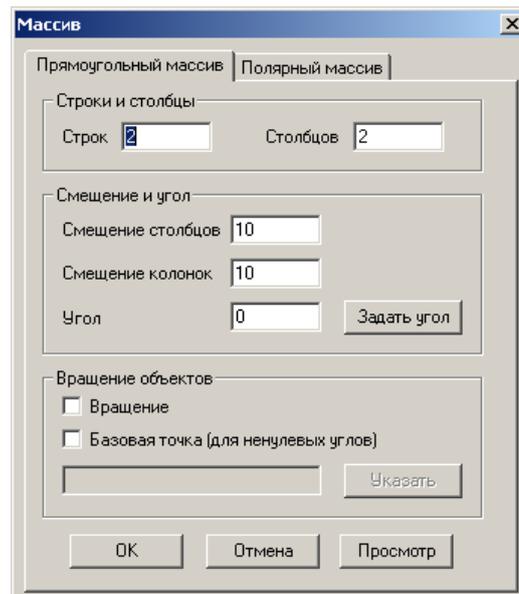


Рис. 2.5.26 Диалоговое окно Массив.

После появления диалогового окна **Массив**, необходимо активизировать закладку **Прямоугольный массив**. Далее необходимо указать числовые параметры массива:

Строк – в данном случае подразумевается, сколько аналогичных объектов будет создано по вертикали. Ввод осуществляется с клавиатуры путем указания количества строк.

Столбцов – в данном случае подразумевается, сколько аналогичных объектов будет создано по горизонтали. Ввод осуществляется с клавиатуры путем указания количества столбцов.

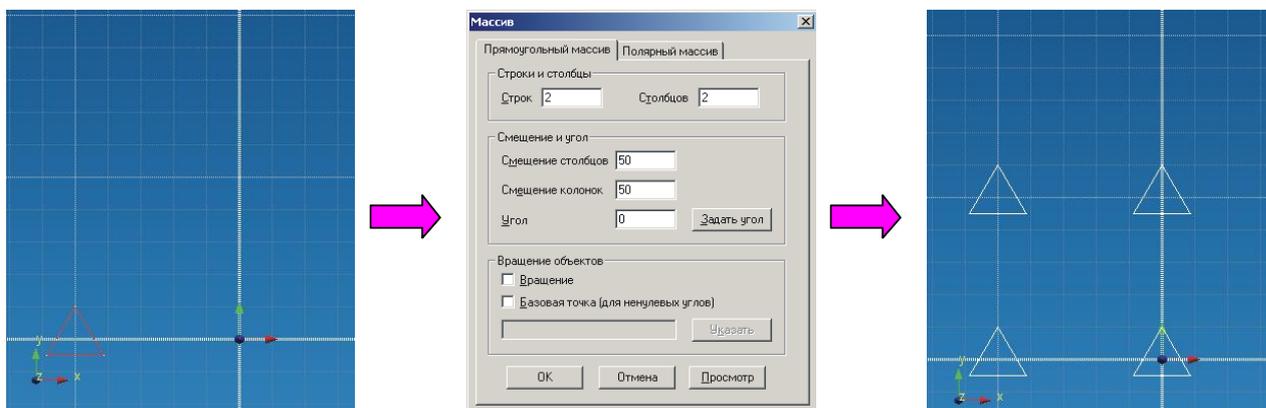
Смещение столбцов – кратчайшее расстояние между двумя соседними столбцами. Ввод осуществляется с клавиатуры путем указания необходимого значения.

Смещение колонок - кратчайшее расстояние между двумя соседними строками. Ввод осуществляется с клавиатуры путем указания необходимого значения.

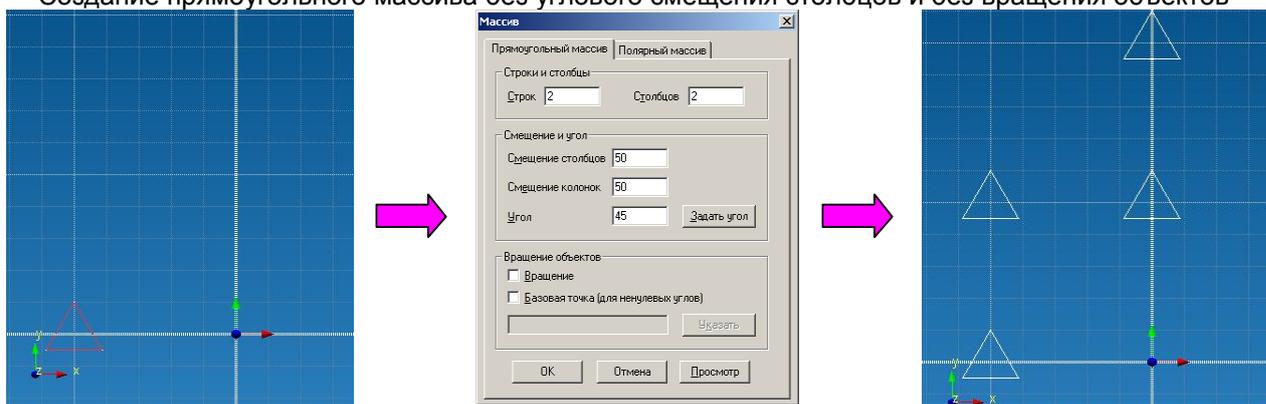
Угол – угол, на который будут смещаться соседние относительно горизонтали. Задание угла может производиться как с клавиатуры так и с использованием мыши. Чтобы воспользоваться мышью необходимо нажать кнопку **Задать угол** после чего Вы окажетесь в рабочем окне редактора где Вам надо будет начертить отрезок. Угол между созданным отрезком и горизонталью будет внесен в соответствующее поле диалогового окна **Массив**.

Вращение – данная опция позволяет вращать исходный и вновь создаваемые объекты вокруг базовой точки на угол соответствующий значению угла введенного в поле **Угол**.

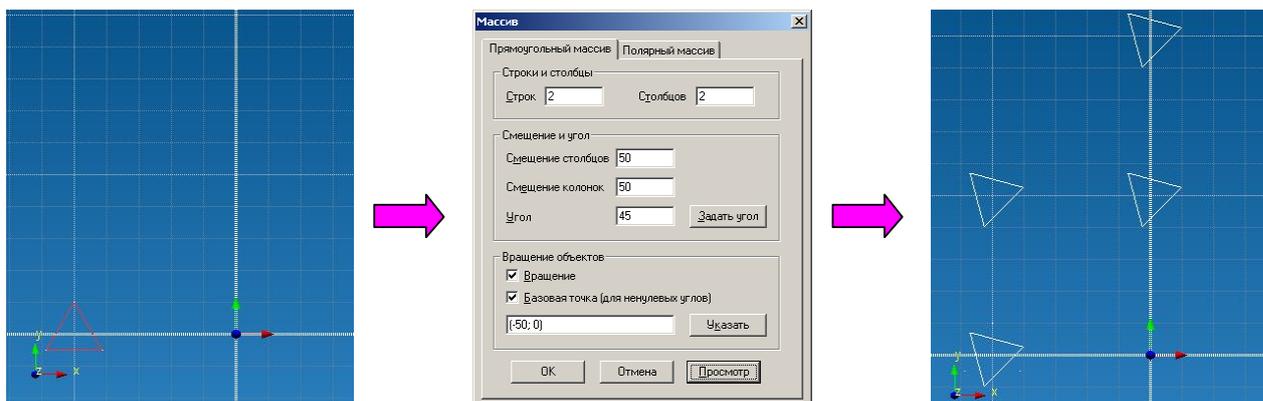
Базовая точка (для ненулевых углов) – точка вокруг которой будет происходить вращение исходного и вновь создаваемых объектов. Базовая точка задается с использованием мыши. Чтобы задать базовую точку необходимо нажать кнопку **Указать**, после чего вы окажетесь в рабочем окне редактора. Для фиксации текущего положения курсора в качестве базовой точки достаточно нажать один раз левой клавишей мыши.



Создание прямоугольного массива без углового смещения столбцов и без вращения объектов



Создание прямоугольного массива с угловым смещением столбцов и без вращения объектов



Создание прямоугольного массива с угловым смещением столбцов и с вращением объектов
Рассмотрим режим создания полярного массива.

После появления диалогового окна **Массив**, необходимо активизировать закладку **Полярный массив** (рис. 2.5.27). Далее необходимо указать числовые параметры массива:

Число объектов – количество объектов полученных в результате выполнения операции **Массив** (число объектов 2, говорит о том, что будет два объекта – ранее выделенный плюс один вновь создаваемый).

Угол заполнения – выбор данного режима предполагает задание числа объектов и угла, на котором будут равномерно распределены ранее указанное число объектов.

Угол и угол между - выбор данного режима предполагает задание угла, в пределах которого будет создан массив, а так же угла между двумя соседними объектами. В данном случае количество создаваемых объектов будет получено автоматически и поле **Число объектов** будет не активно.

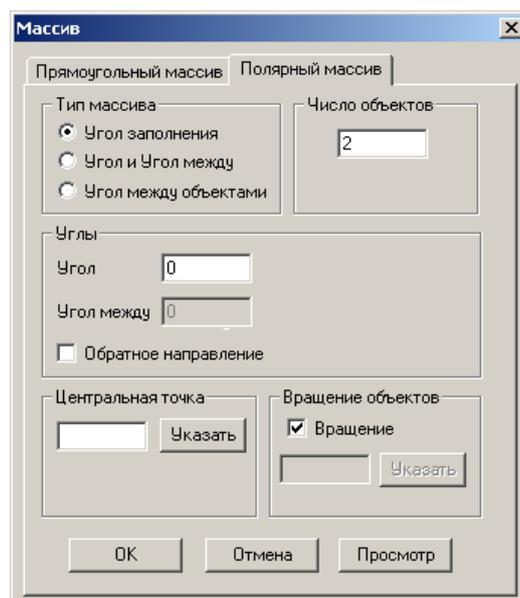


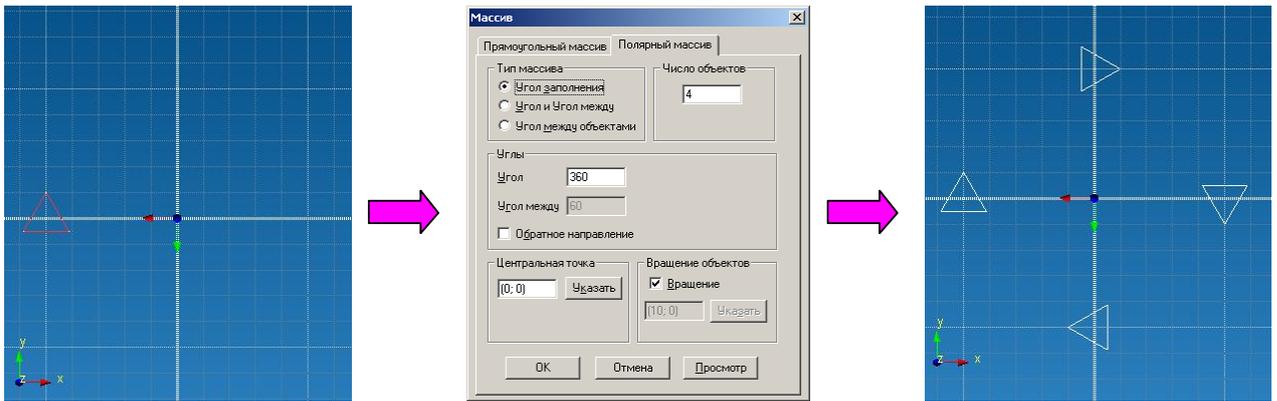
Рис. 2.5.27 Диалоговое окно Массив.

Угол между объектами - выбор данного режима предполагает задание числа объектов и угла, между двумя соседними объектами массива. В данном случае угол, на котором произойдет распределение объектов, будет получен автоматически.

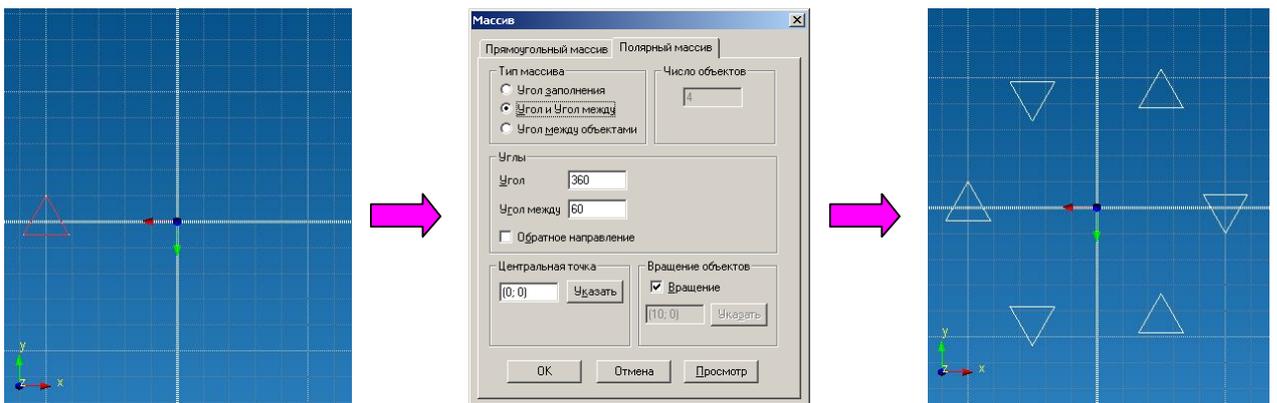
Обратное направление – установленная галочка позволит получить распределение вновь создаваемых объектов против часовой стрелки. Отсутствие галочки приведет к распределению вновь создаваемых объектов по часовой стрелке.

Центральная точка – в данном поле предлагается Вам ввести центр поворота будущего массива. Для указания центральной точки необходимо нажать кнопку **Указать**, после чего Вы окажетесь в рабочем окне редактора, где для фиксации текущего положения курсора в качестве центральной точки достаточно нажать один раз левой клавишей мыши.

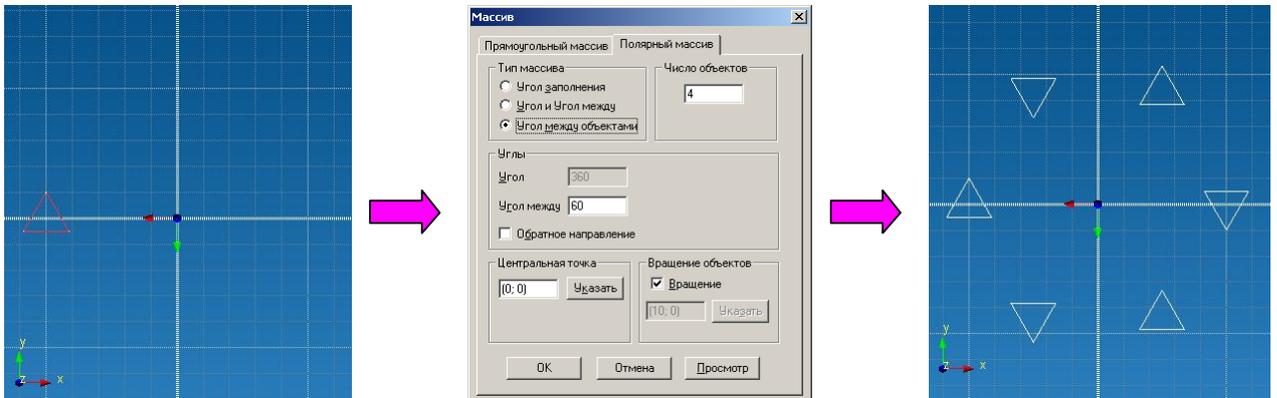
Вращение – установленная галочка позволит получить массив объектов путем вращения вокруг центральной точки, при этом радиус вращения будет определяться расстоянием между центральной точкой и геометрическим центром ранее выделенного контура.



Создание полярного массива через число объектов и угол заполнения



Создание полярного массива через угол заполнения и угол между двумя соседними объектами



Создание полярного массива через число объектов и угол между двумя соседними объектами

2.6 Панель инструментов Ручной ввод



Рис. 2.6.1 Панель инструментов Ручной ввод.

Используя эту панель, Вы можете видеть координаты положения курсора в Эскизе, а так же с клавиатуры вводить параметры создаваемых элементов (линии, дуги окружности и т.д.) в рамках активного эскиза.

2.7 Панель инструментов Операции



Рис. 2.7.1 Панель инструментов Операции в режиме создания твердотельной модели.



Рис. 2.7.2 Панель инструментов Операции в режиме создания поверхностной модели.

Используя эту панель, Вы можете создать поверхностные или твердотельные трехмерные объекты.

Рассмотрим функциональные возможности панели инструментов **Операции** в режиме Поверхностного моделирования.

Выталкивание - данная команда позволит Вам создать поверхность в качестве образующей, которой выступит выбранный Вами контур, а направляющая будет представлять собой прямую направленную по нормали к Эскизу, в котором находится образующий контур.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее были созданы элементы, которые могли бы выступить в качестве образующего контура. После нажатия на пиктограмму  перед Вами появится диалоговое окно Выталкивание (рис. 2.7.3), в котором Вы можете задать параметры операции выталкивания.

Нажатая кнопка Выбор контура, позволит Вам указать образующий контур. Причем контур может быть как замкнутым, так и незамкнутым, однако выделение происходит только одного контура. Указание контура происходит путем нажатия левой клавишей мыши один раз. Если контур состоит из нескольких элементов, то для его выделения необходимо последовательно указать все объекты, входящие в состав контура.

При подведении курсора мыши к элементу контура, данный объект будет подсвечен голубым цветом. После нажатия левой клавишей мыши на выделенный объект, произойдет «моргание» данного объекта, тем самым, показывая Вам, что объект выбран. Если после перемещения курсора от выбранного объекта его выделение пропадет, это означает, что объект не выбран. Для снятия выделения необходимо нажать на выбранный объект один раз левой клавишей мыши.

После выделения контура Вам необходимо указать дистанцию – расстояние, на которое будет вытолкнут исходный контур.

Следующим этапом будет указание направления выталкивания:

1. Выталкивание вперед на дистанцию 100 мм.

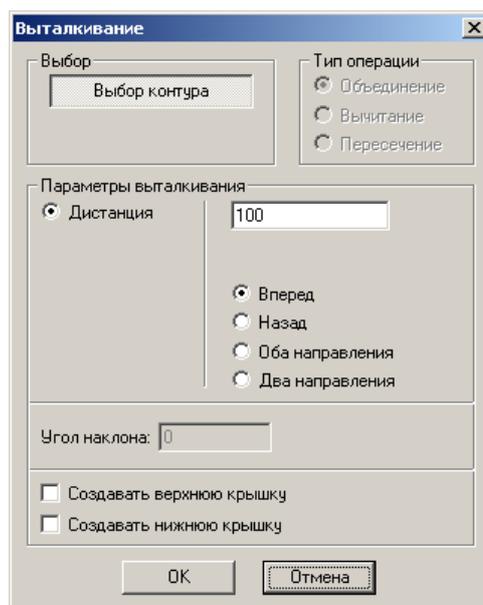
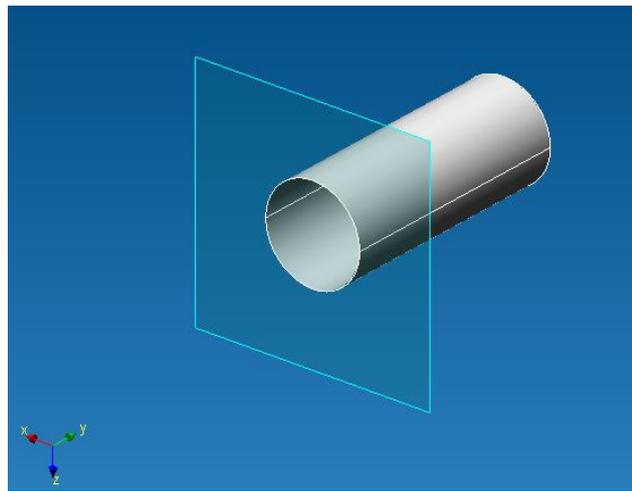
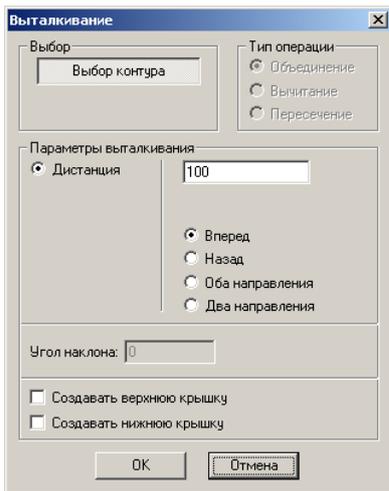
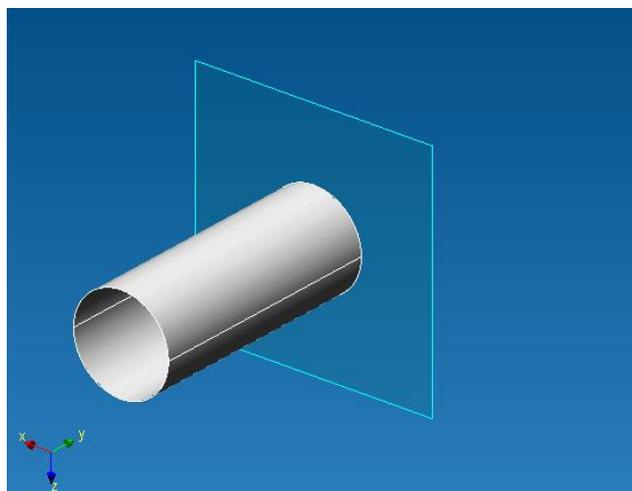
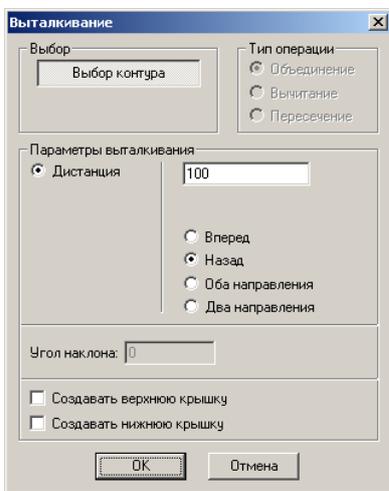


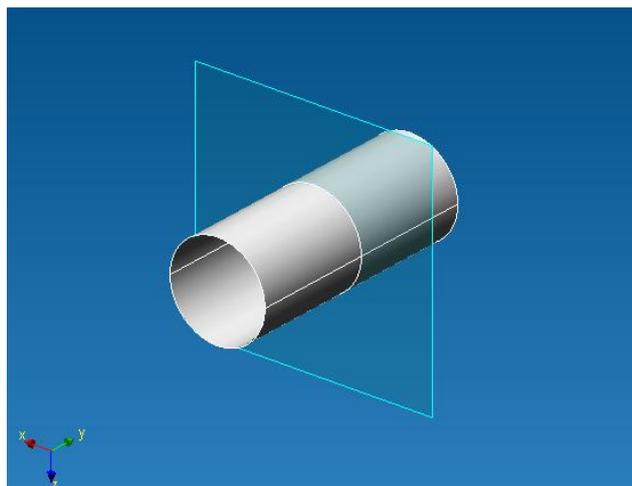
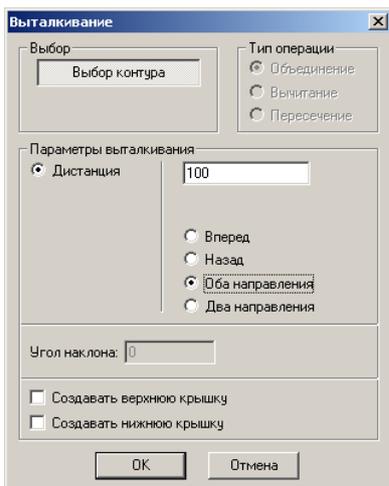
Рис. 2.7.3 Диалоговое окно Выталкивание.



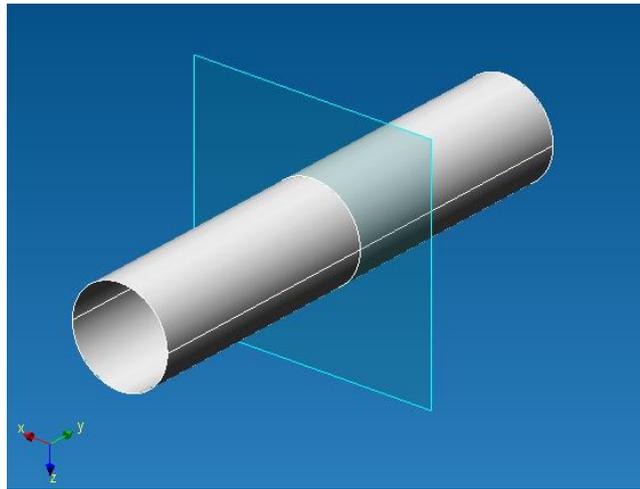
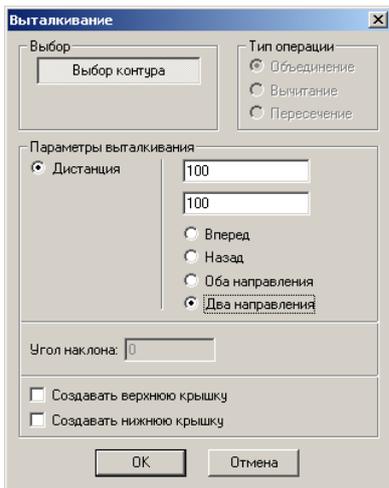
2. Выталкивание назад на дистанцию 100 мм.



3. Выталкивание в оба направления на дистанцию 100 мм (вперед 50 мм + назад 50 мм).



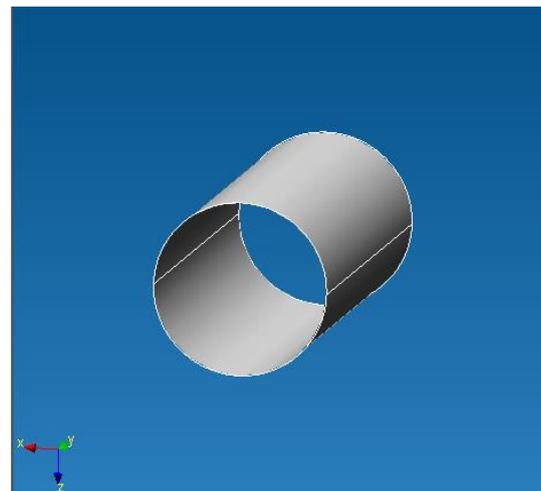
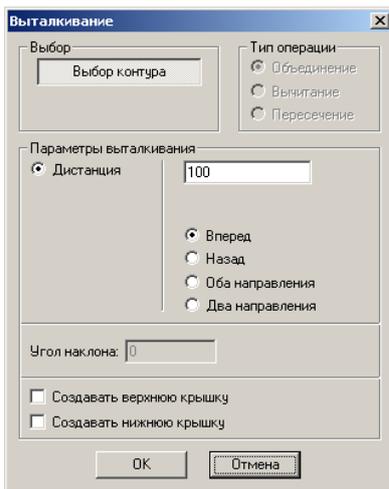
4. Выталкивание в два направления на дистанцию 100 мм (вперед 100 мм + назад 100 мм).



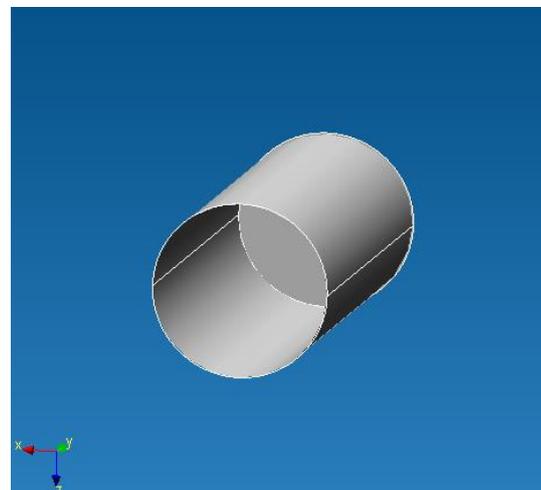
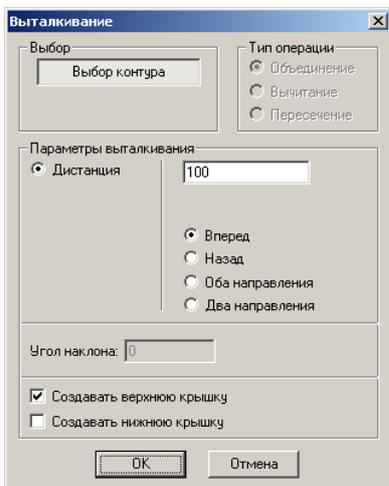
Последней опционной настройкой выступает возможность создания верхней и/или нижней крышки - замыкающих поверхностей на торцах создаваемой поверхности, что возможно только для замкнутых контуров.

Для создания верхней и нижней крышек необходимо поставить галочки напротив соответствующих надписей путем нажатия левой клавишей мыши в белых квадратах.

1. Выталкивание вперед на дистанцию 100 мм.



2. Выталкивание вперед на дистанцию 100 мм. Создавать верхнюю крышку:



Ускоренный выбор: 

Вращение - данная команда позволит Вам создать поверхность путем вращения исходного контура вокруг оси.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее были созданы элементы, которые могли бы выступить в качестве образующего контура и в качестве оси. После нажатия на пиктограмму  перед Вами появится диалоговое окно Вращение (рис. 2.7.4), в котором Вы можете задать параметры операции вращения.

Нажатая кнопка **Выбор контура**, позволит Вам указать образующий контур. Причем контур может быть как замкнутым, так и незамкнутым, однако выделение происходит только одного контура. Указание контура происходит путем нажатия левой клавишей мыши один раз. Если контур состоит из нескольких элементов, то для его выделения необходимо последовательно указать все объекты, входящие в состав контура.

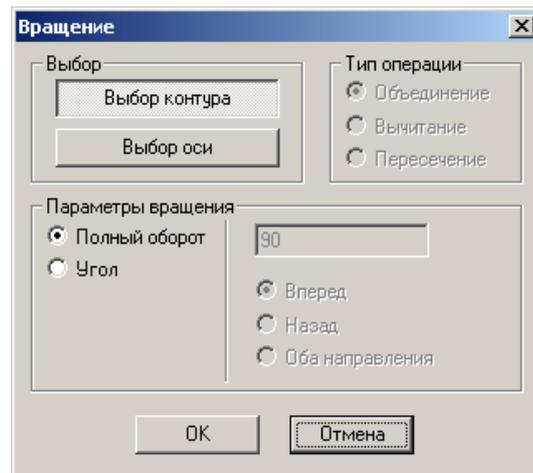


Рис. 2.7.4 Диалоговое окно Вращение.

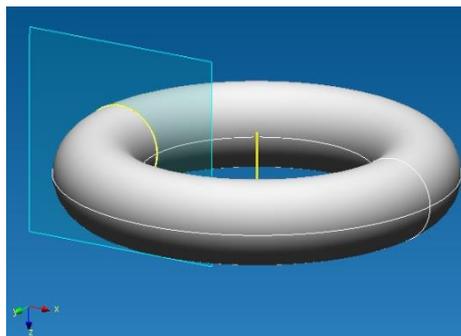
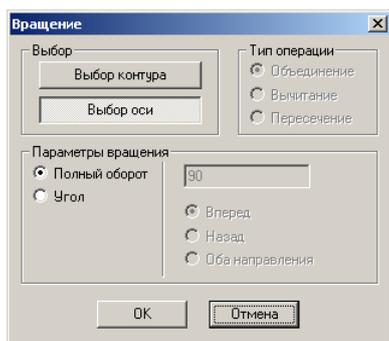
При подведении курсора мыши к элементу контура, данный объект будет подсвечен голубым цветом. После нажатия левой клавишей мыши на выделенный объект, произойдет «моргание» данного объекта, тем самым, показывая Вам, что объект выбран. Если после перемещения курсора от выбранного объекта его выделение пропадет, это означает, что объект не выбран. Для снятия выделения необходимо нажать на выбранный объект один раз левой клавишей мыши.

После выделения контура Вам в диалоговом окне Вращение зажмется кнопка **Выбор оси**, чтобы Вы указали ось симметрии путем нажатия один раз левой клавиши мыши. При подводе курсора мыши к прямолинейному отрезку (возможной оси вращения) этот объект подсветится желтым цветом. Чтобы указать объект в качестве оси вращения необходимо нажать на выбранный элемент один раз левой клавишей мыши, после чего объект отобразится голубым цветом.

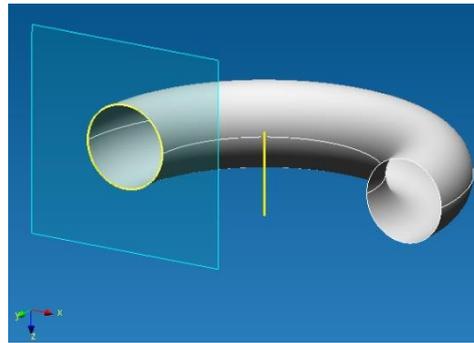
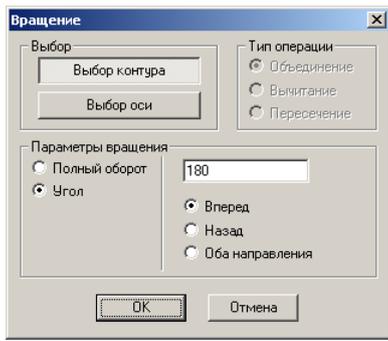
ВАЖНО!!! Исходный контур и ось симметрии должны принадлежать одному эскизу.

Заключительным этапом является указание параметров вращения:

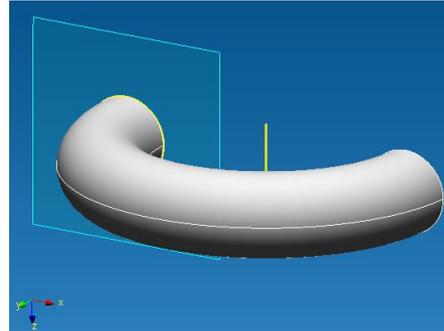
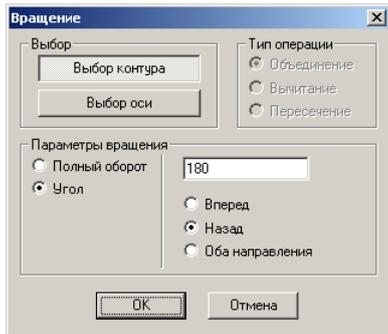
1. Полный оборот – вращение на угол 360 градусов



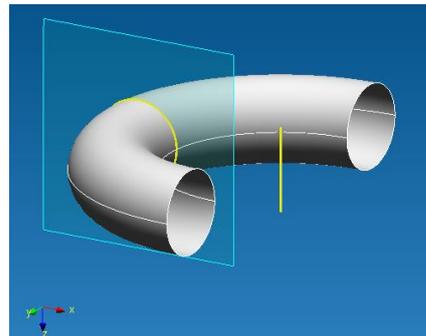
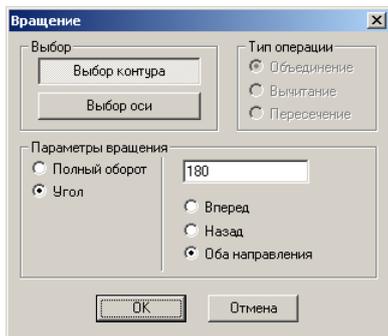
2. Угол – вращение произойдет на указанный Вами угол в определенном направлении
 - 2.1 Вращение на угол 180 градусов Вперед



2.2 Вращение на угол 180 градусов Назад



2.3 Вращение на угол 180 градусов Оба направления (вперед 90 градусов +назад 90 градусов)



Ускоренный выбор: 

Выталкивание по пути - данная команда позволит Вам создать поверхность путем проталкивания исходного контура по заданному пути.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее были созданы элементы, которые могли бы выступить в качестве образующего контура и в качестве пути.

После нажатия на пиктограмму  перед Вами появится диалоговое окно Выталкивание по пути (рис. 2.7.5).

Нажатая кнопка **Выбор контура**, позволит Вам указать образующий контур. Причем контур может быть как замкнутым, так и незамкнутым, однако выделение происходит только одного контура. Указание контура происходит путем нажатия левой клавишей мыши один раз. Если контур состоит из нескольких элементов, то для его выделения необходимо последовательно указать все объекты, входящие в состав контура.

При подведении курсора мыши к элементу контура, данный объект будет подсвечен голубым цветом. После нажатия левой клавишей мыши на выделенный объект, произойдет «моргание» данного объекта, тем самым, показывая Вам, что объект выбран. Если после перемещения

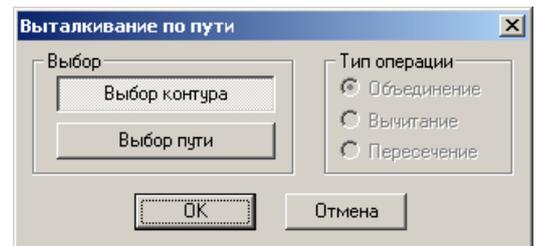
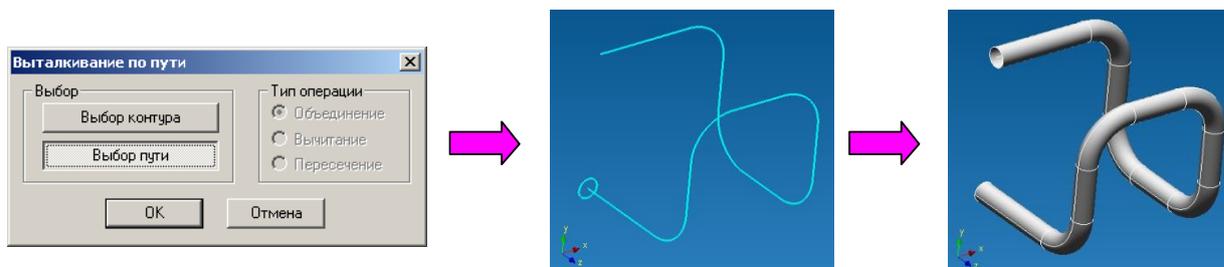


Рис. 2.7.5 Диалоговое окно Выталкивание по пути

курсора от выбранного объекта его выделение пропадет, это означает, что объект не выбран. Для снятия выделения необходимо нажать на выбранный объект один раз левой клавишей мыши.

После выделения контура Вам в диалоговом окне **Выталкивание по пути** зажмется кнопка **Выбор пути**, чтобы Вы указали путь выталкивания путем нажатия один раз левой клавиши мыши. При подводе курсора мыши к пути этот объект подсветится голубым цветом. Чтобы указать объект в качестве пути выталкивания необходимо нажать на выбранный элемент один раз левой клавишей мыши, после чего объект «моргнет» и отобразится голубым цветом.

ВАЖНО!!! Путь должен быть гладким – исключается наличие любых углов.



Ускоренный выбор:

Выталкивание по сечениям - данная команда позволит Вам создать поверхность, которая проходит через набор различных сечений.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее были созданы элементы, которые могли бы выступить в качестве образующих сечений, кроме того, они должны принадлежать разными эскизам. После нажатия на пиктограмму перед Вами появится диалоговое окно **Выталкивание по сечениям** (рис. 2.7.6).

Нажатая кнопка **Указать сечение**, позволит Вам указать набор образующий контуров. Причем контур может быть как замкнутым, так и незамкнутым, однако выделение происходит только одного контура. Указание контура происходит путем нажатия левой клавишей мыши один раз.

При подведении курсора мыши к сечению, данный объект будет подсвечен желтым цветом. После нажатия левой клавишей мыши на выделенный объект, произойдет «моргание» данного объекта и он приобретет голубой цвет, тем самым, показывая Вам, что объект выбран. Если после перемещения курсора от выбранного объекта его выделение пропадет, это означает, что объект не выбран. Для снятия выделения необходимо нажать на выбранное сечение один раз левой клавишей мыши.

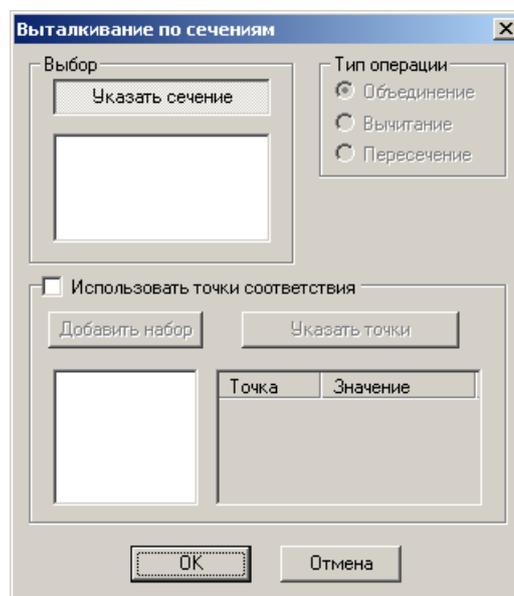


Рис. 2.7.6 Диалоговое окно **Выталкивание по сечениям**.

ВАЖНО!!! Сечения должны принадлежать различным эскизам. Исключается неоднозначность контура – контур, в котором присутствуют разветвления. При указании разветвленного контура (как замкнутого, так и незамкнутого) выделяются объекты находящиеся между точками, от которых идет разветвления (рис. 2.7.7).

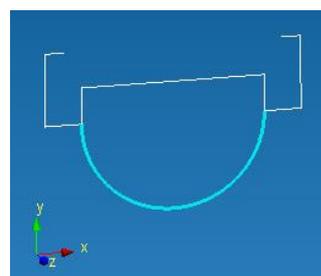


Рис. 2.7.7 Результат выделения сечения при

наличии разветвленного контура.

После указания всех интересующих Вас сечений необходимо нажать клавишу ОК в диалоговом окне **Выталкивание по сечениям**.

Рассмотрим работу команды на примере поверхности, у которой в качестве образующих сечений последовательно выступают треугольник, окружность и квадрат.

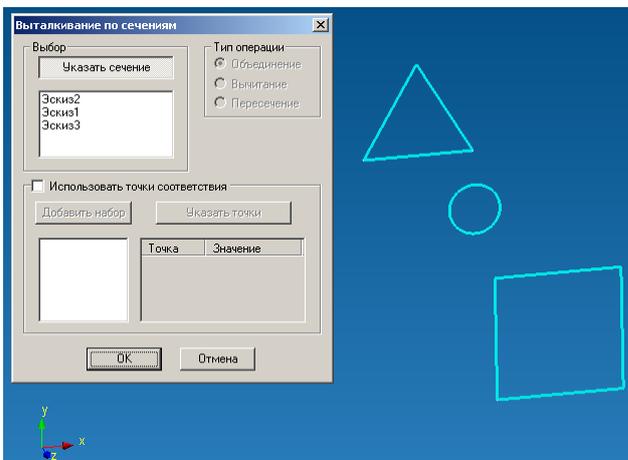


Рис. 2.7.8 Последовательно выбраны сечения треугольник, окружность и квадрат.

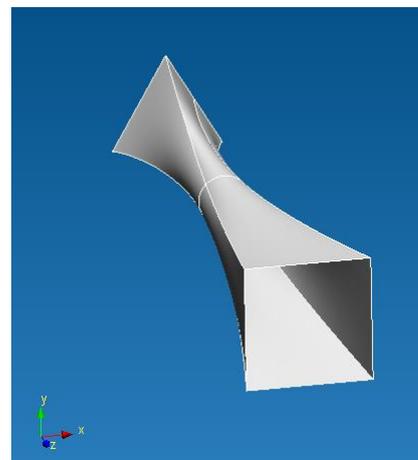


Рис. 2.7.9 Результат выполнения команды Выталкивание по сечениям.

Для удаления ранее выбранного контура необходимо выделить эскиз, которому принадлежит сечение, в списке эскизов и нажать клавишу **Delete** на клавиатуре. Чтобы выделить эскиз надо подвести курсор мыши к интересующему эскизу в диалоговом окне Выталкивание по сечениям и нажать один раз левой клавишей мыши, после чего соответствующее имя эскиза выделится синей строкой.

ВАЖНО!!! Создание поверхности будет реализовано в соответствии с порядком указания сечений.

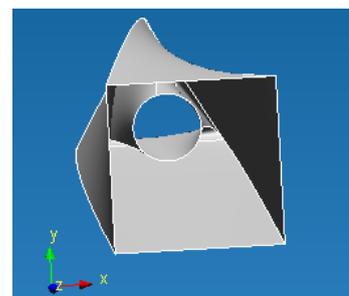


Рис. 2.7.10 Результат операции Выталкивания по сечениям в случае последовательного выбора окружности, треугольника и квадрата.

Последней опционной возможностью является использования точек соответствия. Используя набор точек соответствия, Вы однозначно укажете одну из граней вновь создаваемой поверхности, тем самым, влияя на вид этой поверхности. Для задания точек соответствия необходимо поставить галочку напротив надписи *Использовать точки соответствия* в диалоговом окне **Выталкивание по сечениям** нажатием левой клавишей мыши один раз.

После активизации режима использования точек соответствия появится первый набор, в котором будут расположены точки соответствия – Набор 1. Нажатая кнопка **Указать точки** предлагает Вам задать точки соответствия.

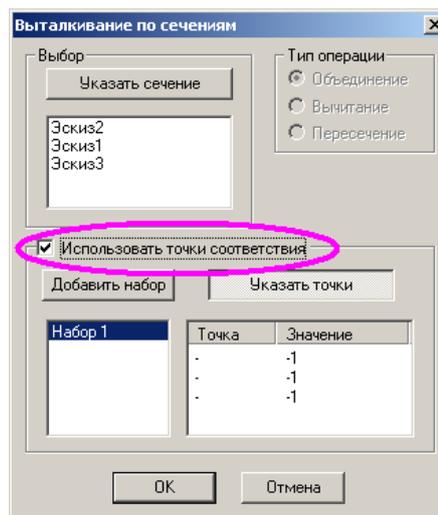


Рис. 2.7.11 Активизация режима использования точек соответствия.

Для этого необходимо подвести курсор мыши к любому объекту, входящему в состав контура. Ближайший к курсору элемент подсветится желтым цветом, тем самым, предлагая Вам задать на нем базовую точку, которая в свою очередь будет подсвечиваться зеленым цветом (рис. 2.7.12). Для фиксации положения точки достаточно нажать один раз левой клавишей мыши. Количество точек соответствия в одном наборе соответствует количеству сечений, используемых для построения поверхности.

Рассмотрим использование точек соответствия команды на примере поверхности, у которой в качестве образующих сечений последовательно выступают треугольник, окружность и квадрат (рис. 2.7.13 – рис. 2.7.16).

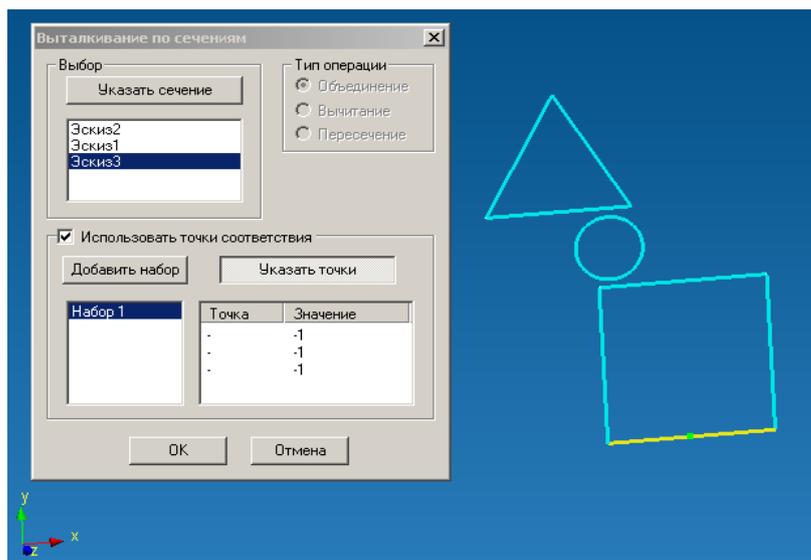


Рис. 2.7.12 Установка первой точки соответствия.

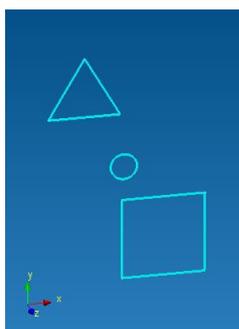


Рис. 2.7.13

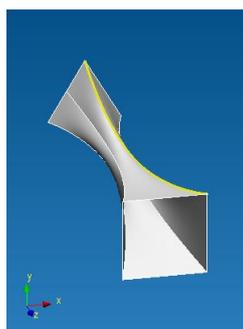


Рис. 2.7.14

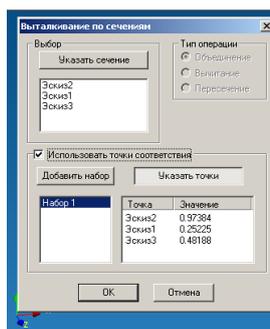


Рис. 2.7.15

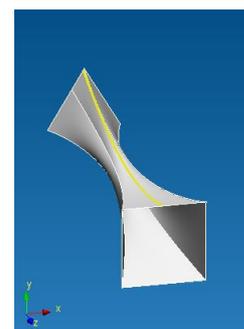
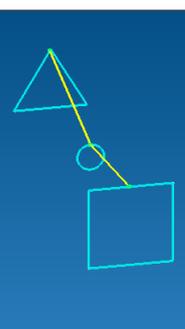


Рис. 2.7.16

Рис. 2.7.13– исходные сечения для создания поверхности с использованием команды **Выталкивание по сечениям**.

Рис. 2.7.14– результат отработки команды Выталкивание по сечениям без использования точек соответствия.

Рис. 2.7.15– установка точек соответствия.

Рис. 2.7.16– результат отработки команды Выталкивание по сечениям с использования точек соответствия.

Ускоренный выбор 

Кручение - данная команда позволит Вам создать поверхность, которая образована путем выталкивания исходного контура по винтовой линии.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее были созданы элементы, которые могли бы выступить в качестве образующего сечения и оси кручения. После нажатия на пиктограмму  перед Вами появится диалоговое окно Кручение (рис. 2.7.17).

Нажатая кнопка **Выбор контура**, позволит Вам указать образующий контур. Причем контур может быть как замкнутым, так и незамкнутым, однако выделение происходит только одного контура. Указание контура происходит путем нажатия левой клавишей мыши один раз.

При подведении курсора мыши к сечению, данный объект будет подсвечен голубым цветом. После нажатия левой клавишей мыши на выделенный объект, произойдет «моргание» данного объекта и он сохранит голубой цвет, тем самым, показывая Вам, что объект выбран. Если после перемещения курсора от выбранного объекта его выделение пропадет, это означает, что объект

не выбран (рис. 2.7.18). Для снятия выделения необходимо нажать на выбранное сечение один раз левой клавишей мыши.

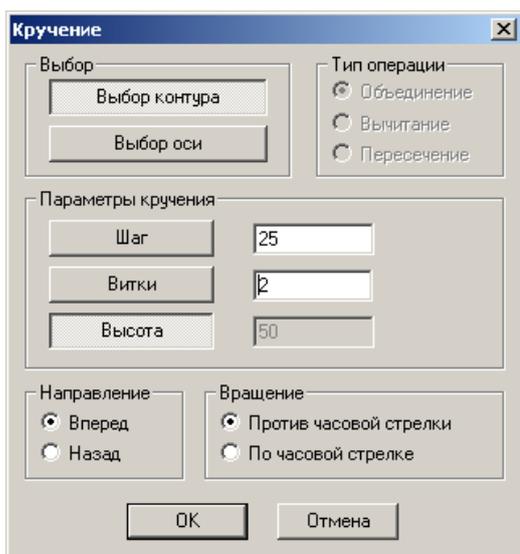


Рис. 2.7.17 Диалоговое окно Кручение.

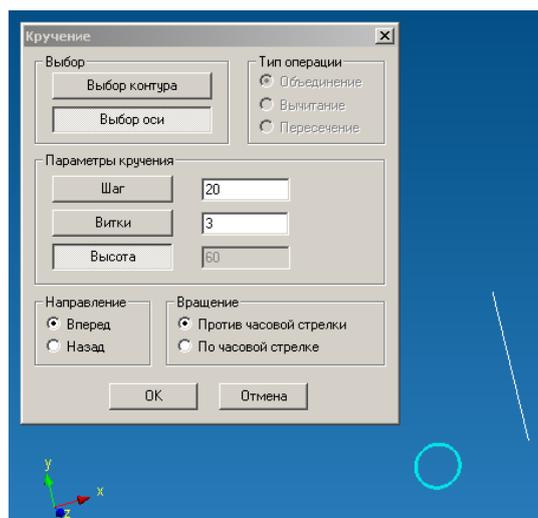


Рис. 2.7.18 Указание окружности в качестве контура.

Далее активизируется кнопка **Выбор оси**, предлагая Вам задать ось, вокруг которой будет происходить вращение. При подведении курсора мыши к отрезку, он будет подсвечен желтым цветом. После нажатия левой клавишей мыши на выделенный объект, объект приобретет голубой цвет, тем самым, показывая Вам, что объект выбран. Если после перемещения курсора от выбранного объекта его выделение пропадет, это означает, что объект не выбран (рис. 2.7.19). Для снятия выделения необходимо нажать на выбранную ось один раз левой клавишей мыши.

ВАЖНО!!! Исходный контур и ось вращения должны принадлежать одному эскизу, в противном случае Вам не удастся указать ось вращения.

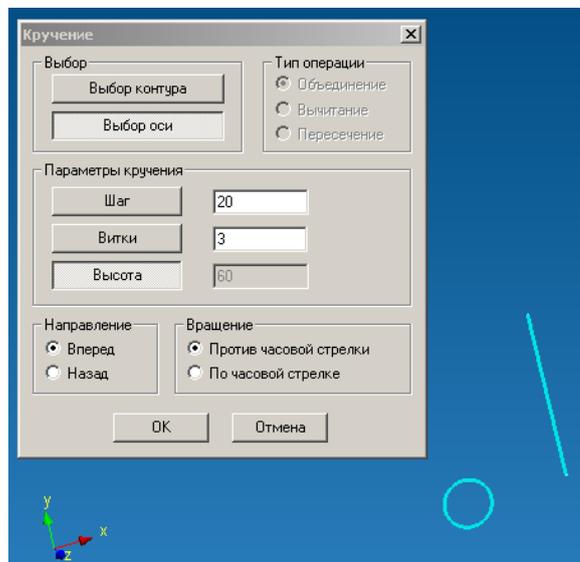


Рис. 2.7.19 Указание отрезка в качестве оси.

После этого необходимо указать параметры кручения, что полностью будет соответствовать настройке параметров винтовой линии, по которой будет выталкиваться ранее выбранный контур. Для задания параметров винтовой линии предлагается три параметра (достаточно двух из трех):

Шаг – расстояние между двумя соседними витками винтовой линии.

Витки – количество витков в винтовой линии.

Высота – высота винтовой линии, расстояние от начала первого витка до конца последнего витка.

Для указания параметров винтовой линии достаточно двух из трех выше перечисленных, кнопка с неиспользуемым параметром будет нажата, на Рис. 2.7.18 не используется параметр Высота.

Последними настройками является указания направления выталкивания – Вперед или Назад, а также указание в каком направлении будет реализовано «закручивание» - По часовой стрелке или Против часовой стрелки.

Рассмотрим возможные варианты, которые можно получить с использованием команды Кручения, в качестве исходного контура выступит окружность.

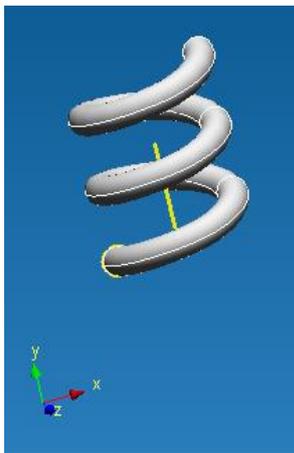


Рис. 2.7.20

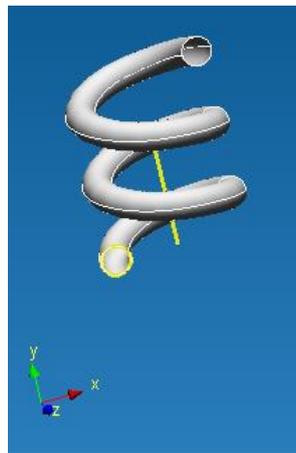


Рис. 2.7.21

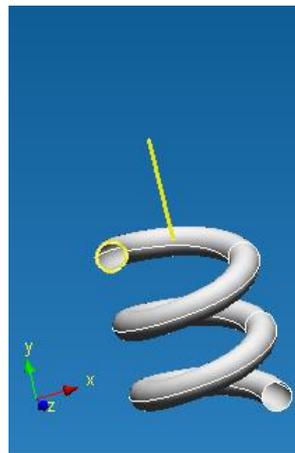


Рис. 2.7.22

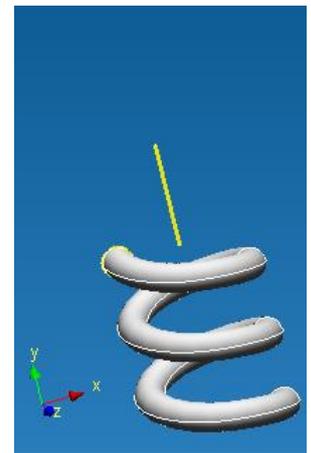


Рис. 2.7.23

Рис. 2.7.20 – Кручение вперед против часовой стрелки.

Рис. 2.7.21 – Кручение вперед по часовой стрелке.

Рис. 2.7.22 – Кручение назад против часовой стрелки.

Рис. 2.7.23 – Кручение назад по часовой стрелке.

Ускоренный выбор 

Контурная плоскость - данная команда позволит Вам создать плоскую поверхность, ограниченную как внешними, так и внутренними контурами.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее были созданы элементы, которые могли бы выступить в качестве внешнего и, при необходимости, внутренних контуров. После нажатия на пиктограмму  перед Вами появится диалоговое окно **Контурная плоскость** (рис. 2.7.24).

После появления диалогового окна необходимо указать внешний контур будущей контурной плоскости.

ВАЖНО!!! Контур должен быть замкнут, в противном случае его выделение будет невозможно.

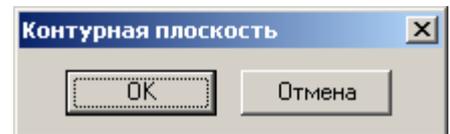


Рис. 2.7.24 Диалоговое окно Контурная плоскость.

При подведении курсора мыши к внешнему контуру он будет подсвечен голубым цветом. После нажатия левой клавишей мыши на выделенный объект, произойдет «моргание» контура и он сохранит голубой цвет, тем самым, показывая Вам, что контур выбран. Если после перемещения курсора от выбранного объекта его выделение пропадет, это означает, что объект не выбран. Для снятия выделения необходимо нажать на выбранный контур один раз левой клавишей мыши, после чего произойдет «развыделение» контура и он будет отображен белыми линиями (рис. 2.7.25).

При необходимости введения внутренних контуров их необходимо последовательно выделить.

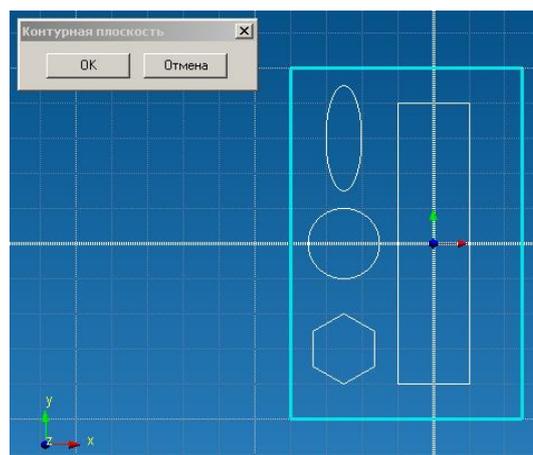


Рис. 2.7.25 Указание внешнего контура.

ВАЖНО!!! Контур должны быть замкнуты и принадлежать тому же эскизу что и внешний контур, в противном случае их выделение будет невозможно.

Для указания внутреннего контура необходимо подвести курсор мыши к сечению, данный объект будет подсвечен голубым цветом. После нажатия левой клавишей мыши на выделенный объект, произойдет «моргание» данного объекта и он сохранит голубой цвет, тем самым, показывая Вам, что объект выбран. Если после перемещения курсора от выбранного объекта его выде-

ление пропадет, это означает, что объект не выбран. Для снятия выделения необходимо нажать на выбранный контур один раз левой клавишей мыши.

В случае указания нескольких контуров действия в выше описанном параграфе необходимо повторить (рис. 2.7.26).

После указания внешнего и внутренних контуров необходимо нажать кнопку ОК в диалоговом окне Контурная плоскость (рис. 2.7.27).

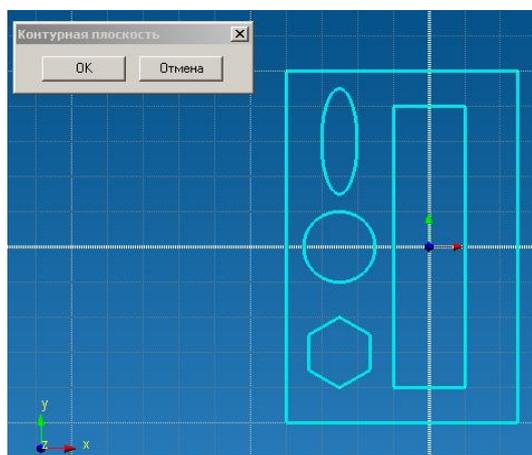


Рис. 2.7.26 Указание внутренних контуров.

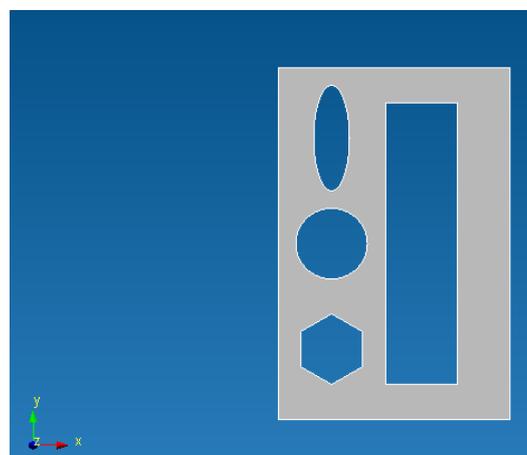


Рис. 2.7.27 Результат операции Контурная плоскость.

Ускоренный выбор: 

Сфера – данная команда позволит Вам создать сферическую поверхность.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее был создан узел, который мог бы выступить центром создаваемой сферы. После нажатия на пиктограмму  перед Вами появится диалоговое окно **Сфера** (рис. 2.7. 28).

После появления диалогового окна необходимо указать точку, которая будет являться центром сферы. Для этого необходимо подвести курсор мыши к существующему узлу. Ближайший к курсору узел будет подсвечен зеленым цветом. Для его выделения достаточно нажать один раз левой клавишей мыши, после чего узел будет отображен красным цветом, тем самым, подтверждая, что он выбран в качестве центра сферы. Если после перемещения курсора от выбранного узла его цвет будет белым или зеленым, это означает, что объект не выбран. Для снятия выделения ранее выбранного узла достаточно нажать на него один раз левой клавишей мыши.

Заключительным этапом задания сферы является указание ее параметров через задание радиуса сферы с дальнейшим нажатием кнопки ОК в диалоговом окне **Сфера** (рис. 2.7.29).

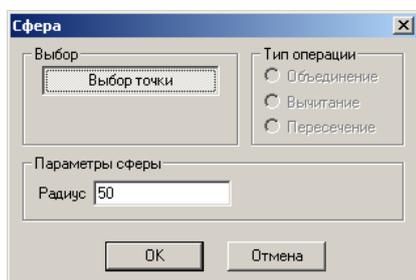


Рис. 2.7.28 Диалоговое окно Сфера.

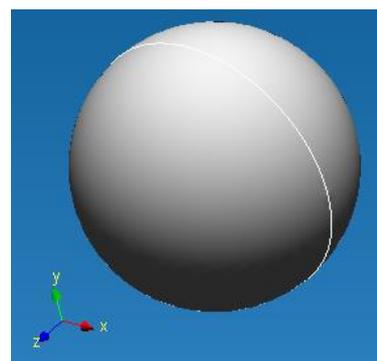


Рис. 2.7.29 Результат работы операции Сфера.

Ускоренный выбор: 

Пересечение поверхностей – данная команда пересекает две поверхности и делит их по линии пересечения.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее были созданы две пересекающиеся друг с другом поверхности. После нажатия на пиктограмму  Вам необходимо указать первую из пересекающихся поверхностей. Для этого необходимо подвести курсор мыши либо к интересующей поверхности в окне редактора либо к соответствующему имени этой поверхности в **Дереве операций**. После попадания курсора на поверхность (на ее имя в дереве операций) она подсветится голубым цветом. Далее фиксируем выбор данной поверхности путем нажатия один раз левой клавишей мыши. После перемещения курсора мыши за пределы поверхности она приобретет красный цвет, что указывает на то, что она выбрана для участия в команде **Пересечение поверхностей** (рис. 2.7.30). Если смена цвета не произошла, значит, поверхность не выбрана

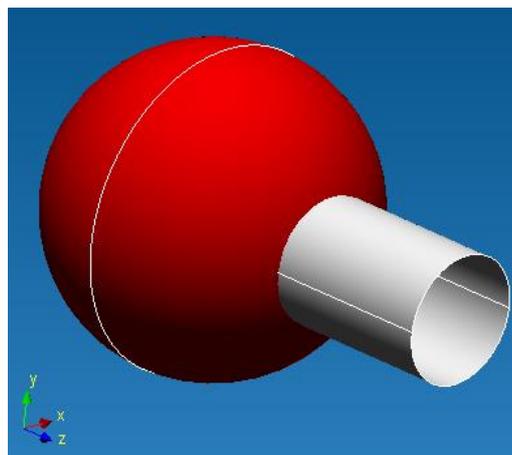


Рис. 2.7.30 Указание первой поверхности для выполнения команды **Пересечение поверхностей**.

Следующим этапом является указание второй поверхности. Для этого необходимо подвести курсор мыши либо к интересующей поверхности в окне редактора либо к соответствующему имени этой поверхности в **Дереве операций**. После попадания курсора на поверхность (на ее имя в дереве операций) она подсветится голубым цветом (рис. 2.7.31). Далее фиксируем выбор данной поверхности путем нажатия один раз левой клавишей мыши.

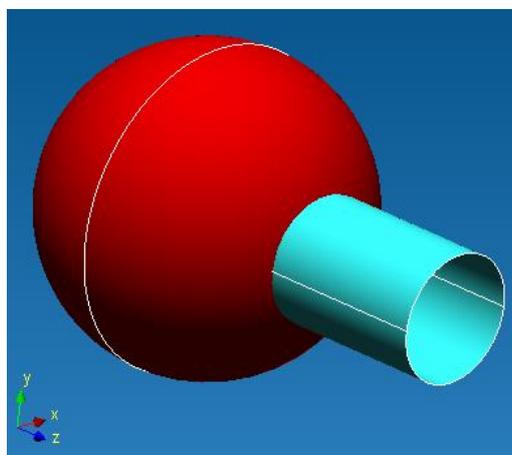
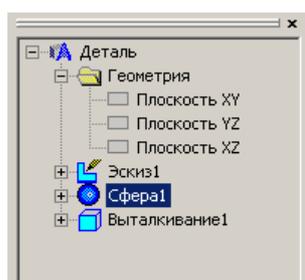
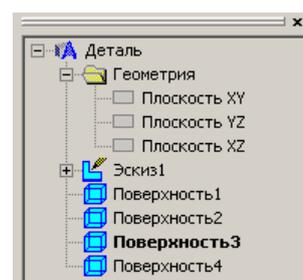


Рис. 2.7.31 Указание второй поверхности для выполнения команды **Пересечение поверхностей**.

После выполнения в дереве операции перед Вами появится набор поверхностей (рис. 2.7.32).



а) До пересечения



б) После пересечения

Рис. 2.7.32 Дереве операций до и после пересечения поверхностей.

Ускоренный выбор: 

Сшивка поверхностей - данная команда позволит Вам объединить в единое целое две поверхности.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее были созданы две поверхности, между которыми имеется линия пересечения между ними. После нажатия на пиктограмму  Вам необходимо указать первую из сшиваемых поверхностей.

Для этого необходимо подвести курсор мыши либо к интересующей поверхности в окне редактора либо к соответствующему имени этой поверхности в **Дереве операций**. После попадания курсора на поверхность (на ее имя в дереве операций) она подсветится голубым цветом. Далее фиксируем выбор данной поверхности путем нажатия один раз левой клавишей мыши. После перемещения курсора мыши за пределы поверхности она приобретет красный цвет, что указывает на то, что она выбрана для участия в команде **Сшивка поверхностей** (рис. 2.7.33). Если смена цвета не произошла, значит, поверхность не выбрана.

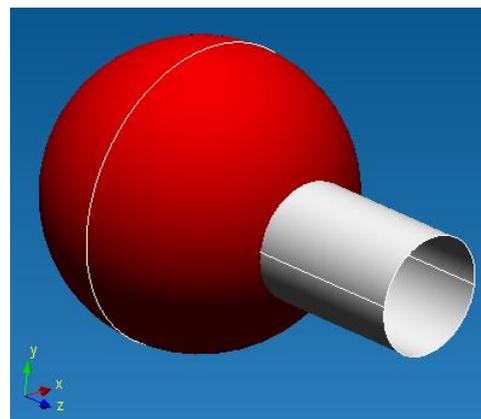


Рис. 2.7.33 Указание первой поверхности для выполнения команды Сшивка поверхностей.

Следующим этапом является указание второй поверхности. Для этого необходимо подвести курсор мыши либо к интересующей поверхности в окне редактора либо к соответствующему имени этой поверхности в **Дереве операций**. После попадания курсора на поверхность (на ее имя в дереве операций) она подсветится голубым цветом (рис. 2.7.34). Далее фиксируем выбор данной поверхности путем нажатия один раз левой клавишей мыши.

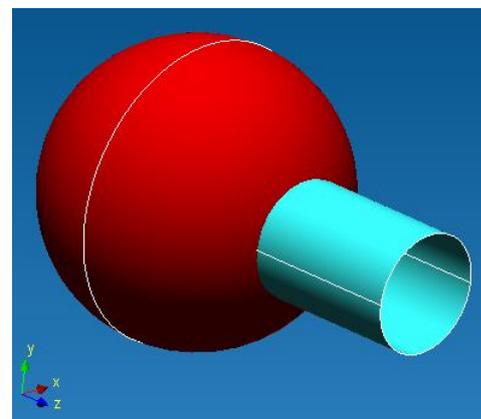


Рис. 2.7.34 Указание второй поверхности для выполнения команды Сшивка поверхностей.

В результате проведения данной операции две указанные поверхности будут объединены в единое целое, тем самым, моделируя сварку этих поверхностей по линиям пересечения. После проведения данной операции подведите курсор в Режиме выбора к одной из сшитой поверхности и увидите, что совместно выделились обе поверхности (рис. 2.7.35).

Ускоренный выбор: 

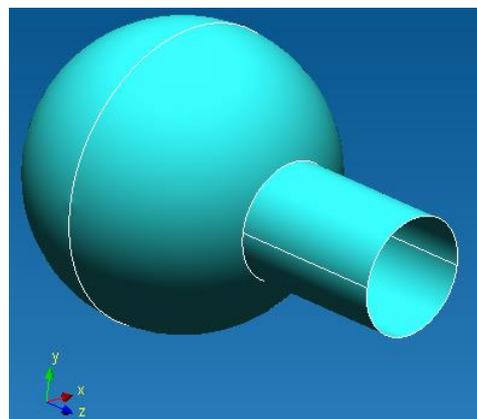


Рис. 2.7.35 Результат операции Сшивка поверхностей.

Скругление поверхностей по ребру – данная команда позволит Вам скруглить ребро поверхности определенным радиусом.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее были создана поверхность, у которой есть хотя бы одно ребро. После нажатия на пиктограмму



Вам необходимо указать ребро поверхности. Для этого необходимо нажать один раз левой клавишей мыши на ребро (линию пересечения двух поверхностей). После этого на экране отобразятся линии создаваемой поверхности, представляющие собой будущее скругление (рис. 2.7.36).

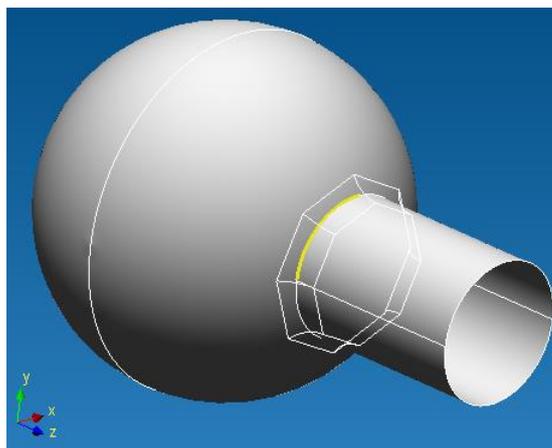


Рис. 2.7.36 Показ линий будущего скругления.

Следующим этапом является указание радиуса скругления. Для этого необходимо обратиться к панели ручного ввода, в котором необходимо с клавиатуры численное значение радиуса скругления (рис. 2.7.37).



Рис. 2.7.37 Панель инструментов Ручной ввод.

Для фиксации заданного радиуса скругления необходимо перевести курсор мыши в окно редактора и нажать один раз левой клавишей мыши (рис. 2.7.38).

Ускоренный выбор:

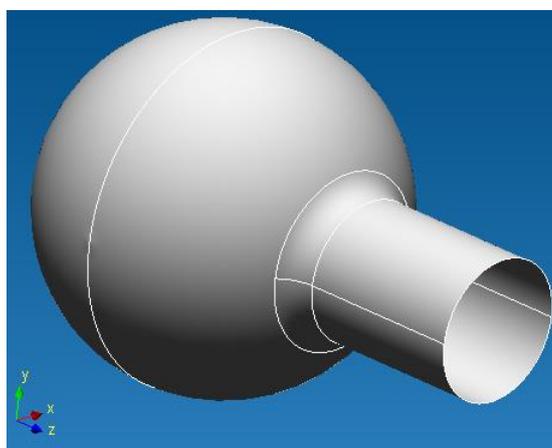


Рис. 2.7.38 Результат работы операции Скругление поверхности по ребру.

Удалить грань из поверхности – данная команда позволит Вам удалить грань существующей поверхности.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее были создана хотя бы одна поверхность. После нажатия на пиктограмму Вам необходимо указать грань поверхности. Для этого необходимо подвести курсор мыши к интересующей Вас грани, которая подсветится на экране голубым цветом (рис. 2.7.39). Для удаления выделенной грани достаточно нажать один раз левой клавишей мыши (рис. 2.7.40).

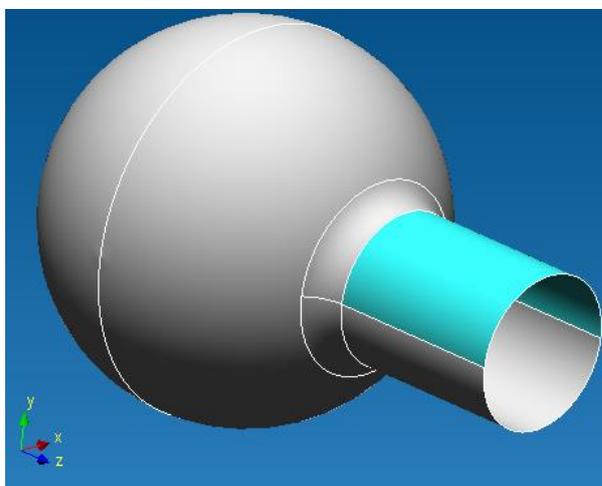


Рис. 2.7.39 Удаляемая в будущем грань подсвечивается голубым цветом.

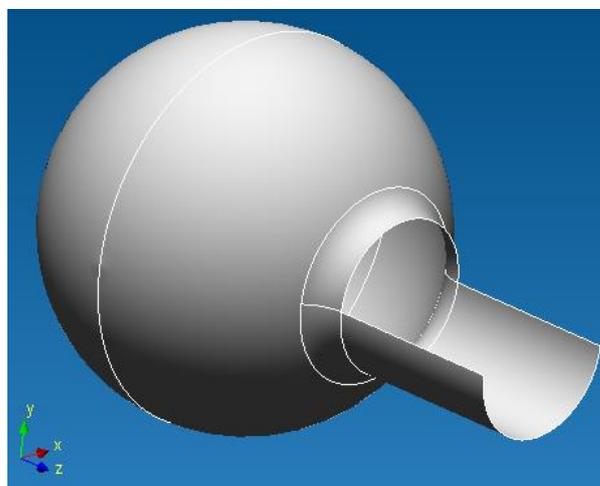


Рис. 2.7.40 Результат работы операции Удаление грани из поверхности.

Ускоренный выбор: 

Рабочая плоскость - данная команда позволит Вам создать некоторую плоскость, на базе которой Вы сможете создать Эскиз.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее были создан некоторый набор поверхностей. После нажатия на пиктограмму  Вам необходимо воспользоваться одним из 8-ми способов указания плоскости в пространстве:

1. Указание рабочей плоскости путем смещения относительно ранее созданной плоской грани или рабочей плоскости.

На первом этапе необходимо зафиксировать плоскую грань, параллельно которой будет создана рабочая плоскость. Для этого достаточно подвести курсор мыши к любой плоской грани, при этом ближайшая плоская грань подсветится голубым цветом (рис. 2.7.41). Для фиксации подсвеченной грани достаточно нажать левую клавишу мыши и переместить курсор. Вслед за курсором потянется вновь создаваемая рабочая плоскость (рис. 2.7.42). Как только появится отрисовка новой плоскости левую клавишу мыши можно отпустить. Для фиксации расположения рабочей плоскости в пространстве достаточно, после смещения курсора на заданную величину, нажать один раз левую клавишу мыши (рис. 2.7.43).

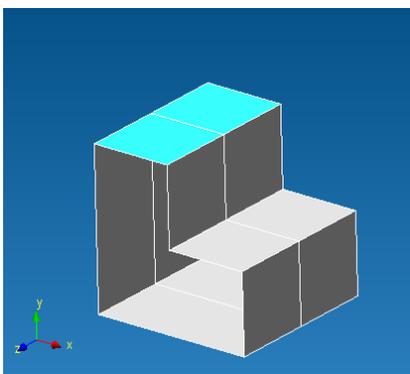


Рис. 2.7.41 Выбранная плоская грань.

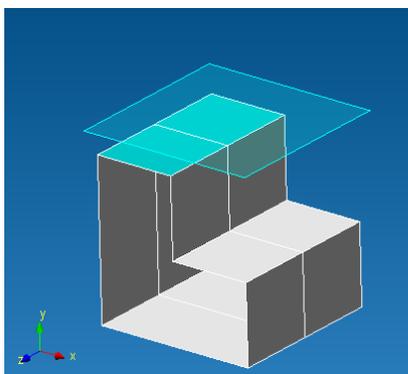


Рис. 2.7.42 Создаваемая рабочая плоскость.

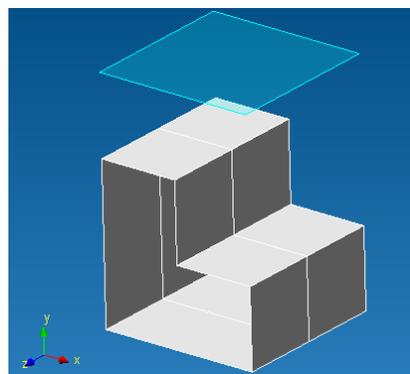


Рис. 2.7.43 Конечное положение рабочей плоскости.

Для точного задания смещения вновь создаваемой рабочей плоскости относительно исходной плоской грани достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где необходимо ввести с клавиатуры числовое значение смещения:



Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения рабочей плоскости и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим построения рабочей плоскости.

2. Указание рабочей плоскости посередине между двумя параллельными плоскими гранями.

На первом этапе необходимо задать первую плоскую грань. Для этого достаточно подвести курсор мыши к любой плоской грани, при этом ближайшая из них подсветится голубым цветом (рис. 2.7.44). Для фиксации подсвеченной грани достаточно нажать левую клавишу мыши один раз, после чего поверхность приобретет более темный оттенок. Для задания второй плоской грани необходимо перевести на нее курсор мыши. Вслед за этим вторая плоская грань подсветится голубым цветом, при этом на экране прорисовывается вновь создаваемая рабочая плоскость (рис. 2.7.45). Для фиксации второй плоской грани достаточно нажать один раз левую клавишу мыши, после чего пропадет выделение первой и второй плоских граней и зафиксируется положение рабочей плоскости - ровно посередине между двумя ранее указанными гранями (рис. 2.7.46).

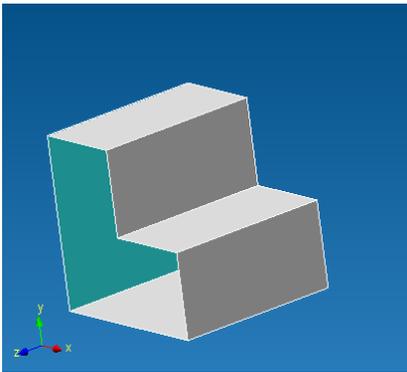


Рис. 2.7.44 Первая выбранная плоская грань.

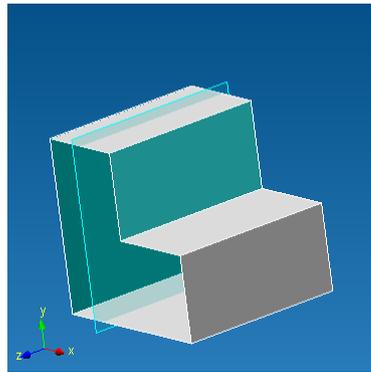


Рис. 2.7.45 Вторая выбранная плоская грань.

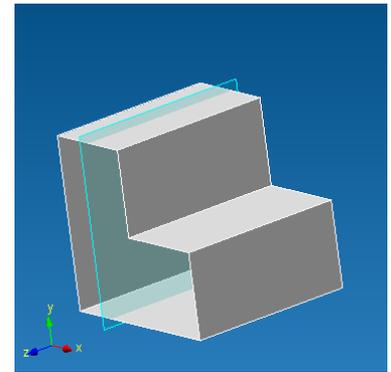


Рис. 2.7.46 Конечное положение рабочей плоскости.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения рабочей плоскости и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим построения рабочей плоскости.

3. Указание рабочей плоскости путем задания отрезка и угла к ранее созданной плоской грани.

На первом этапе необходимо задать отрезок, которым может выступить ребро любой плоской грани. Для этого достаточно подвести курсор мыши к ребру, при этом ближайшее ребро подсветится желтым цветом (рис. 2.7.47). Для выбора подсвеченного ребра достаточно нажать один раз левую клавишу мыши, после чего грань приобретет голубой цвет, тем самым, указывая, что данное ребро выбрано.

Далее необходимо указать плоскую грань. Для этого достаточно подвести к ней курсор мыши, что приведет к подсвечиванию данной грани голубым цветом. Далее с клавиатуры вводим угол – угол, под которым, к ранее выделенной грани, пройдет рабочая плоскость. Для этого, не отводя курсор мыши от плоской грани, сразу задаем числовое значение угла. Данная величина автоматически будет записываться, и отображаться в панели инструментов Ручной ввод (рис. 2.7.48). Заключительным этапом будет фиксация заданного положения Рабочей плоскости, путем нажатия левой клавиши мыши один раз (рис. 2.7.49).

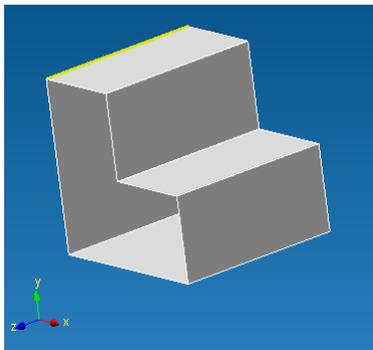


Рис. 2.7.47 Указание прямой.

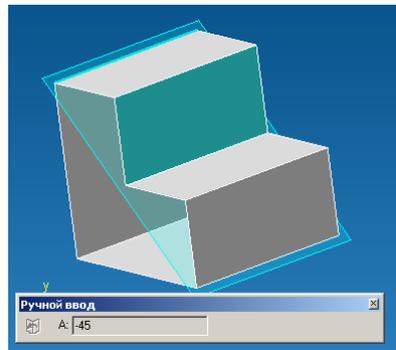


Рис. 2.7.48 Указание угла к выбранной плоской грани.

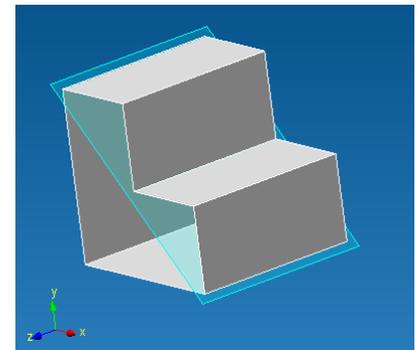


Рис. 2.7.49 Конечное положение рабочей плоскости.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения рабочей плоскости и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим построения рабочей плоскости.

4. Задание рабочей плоскости через точку и параллельно указанной плоской грани/рабочей плоскости.

На первом этапе необходимо указать точку, которой может выступить любой узел трехмерной модели. При подводе курсора к узлу он подсветится зеленым цветом. Для фиксации подсвеченного узла достаточно нажать один раз левой клавишей мыши, после чего узел приобретет голубой цвет, тем самым, показывая, что данный узел выбран (рис. 2.7.50). Далее необходимо указать плоскую грань, параллельно которой будет создана рабочая плоскость. Для этого необходимо подвести курсор к плоской грани, ближайшая из них подсветится голубым цветом. Как только произойдет подсветка одной из грани автоматически отрисовывается рабочая плоскость, параллельная выделенной плоской грани и проходящая через ранее выделенный узел (рис. 2.7.51).

Для фиксации плоской грани и, соответственно рабочей плоскости, необходимо нажать один раз левой клавишей мыши при подсвечивании интересующей грани (рис. 2.7.52).

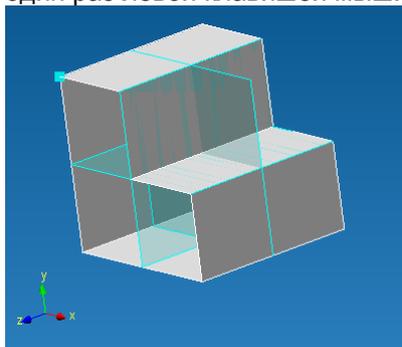


Рис. 2.7.50 Указание узла.

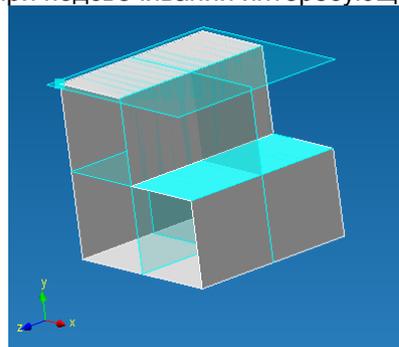


Рис. 2.7.51 Указание плоской грани.

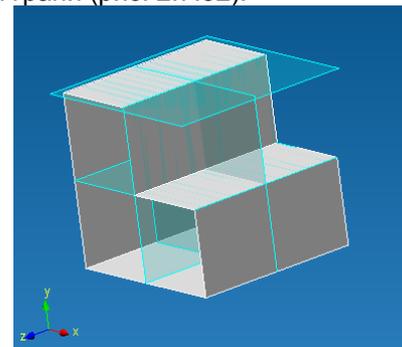


Рис. 2.7.52 Конечное положение рабочей плоскости.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения рабочей плоскости и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим построения рабочей плоскости.

5. Задание рабочей плоскости через два непересекающихся отрезка.

На первом этапе необходимо указать первый отрезок, которым может выступить любая линия любого эскиза, а так же любое ребро плоской грани. Для этого достаточно подвести курсор мыши к отрезку, после чего он подсветится желтым цветом. Для фиксации подсвеченного отрезка достаточно нажать один раз левой клавишей мыши, после чего отрезок приобретет голубой цвет, показывая тем самым, что он выбран (рис. 2.7.53).

На следующем этапе необходимо указать второй отрезок, которым может быть как отрезок эскиза, так и грань плоской грани. Для этого необходимо подвести курсор мыши к интересующему отрезку, после чего отрезок подсветится желтым цветом. Кроме того, автоматически будет прорисована вновь создаваемая рабочая плоскость, проходящая через ранее выделенный отрезок и вновь подсвеченный (рис. 2.7.54).

Для фиксации второго отрезка необходимо нажать один раз левой клавишей мыши, после чего пропадет выделение обоих отрезков, и произойдет фиксация в пространстве вновь создаваемой рабочей плоскости (рис. 2.7.55).

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения рабочей плоскости и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим построения рабочей плоскости.

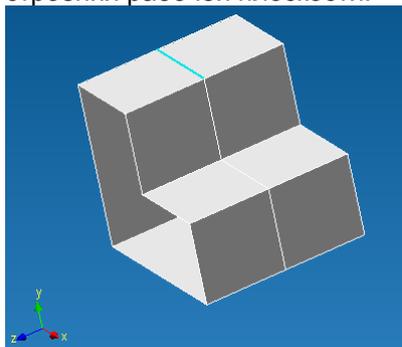


Рис. 2.7.53 Указание первого отрезка.

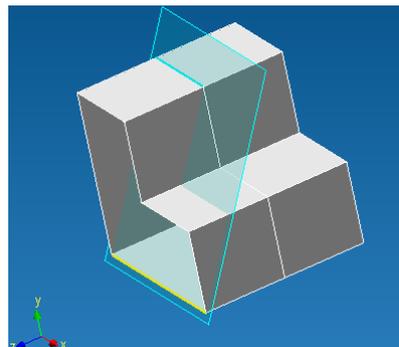


Рис. 2.7.54 Указание второго отрезка.

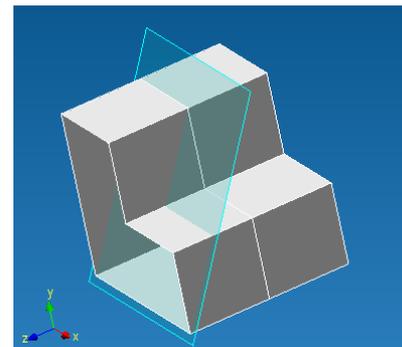


Рис. 2.7.55 Конечное положение рабочей плоскости.

6. Задание рабочей плоскости проходящую через точку и нормально к прямой.

На первом этапе необходимо указать точку, которой может выступить любой узел трехмерной модели. При подводе курсора к узлу он подсветится зеленым цветом. Для фиксации подсвеченного узла достаточно нажать один раз левой клавишей мыши, после чего узел приобретет голубой цвет, тем самым, показывая, что данный узел выбран (рис. 2.7.56).

На следующем этапе необходимо указать отрезок, которым может быть как отрезок эскиза, так и грань плоской грани. Для этого необходимо подвести курсор мыши к интересующему отрезку, после чего отрезок подсветится желтым цветом. Кроме того, автоматически будет прорисована вновь создаваемая рабочая плоскость, проходящая через ранее выделенную точку и перпендикулярно вновь подсвеченной прямой (рис. 2.7.57).

Для фиксации отрезка необходимо нажать на него один раз левой клавишей мыши, после чего пропадет выделение отрезка и узла, и произойдет фиксация в пространстве вновь создаваемой рабочей плоскости (рис. 2.7.58).

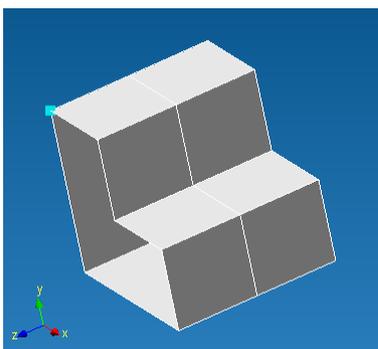


Рис. 2.7.56 Указание узла.

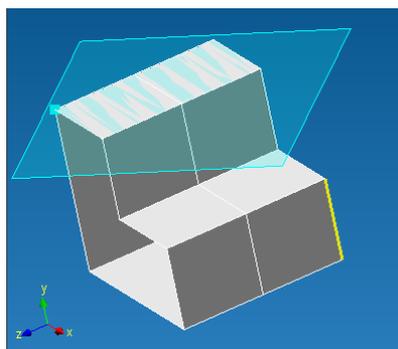


Рис. 2.7.57 Указание отрезка.

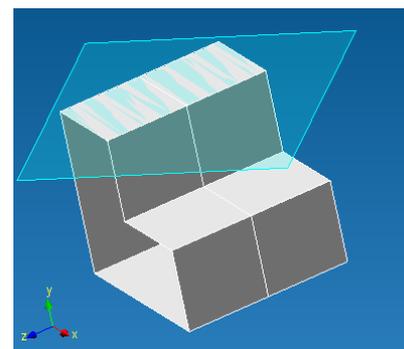


Рис. 2.7.58 Конечное положение рабочей плоскости.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения рабочей плоскости и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим построения рабочей плоскости.

7. Задание рабочей плоскости по точке и нормально к плоской кривой.

На первом этапе необходимо указать точку, которой может выступить любой узел трехмерной модели. При подводе курсора к узлу он подсветится зеленым цветом. Для фиксации подсвеченного узла достаточно нажать один раз левой клавишей мыши, после чего узел приобретет голубой цвет, тем самым, показывая, что данный узел выбран (рис. 2.7.59).

На следующем этапе необходимо указать плоскую кривую, которым может быть как отрезок эскиза, так и грань плоской грани. Для этого необходимо подвести курсор мыши к интересующей кривой, после чего она подсветится желтым цветом. Кроме того, автоматически будет прорисована вновь создаваемая рабочая плоскость, проходящая через ранее выделенную точку и перпендикулярно вновь подсвеченной кривой (рис. 2.7.60).

Для фиксации кривой необходимо нажать на неё один раз левой клавишей мыши, после чего пропадет выделение кривой и узла, и произойдет фиксация в пространстве вновь создаваемой рабочей плоскости (рис. 2.7.61).

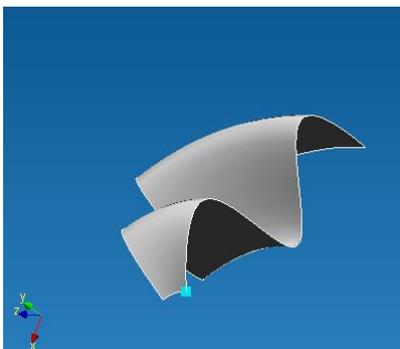


Рис. 2.7.59 Указание узла.

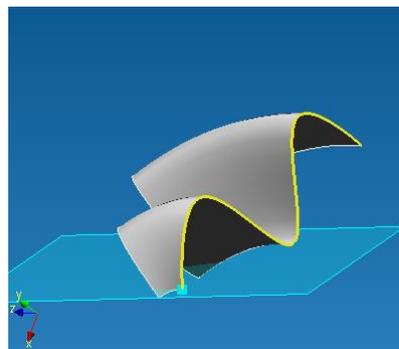


Рис. 2.7.60 Указание кривой.

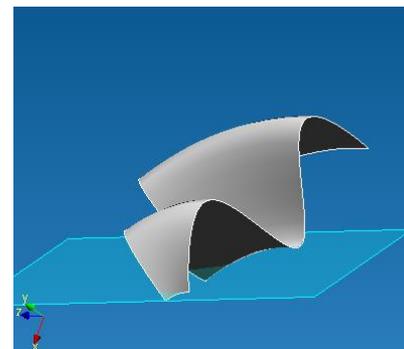


Рис. 2.7.61 Конечное положение рабочей плоскости.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения рабочей плоскости и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим построения рабочей плоскости.

8. Задание рабочей плоскости по трем точкам.

На первом этапе необходимо указать первую точку, которой может выступить любой узел трехмерной модели. При подводе курсора к узлу он подсветится зеленым цветом. Для фиксации подсвеченного узла достаточно нажать один раз левой клавишей мыши, после чего узел приобретет голубой цвет, тем самым, показывая, что данный узел выбран (рис. 2.7.62).

Аналогичным образом задаем вторую точку.

Заключительным этапом является указание третьей точки. При подводе курсора к узлу он подсветится зеленым цветом, кроме того, на экране отобразится вновь создаваемая рабочая плоскость (рис. 2.7.63). Для выбора подсвеченного узла достаточно нажать один раз левой клавишей мыши, после чего пропадет выделение всех узлов и зафиксируется положение в пространстве рабочей плоскости (рис. 2.7.64).

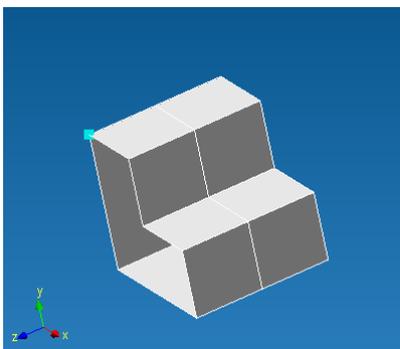


Рис. 2.7.62 Указание первого узла.

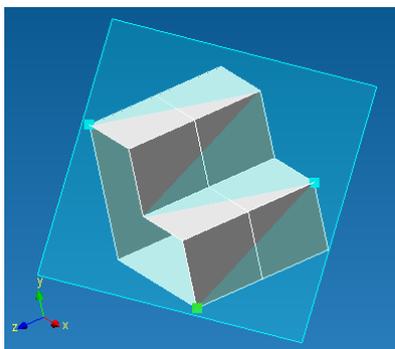


Рис. 2.7.63 Указание третьего узла.

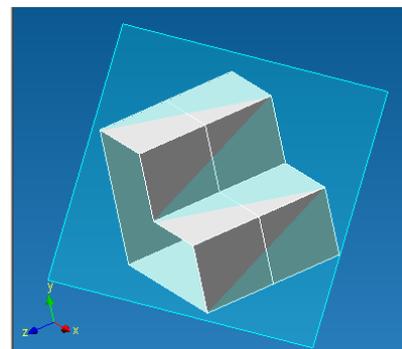


Рис. 2.7.64 Конечное положение рабочей плоскости.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения рабочей плоскости и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим построения рабочей плоскости.

Ускоренный выбор 

Рассмотрим функциональные возможности панели инструментов **Операции** в режиме Твёрдотельного моделирования.

Отличительной особенностью твердотельного моделирования по отношению к поверхностному является то, что исходный контур должен быть ЗАМКНУТЫМ.

Прежде чем перейти к рассмотрению непосредственно операций необходимо разобраться с некоторыми особенностями характерными только для твердотельного моделирования.

Для всех операций по созданию твердого тела характерна следующая настройка в Типе операций: Объединение, Вычитание, Пересечение (рис. 2.7.65 – рис. 2.7.68).

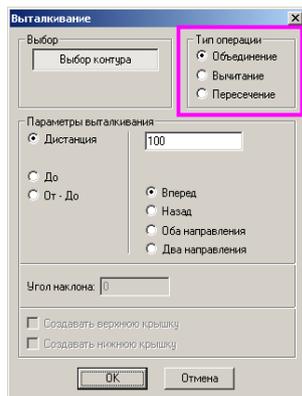


Рис. 2.7.65 Диалоговое окно Выталкивание

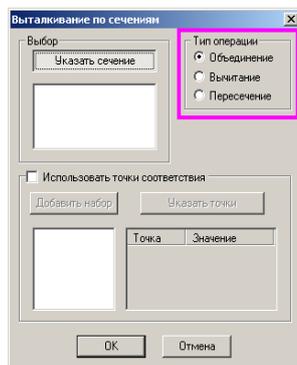


Рис. 2.7.66 Диалоговое окно Выталкивание по сечениям

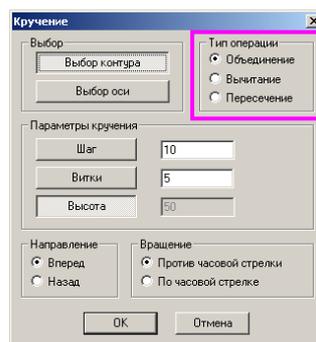


Рис. 2.7.67 Диалоговое окно Кручение

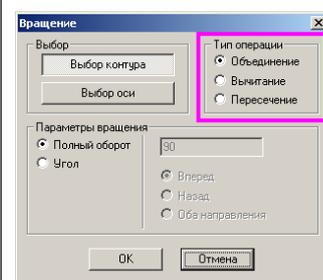


Рис. 2.7.68 Диалоговое окно Вращение

Рассмотрим все возможные типы операций.

Объединение – данный тип операции позволит Вам, абсолютно жестко соединять вновь создаваемое твердое тело к уже ранее созданному твердому телу (рис. 2.7.69).

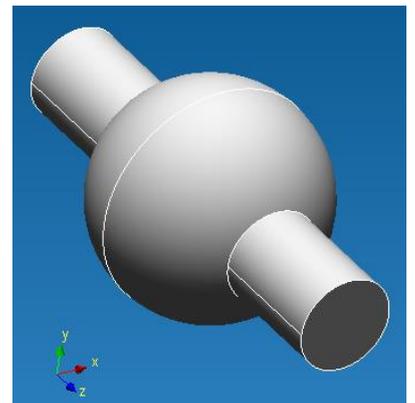
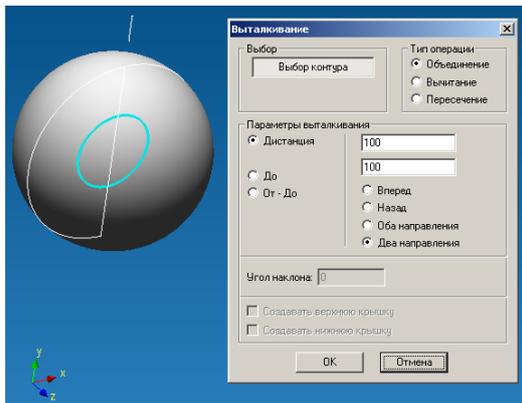


Рис. 2.7.69 Выполнение операции выталкивания с объединением.

Вычитание – результатом данного типа операции является ранее созданное твердое тело минус объем вновь создаваемого тела (рис. 2.7.70).

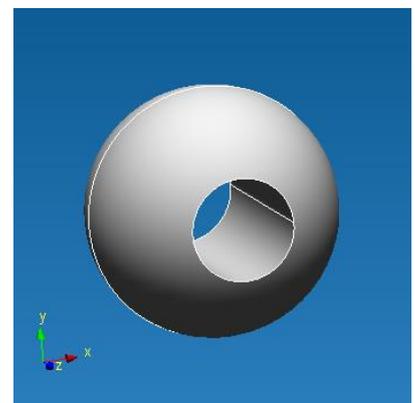
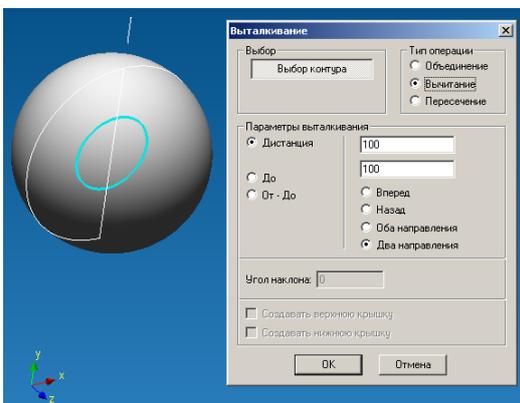


Рис. 2.7.70 Выполнение операции выталкивания с вычитанием.

Пересечение – результатом данного типа операции является ранее созданное твердое тело минус все то, что находится за пределами вновь создаваемого твердого тела (рис. 2.7.71).

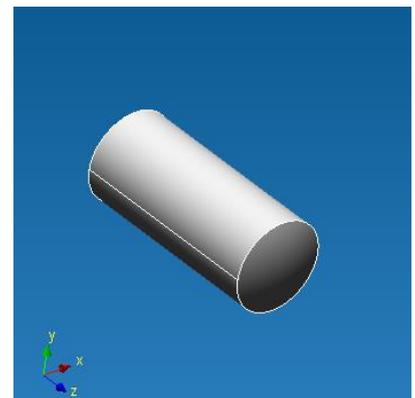
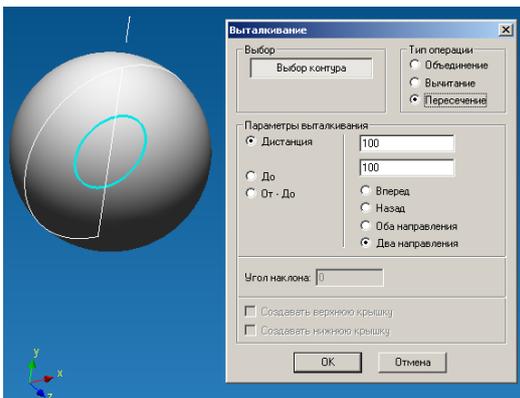


Рис. 2.7.71 Выполнение операции выталкивания с пересечением.

Выталкивание – данная команда позволит Вам создать твердое тело в качестве образующей, которого выступит выбранный Вами контур, а направляющая будет представлять собой прямую направленную по нормали к Эскизу, в котором находится образующий контур.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее были созданы элементы, которые могли бы выступить в качестве образующего контура. После нажатия на пиктограмму  перед Вами появится диалоговое окно Выталкивание (рис. 2.7.72), в котором Вы можете задать параметры операции выталкивания.

Нажатая кнопка Выбор контура, позволит Вам указать образующий контур. Причем контур может быть только замкнутым, при этом выделение может происходить нескольких контуров одновременно. Указание контуров происходит путем нажатия левой клавишей мыши один раз. Если контур состоит из нескольких элементов, то для его выделения необходимо последовательно указать все объекты, входящие в состав контура.

При подведении курсора мыши к элементу контура, данный объект будет подсвечен голубым цветом. После нажатия левой клавишей мыши на выделенный объект, произойдет «моргание» данного объекта, тем самым, показывая Вам, что объект выбран. Если после перемещения курсора от выбранного объекта его выделение пропадет, это означает, что объект не выбран. Для снятия выделения необходимо нажать на выбранный объект один раз левой клавишей мыши.

После выделения контура Вам необходимо указать параметры выталкивания.

Дистанция – расстояние, на которое будет, вытолкнут исходный контур:

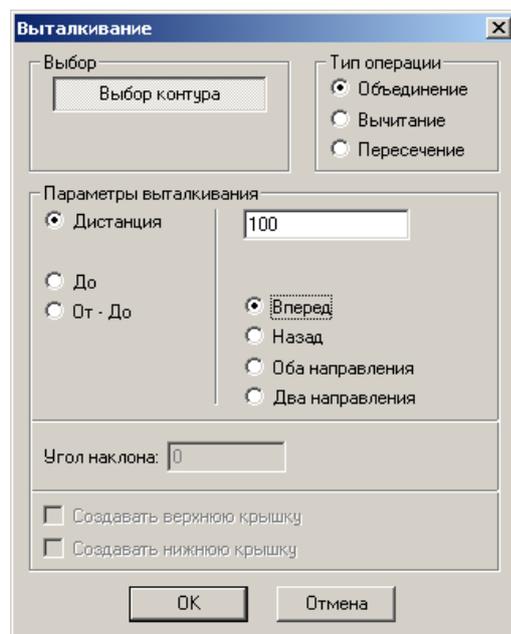
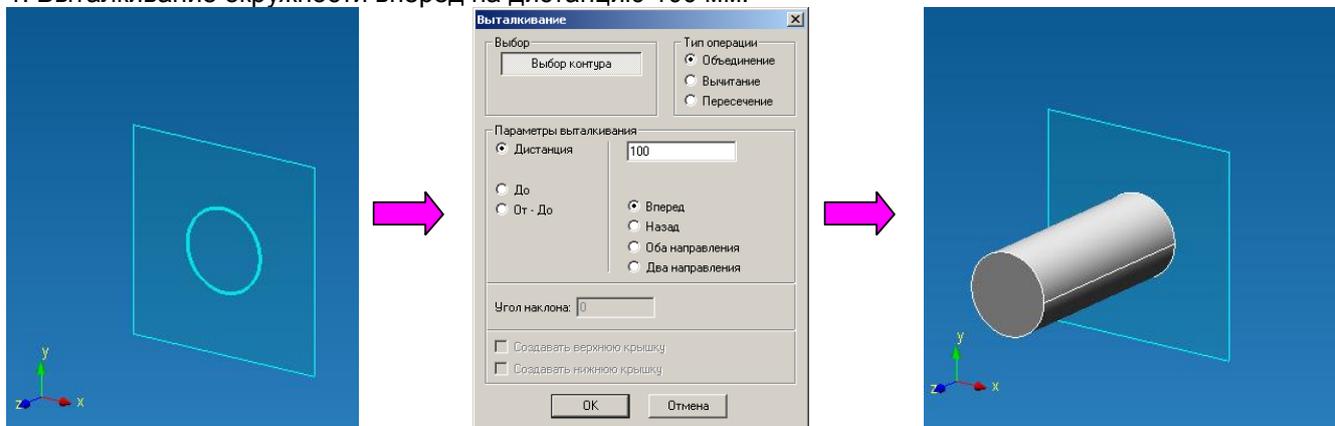
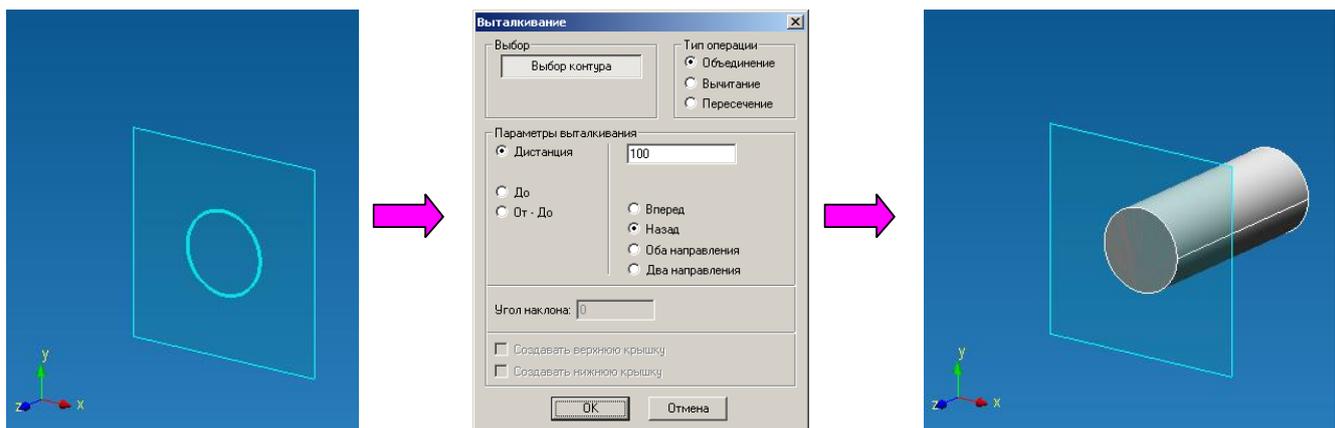


Рис. 2.7.72 Диалоговое окно Выталкивание.

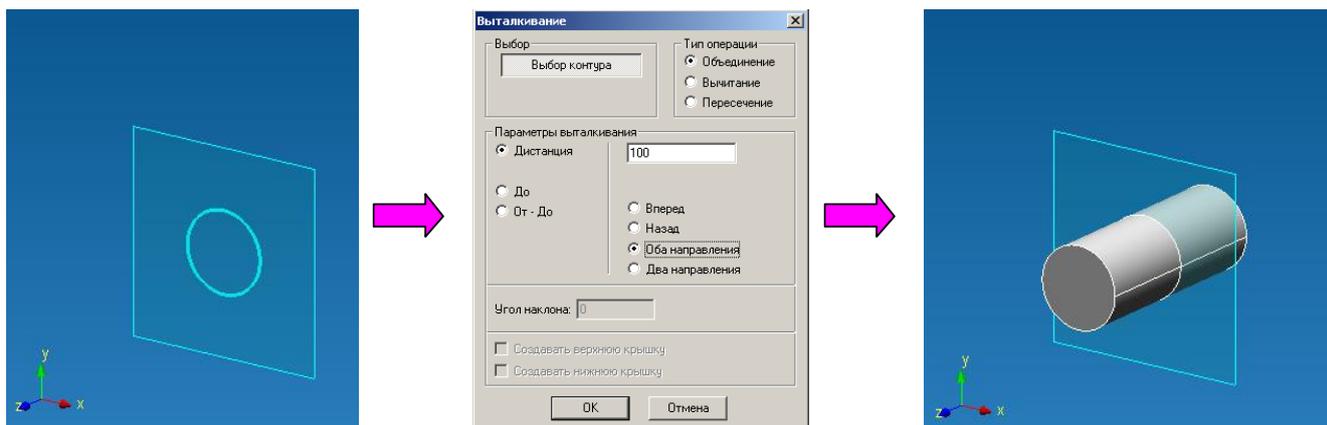
1. Выталкивание окружности вперед на дистанцию 100 мм.



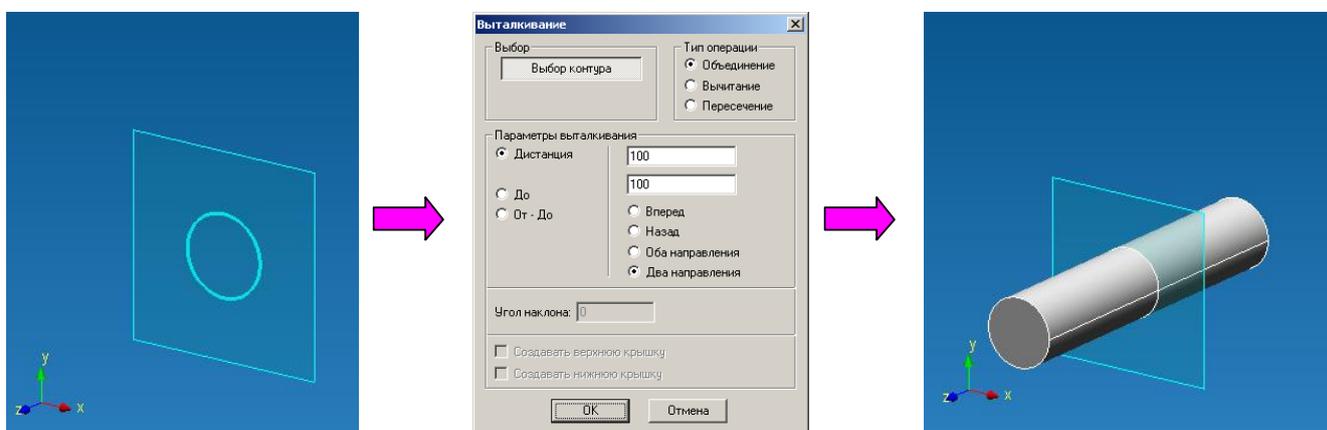
2. Выталкивание окружности назад на дистанцию 100 мм.



3. Выталкивание окружности в оба направления на дистанцию 100 мм (вперед 50 мм + назад 50 мм).



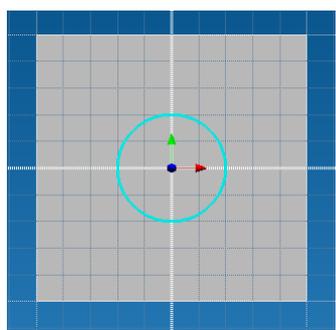
4. Выталкивание окружности в два направления на дистанцию 100 мм (вперед 100 мм + назад 100 мм).



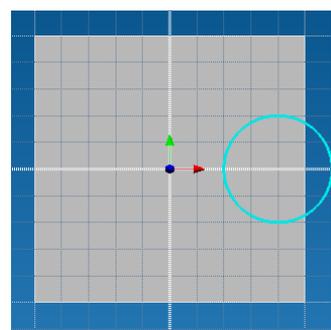
До – данный параметр позволяет вытолкнуть исходный контур до одной из поверхностей ранее созданного твердого тела.

Выбор контура будет производиться аналогично тому, как описано для выталкивания на некоторую дистанцию. На следующем этапе необходимо указать грань, до которой будет выталкиваться выбранный контур. Для этого необходимо нажать кнопку **Указать грань** и перевести курсор в рабочее окно редактора. Ближайшая к курсору грань подсветится зеленым цветом, чтобы выбрать подсвеченную грань достаточно нажать один раз левой клавишей мыши, после чего грань приобретет более темный оттенок зеленого. После указания контура и грани необходимо нажать кнопку ОК диалогового окна **Выталкивание**.

ВАЖНО!!! Проекция исходного контура должна полностью принадлежать ограничивающей поверхности, в противном случае твердое тело не будет создано.

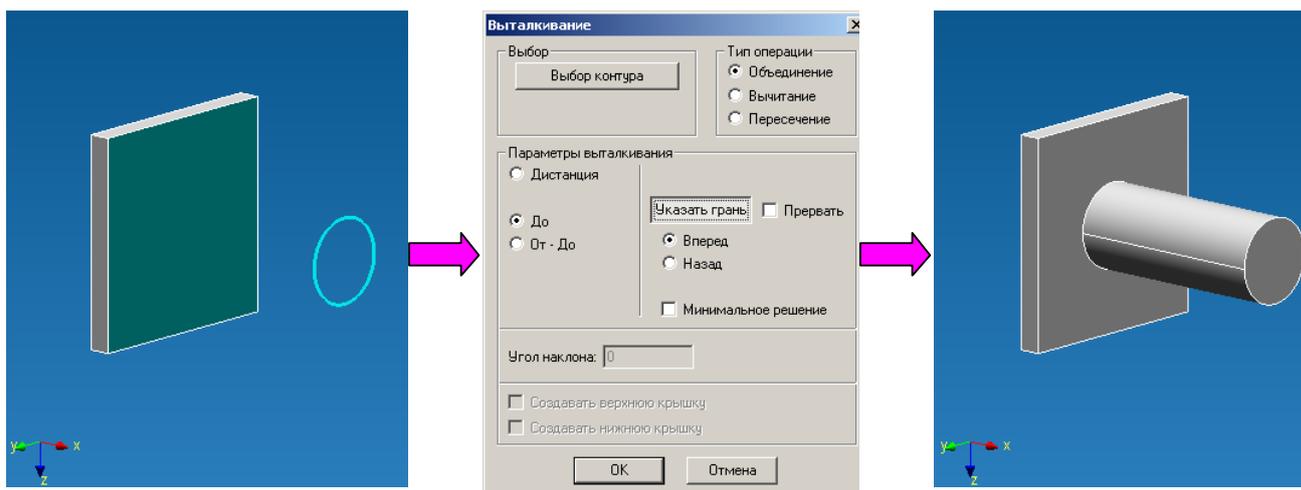


Твердое тело будет создано



Твердое тело создано не будет

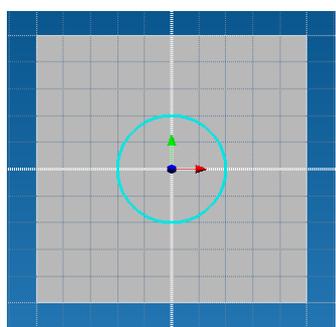
Процедура выталкивания окружности до ранее созданного твердого тела



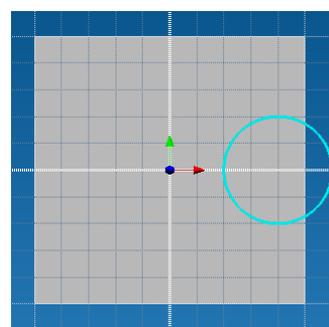
От-До – данный параметр создавать твердое тело путем выталкивания исходного контура границами которого будут являться грани ранее созданных твердых тел.

Выбор контура будет производиться аналогично тому, как описано для выталкивания на некоторую дистанцию. На следующем этапе необходимо указать первую ограничивающую грань. Для этого необходимо нажать кнопку **Указать грань** и перевести курсор в рабочее окно редактора. Ближайшая к курсору грань подсветится зеленым цветом, чтобы выбрать подсвеченную грань достаточно нажать один раз левой клавишей мыши, после чего грань приобретет более темный оттенок зеленого. Затем аналогичным образом задаем вторую ограничивающую грань. После указания контура и граней необходимо нажать кнопку ОК диалогового окна **Выталкивание**.

ВАЖНО!!! Проекция исходного контура должна полностью принадлежать ограничивающей поверхности, в противном случае твердое тело не будет создано.



Твердое тело будет создано



Твердое тело создано не будет

Рассмотри выталкивание окружности до двух ранее созданных твердых тел.

Ускоренный выбор: 

Вращение – данная команда позволит Вам создать твердое тело путем вращения исходного контура вокруг оси.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее были созданы элементы, которые могли бы выступить в качестве образующего контура и в качестве оси. После нажатия на пиктограмму  перед Вами появится диалоговое окно Вращение (рис. 2.7.73), в котором Вы можете задать параметры операции вращения.

Нажатая кнопка **Выбор контура**, позволит Вам указать образующий контур. В данном случае предполагается использование только замкнутых контуров, ввиду работы в режиме твердотельного моделирования, однако у Вас есть возможность выбора нескольких контуров - одного внешнего контура и одного или нескольких внутренних контуров. Указание контура происходит путем нажатия левой клавишей мыши один раз. Если контур состоит из нескольких элементов, то для его выделения необходимо последовательно указать все объекты, входящие в состав контура.

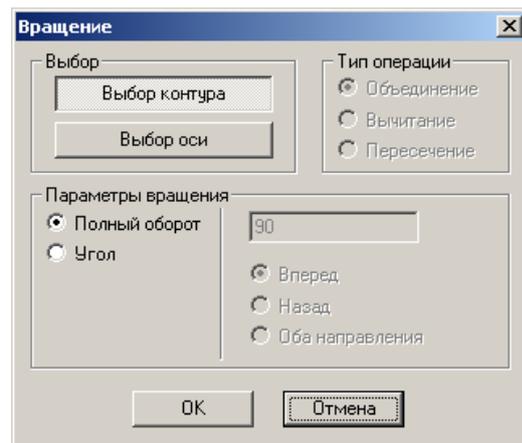


Рис. 2.7.73 Диалоговое окно Вращение.

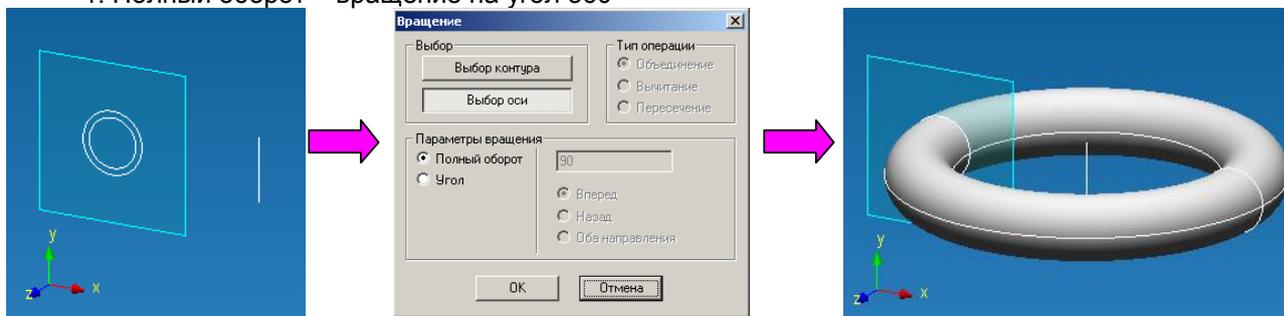
При подведении курсора мыши к элементу контура, данный объект будет подсвечен голубым цветом. После нажатия левой клавишей мыши на выделенный объект, произойдет «моргание» данного объекта, тем самым, показывая Вам, что объект выбран. Если после перемещения курсора от выбранного объекта его выделение пропадет, это означает, что объект не выбран. Аналогичным образом производится в случае необходимости выделение и внутренних контуров. Для снятия выделения необходимо нажать на выбранный объект один раз левой клавишей мыши.

После выделения контура Вам в диалоговом окне Вращение нажмите кнопку **Выбор оси**, чтобы указать ось симметрии. При подводе курсора мыши к прямолинейному отрезку (возможной оси вращения) этот объект подсветится желтым цветом. Чтобы указать объект в качестве оси вращения необходимо нажать на выбранный элемент один раз левой клавишей мыши, после чего объект отобразится голубым цветом.

ВАЖНО!!! Исходный контур и ось симметрии должны принадлежать одному эскизу.

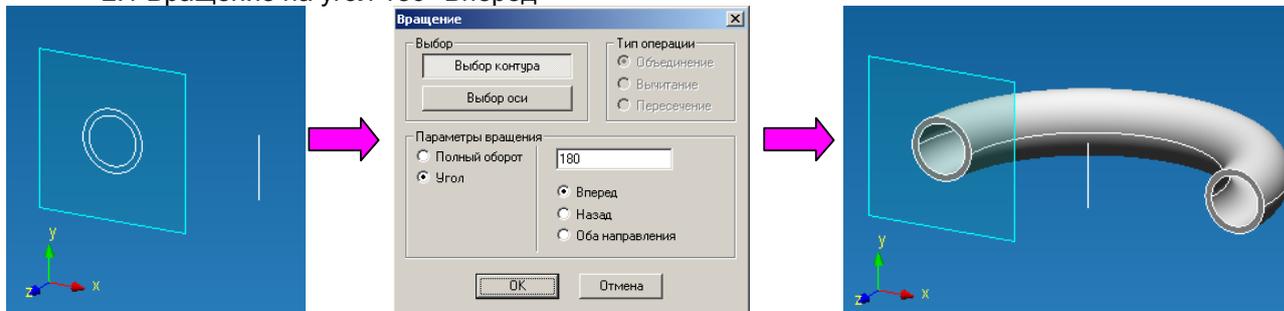
Заключительным этапом является указание параметров вращения:

1. Полный оборот – вращение на угол 360°

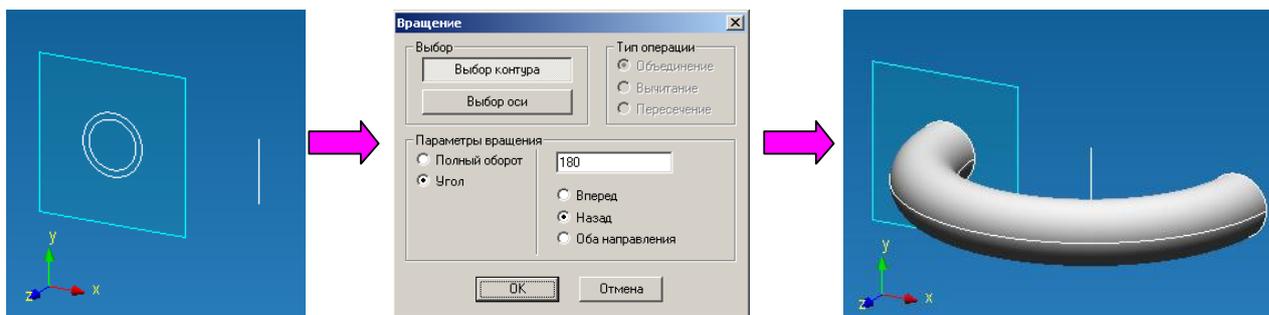


2. Угол – вращение произойдет на указанный Вами угол в определенном направлении

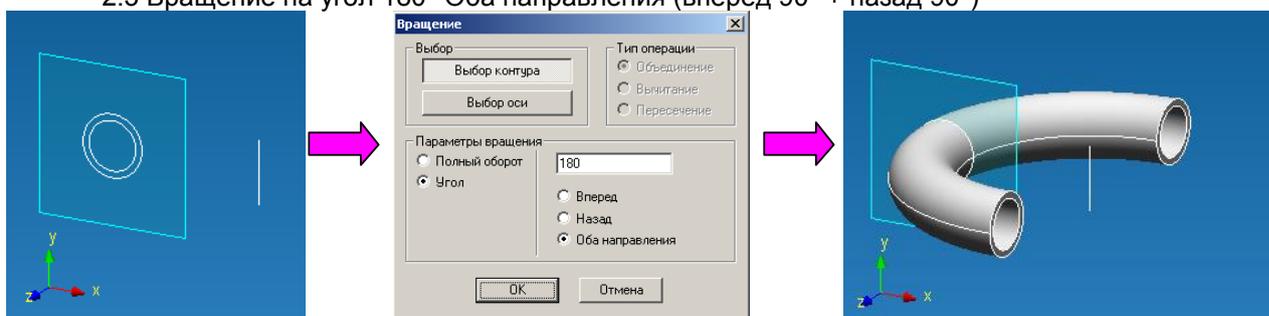
2.1 Вращение на угол 180° Вперед



2.2 Вращение на угол 180° Назад



2.3 Вращение на угол 180° Оба направления (вперед 90° + назад 90°)



Ускоренный выбор:



Выталкивание по пути - данная команда позволит Вам создать поверхность путем проталкивания исходного контура по заданному пути.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее были созданы элементы, которые могли бы выступить в качестве образующего контура и в качестве пути. После нажатия на пиктограмму перед Вами появится диалоговое окно Выталкивание по пути (рис. 2.7.74).

Нажатая кнопка **Выбор контура**, позволит Вам указать образующий контур. В данном случае предполагается использование только замкнутых контуров, ввиду работы в режиме твердотельного моделирования, однако у Вас есть возможность выбора нескольких контуров - одного внешнего контура и одного или нескольких внутренних контуров. Указание контура происходит путем нажатия левой клавишей мыши один раз. Если контур состоит из нескольких элементов, то для его выделения необходимо последовательно указать все объекты, входящие в состав контура.

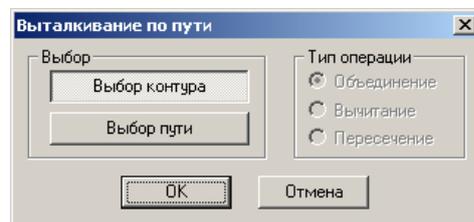
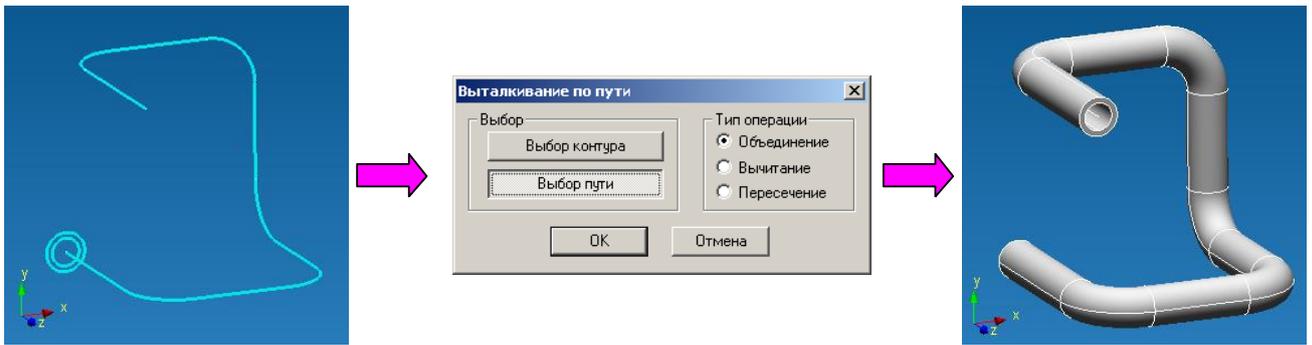


Рис. 2.7.74 Диалоговое окно Выталкивание по пути.

При подведении курсора мыши к элементу контура, данный объект будет подсвечен голубым цветом. После нажатия левой клавишей мыши на выделенный объект, произойдет «моргание» данного объекта, тем самым, показывая Вам, что объект выбран. Если после перемещения курсора от выбранного объекта его выделение пропадет, это означает, что объект не выбран. Аналогичным образом производится в случае необходимости выделение и внутренних контуров. Для снятия выделения необходимо нажать на выбранный объект один раз левой клавишей мыши.

После выделения контура Вам в диалоговом окне Выталкивание по пути зажмется кнопка Выбор пути, чтобы Вы указали путь выталкивания путем нажатия один раз левой клавиши мыши. При подводе курсора мыши к пути этот объект подсветится голубым цветом. Чтобы указать объект в качестве пути выталкивания необходимо нажать на выбранный элемент один раз левой клавишей мыши, после чего объект «моргнет» и отобразится голубым цветом.

ВАЖНО!!! Путь должен быть гладким – исключается наличие любых углов.



Ускоренный выбор:

Выталкивание по сечениям – данная команда позволит Вам создать поверхность, которая проходит через набор различных сечений.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее были созданы элементы, которые могли бы выступить в качестве образующих сечений, кроме того, они должны принадлежать разным эскизам.

После нажатия на пиктограмму перед Вами появится диалоговое окно Выталкивание по сечениям (рис. 2.7.75).

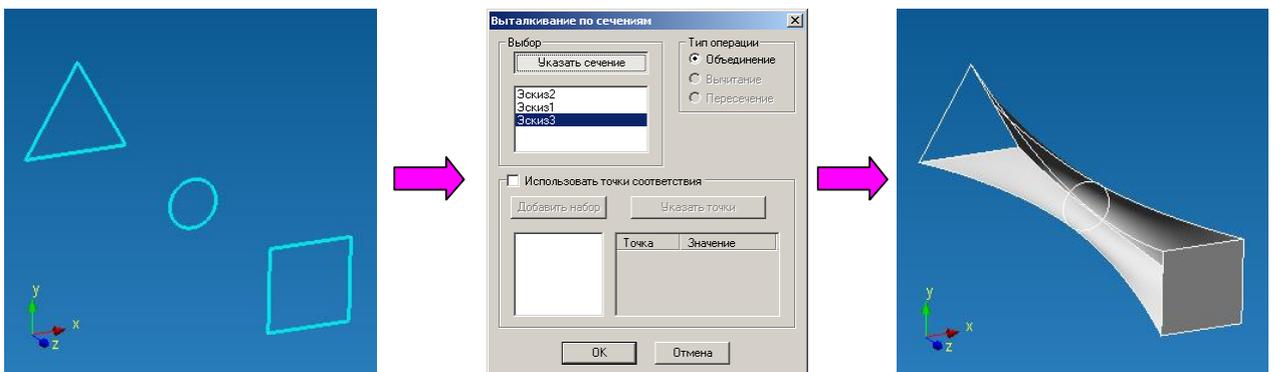
Нажатая кнопка **Указать сечение**, позволит Вам указать набор образующий контуров. Причем контур должен быть замкнутым, однако выделение происходит только одного контура, несмотря на то, что в рамках одного эскиза могут присутствовать несколько контуров. Указание контура происходит путем нажатия левой клавишей мыши один раз.

При подведении курсора мыши к сечению, данный объект будет подсвечен желтым цветом. После нажатия левой клавишей мыши на выделенный объект, произойдет «моргание» данного объекта и он приобретет голубой цвет, тем самым, показывая Вам, что объект выбран. Если после перемещения курсора от выбранного объекта его выделение пропадет, это означает, что объект не выбран. Для снятия выделения необходимо нажать на выбранное сечение один раз левой клавишей мыши.

После указания всех интересующих Вас сечений необходимо нажать клавишу ОК в диалоговом окне **Выталкивание по сечениям**. Однако при работе в твердотельном режиме целесообразно сразу использовать точки соответствия, тем самым Вы получите ожидаемый результат.

Рассмотрим работу команды на примере твердого тела, у которого в качестве образующих сечений последовательно выступают треугольник, окружность и квадрат:

1. Последовательно выбраны сечения треугольник, окружность и квадрат, точки соответствия не используются.



2. Последовательно выбраны сечения треугольник, окружность и квадрат, используются точки соответствия (процедура задания точек соответствия будет рассмотрена ниже).

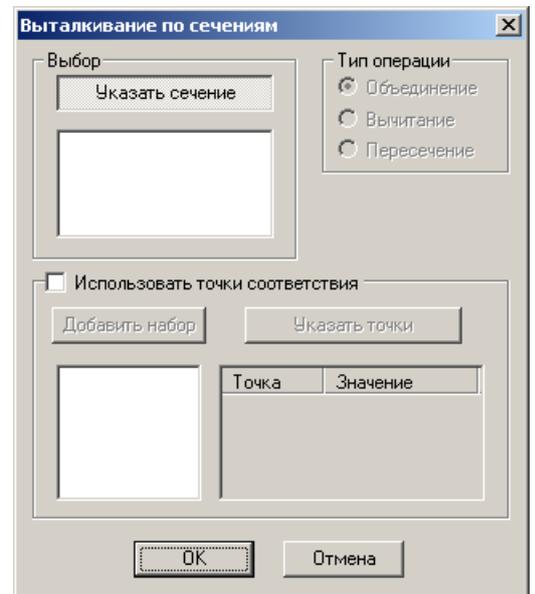
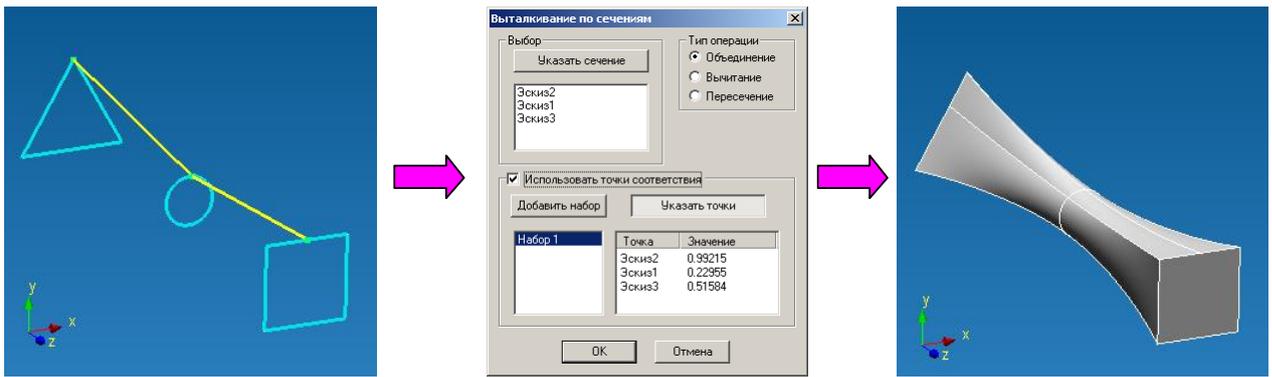


Рис. 2.7.75 Диалоговое окно Выталкивание по сечениям.



Для удаления ранее выбранного контура необходимо выделить эскиз, которому принадлежит сечение, в списке эскизов и нажать клавишу **Delete** на клавиатуре. Чтобы выделить эскиз надо подвести курсор мыши к интересующему эскизу в диалоговом окне Вытапливание по сечениям и нажать один раз левой клавишей мыши, после чего соответствующее имя эскиза выделится синей строкой.

ВАЖНО!!! Создание твердого тела будет реализовано в соответствии с порядком указания сечений.

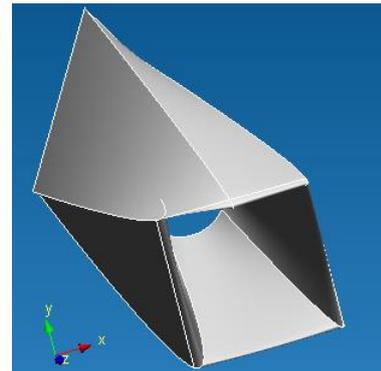


Рис. 2.7.76 Результат операции Вытапливания по сечениям в случае последовательного выбора треугольника, квадрата и окружности.

Последней опционной возможностью является использования точек соответствия. Используя набор точек соответствия, Вы однозначно укажете одну из граней вновь создаваемого твердого тела, тем самым, влияя на вид этого твердого тела. Для задания точек соответствия необходимо поставить галочку напротив надписи **Использовать точки соответствия** в диалоговом окне **Вытапливание по сечениям** нажатием левой клавишей мыши один раз.

После активизации режима использования точек соответствия появится первый набор, в котором будут расположены точки соответствия – Набор 1. Нажатая кнопка **Указать точки** предлагает Вам задать точки соответствия. Для этого необходимо подвести курсор мыши к любому объекту, входящему в состав контура. Ближайший к курсору элемент подсветиться желтым цветом, тем самым, предлагая Вам задать на нем базовую точку, которая в свою очередь будет подсвечиваться зеленым цветом. Для фиксации положения точки достаточно нажать один раз левой клавишей мыши. Количество точек соответствия в одном наборе соответствует количеству сечений, используемых для построения поверхности.

Рассмотрим процедуру использования точек соответствия команды на примере твердого тела, у которого в качестве образующих сечений последовательно выступают треугольник, окружность и квадрат:

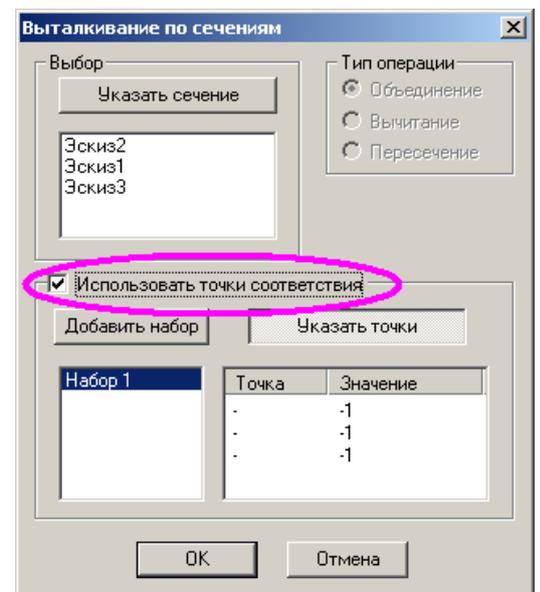
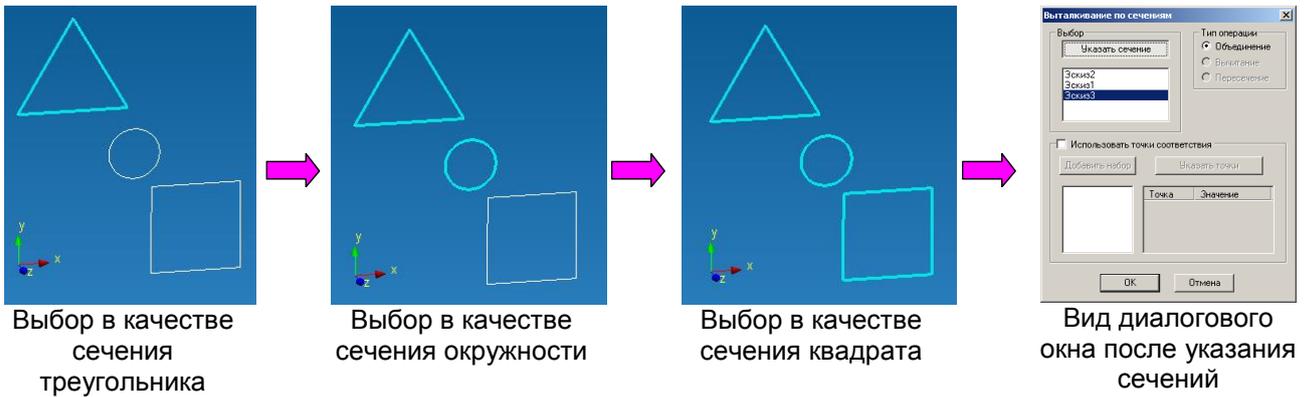
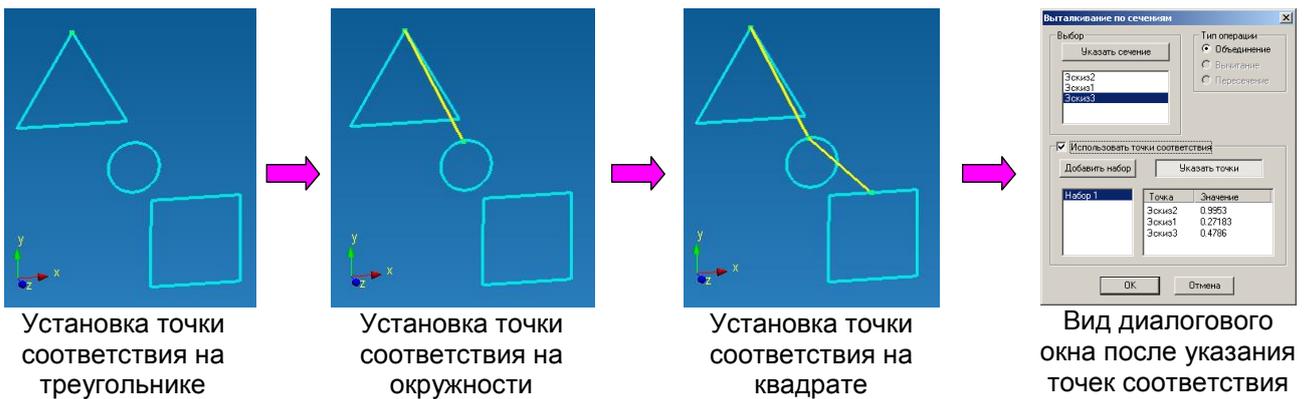


Рис. 2.7.77 Активизация режима использования точек соответствия.

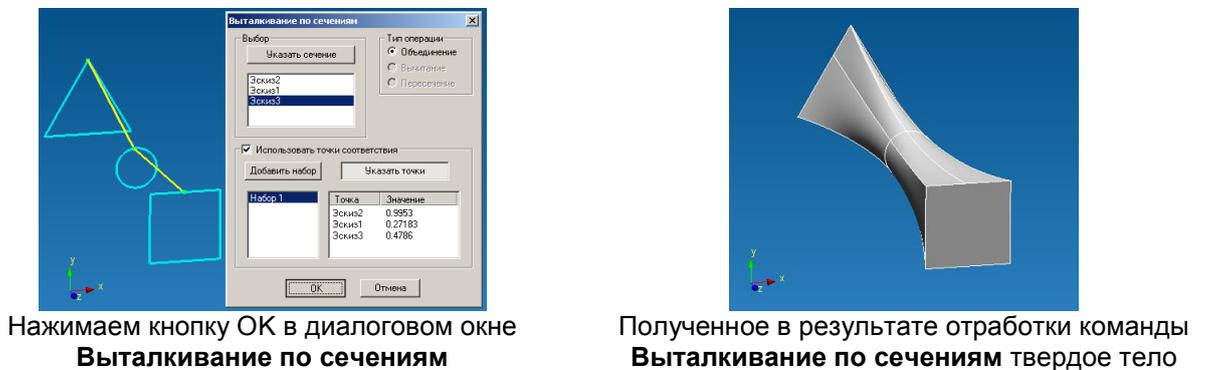
1. последовательно выбраны три исходных сечения – треугольник, окружность и прямоугольник.



2. последовательно указываем точки соответствия на треугольнике, окружности и квадрате.



3. соглашаемся с ранее указанными сечениями и набором точек соответствия нажатием кнопки ОК и получаем в итоге твердое тело:



В случае если одного набора точек соответствия не достаточно, необходимо создать дополнительные наборы. Для этого переходим в режим редактирования операции Выталкивание по сечениям – в режиме **Выбора** выделяем операцию в **Дереве построения** и нажимаем один раз левую клавишу мыши на надпись **Редактировать операцию** (рис. 2.7.78).

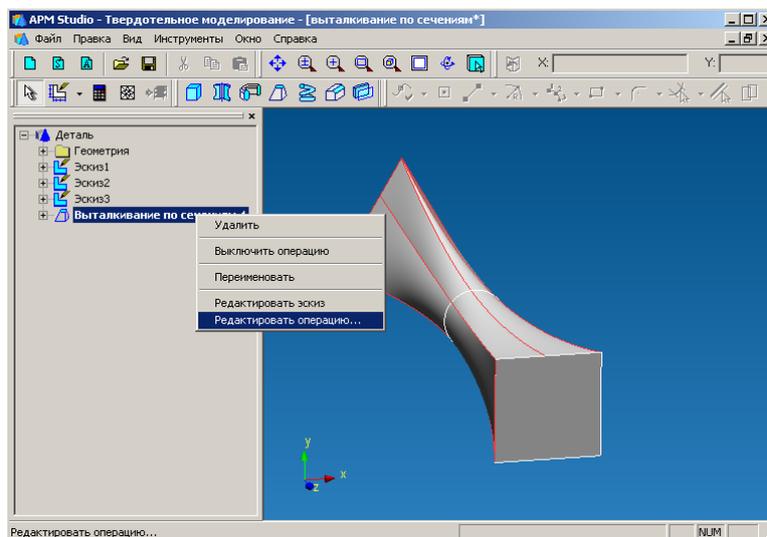


Рис. 2.7.78 Редактирование операции Выталкивание по сечениям.

После этого Вы окажетесь в диалоговом окне **Выталкивание по сечениям**, где необходимо нажать на кнопку **Добавить набор**. Данное действие приведет к появлению второго набора, в котором будут расположены точки соответствия – Набор 2 (рис. 2.7.79).

Нажимаем кнопку **Указать точки** и задаем точки соответствия аналогично тому как проделывалось это для первого набора точек соответствия.

Ускоренный выбор 

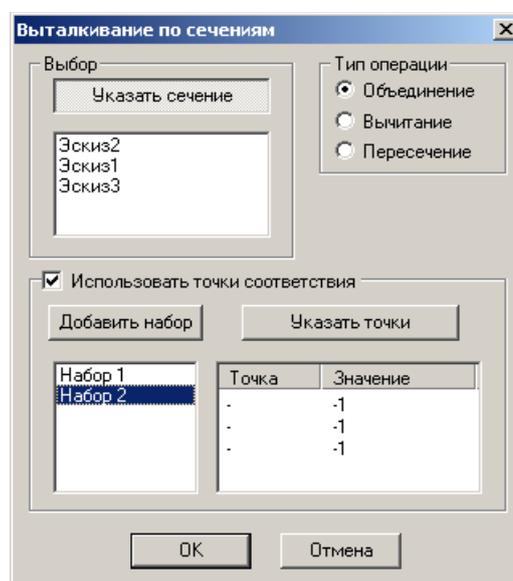


Рис. 2.7.79 Добавление второго набора точек соответствия.

Кручение – данная команда позволит Вам создать твердое тело, которое образовано путем выталкивания исходного контура по винтовой линии.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее были созданы элементы, которые могли бы выступить в качестве образующего сечения и оси кручения. После нажатия на пиктограмму  перед Вами появится диалоговое окно **Кручение** (рис. 2.7.80).

Нажатая кнопка **Выбор контура**, позволит Вам указать образующий контур. В данном случае предполагается использование только замкнутых контуров, ввиду работы в режиме твердотельного моделирования, однако у Вас есть возможность выбора нескольких контуров - одного внешнего контура и одного или нескольких внутренних контуров. Указание контура происходит путем нажатия левой клавишей мыши один раз.

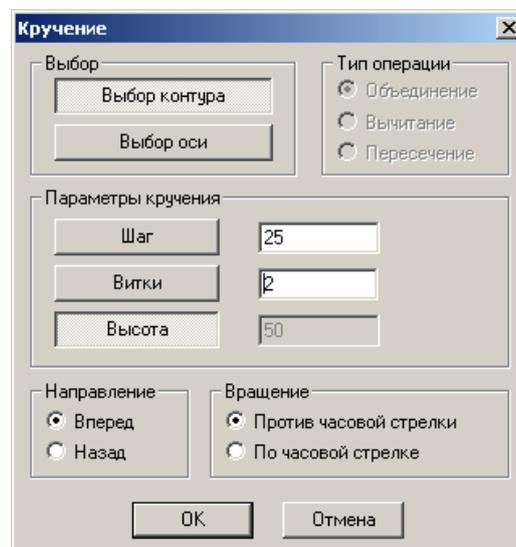


Рис. 2.7.80 Диалоговое окно Кручение.

При подведении курсора мыши к сечению, данный объект будет подсвечен голубым цветом. После нажатия левой клавишей мыши на выделенный объект, произойдет «моргание» данного объекта и он сохранит голубой цвет, тем самым, показывая Вам, что объект выбран. Если после перемещения курсора от выбранного объекта его выделение пропадет, это означает, что объект не выбран (рис. 2.7.81). Аналогичным образом производится в случае необходимости выделение и внутренних контуров. Для снятия выделения необходимо нажать на выбранное сечение один раз левой клавишей мыши.

Далее необходимо активизировать кнопку **Выбор оси** нажатием на неё один раз левой клавишей мыши, чтобы задать ось, вокруг которой будет происходить вращение. При подведении курсора мыши к отрезку, он будет подсвечен желтым цветом. После нажатия левой клавишей мыши на выделенный объект, объект приобретет голубой цвет, тем самым, показывая Вам, что объект выбран. Если после перемещения курсора от выбранного объекта его выделение пропадет, это означает, что объект не выбран (рис. 2.7.82). Для снятия выделения необходимо нажать на выбранную ось один раз левой клавишей мыши.

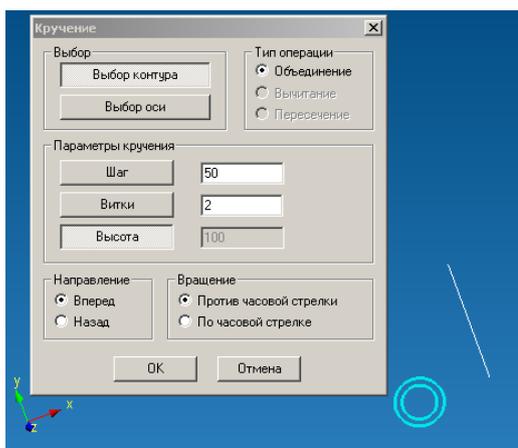


Рис. 2.7.81 Указание кольца в качестве контура.

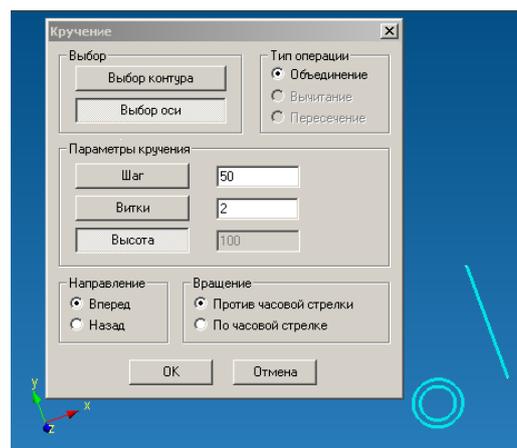


Рис. 2.7.82 Указание отрезка в качестве оси.

ВАЖНО!!! Исходный контур и ось вращения должны принадлежать одному эскизу, в противном случае Вам не удастся указать ось вращения.

После этого необходимо указать параметры кручения, что полностью будет соответствовать настройке параметров винтовой линии, по которой будет выталкиваться ранее выбранный контур. Для задания параметров винтовой линии предлагается три параметра (достаточно двух из трех):

Шаг – расстояние между двумя соседними витками винтовой линии.

Витки – количество витков в винтовой линии.

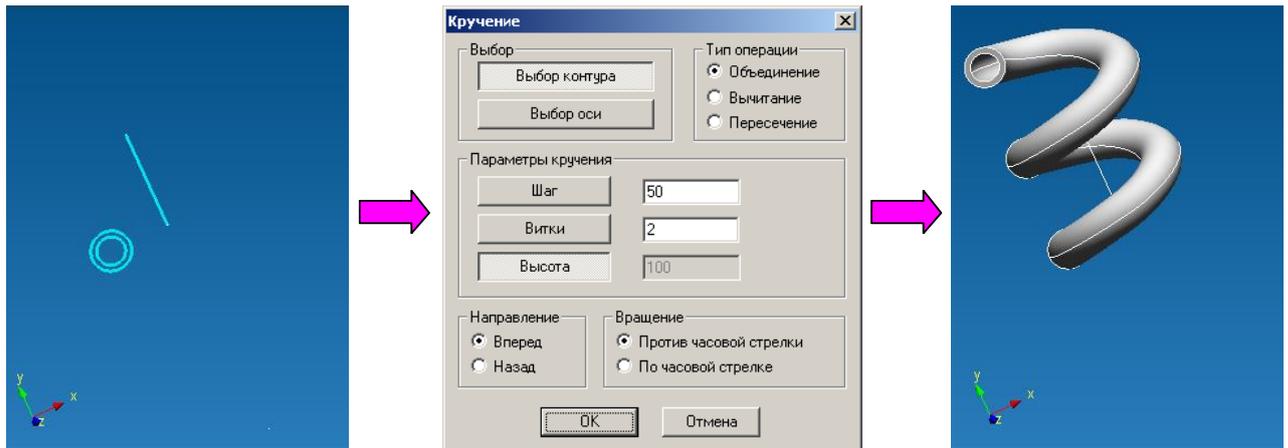
Высота – высота винтовой линии, расстояние от начала первого витка до конца последнего витка.

Для указания параметров винтовой линии достаточно двух из трех выше перечисленных, кнопка с неиспользуемым параметром будет нажата, на Рис. 2.7.81 не используется параметр Высота.

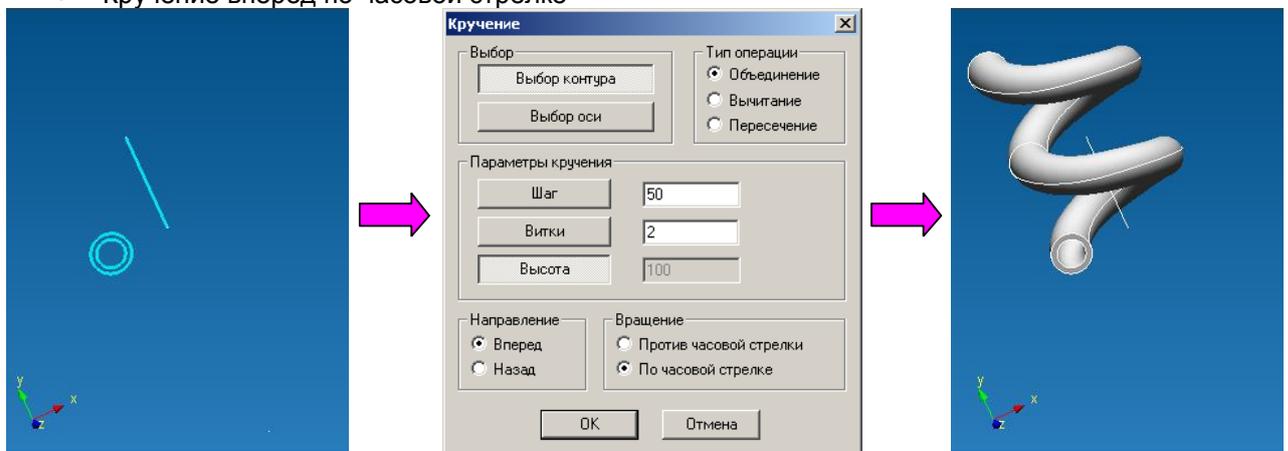
Последними настройками является указания направления выталкивания – Вперед или Назад, а также указание в каком направлении будет реализовано «закручивание» - По часовой стрелке или Против часовой стрелки.

Рассмотрим возможные варианты, которые можно получить с использованием команды Кручения, в качестве исходного контура выступит кольцо:

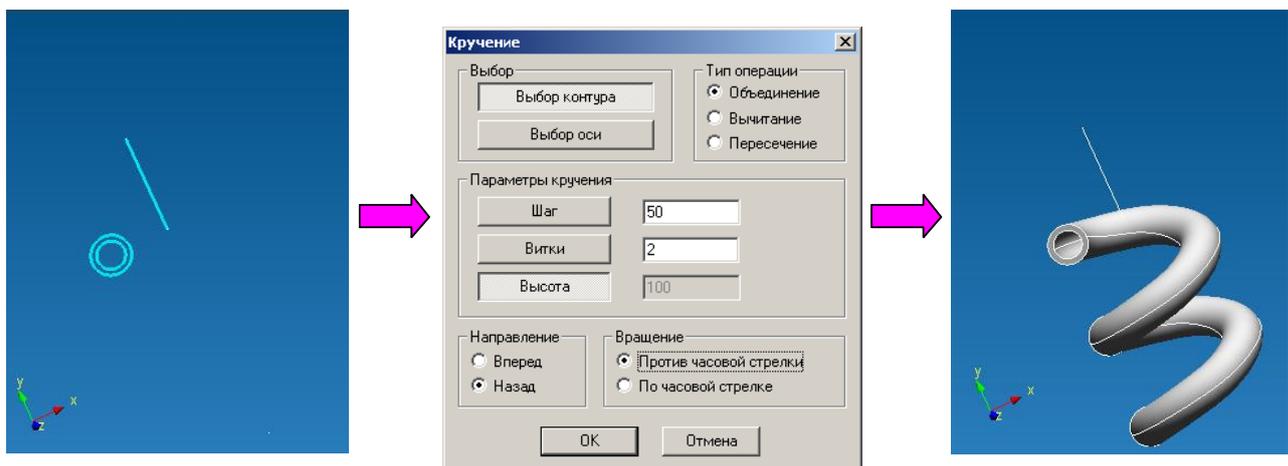
- Кручение вперед против часовой стрелки



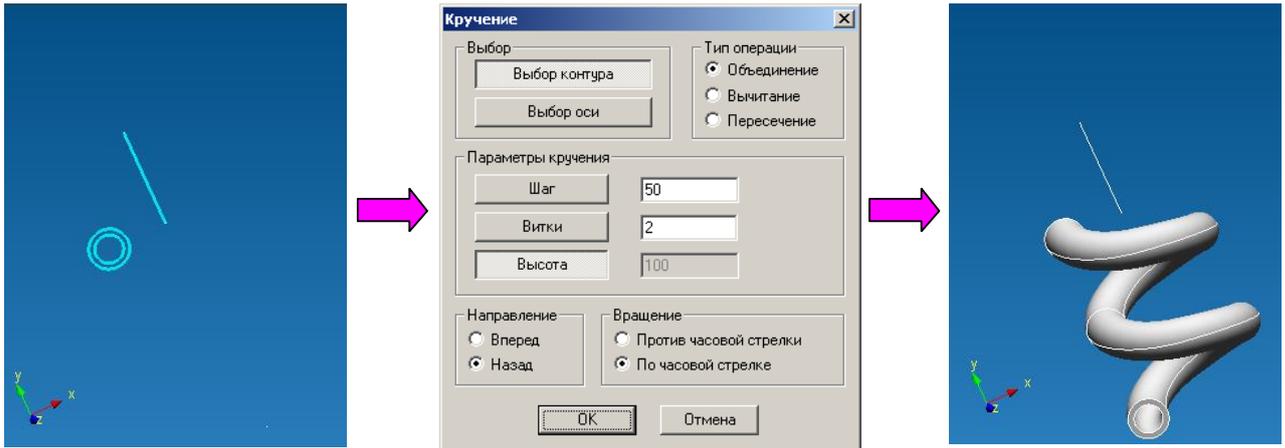
- Кручение вперед по часовой стрелке



- Кручение назад против часовой стрелки



- Кручение назад по часовой стрелке



В случае необходимости изменения параметров команды надо перейти в режим редактирования операции **Кручение** – в режиме **Выбора** выделяем операцию в **Дереве построения** и нажимаем один раз левую клавишу мыши на надпись **Редактировать операцию**. После чего вносим необходимые изменения в окне **Кручение** и нажимаем кнопку ОК.

Ускоренный выбор

Скругление по ребру – данная команда позволит Вам скруглить ребро твердого тела определенным радиусом.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее были создано твердое тело. После нажатия на пиктограмму Вам необходимо указать ребро твердого тела. Для этого необходимо нажать на ребро один раз левой клавишей мыши. После этого на экране отобразятся линии вновь создаваемого скругления (рис. 2.7.83).

Следующим этапом является указание радиуса скругления. Для этого необходимо обратиться к панели ручного ввода, в котором необходимо с клавиатуры численное значение радиуса скругления (рис. 2.7.84).



Рис. 2.7.84 Панель инструментов Ручной ввод.

Для фиксации заданного радиуса скругления необходимо перевести курсор мыши в окно редактора и нажать один раз левой клавишей мыши (рис. 2.7.85).

Ускоренный выбор

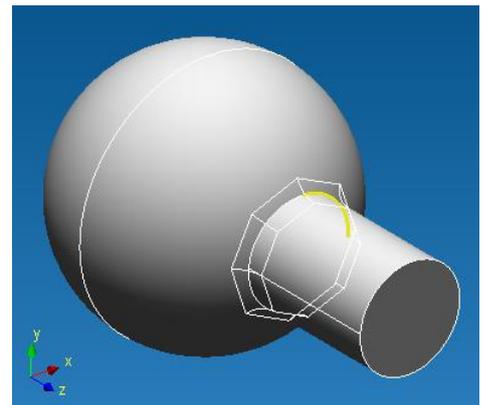


Рис. 2.7.83 Показ линий будущего скругления.

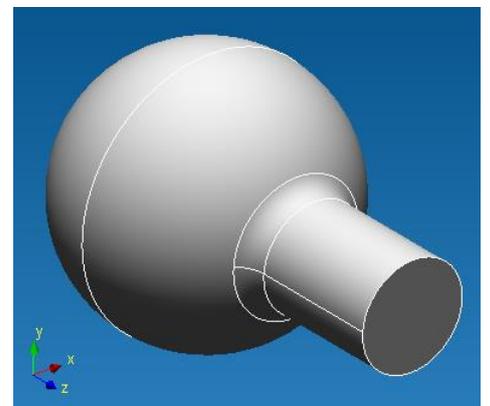


Рис. 2.7.85 Результат работы операции **Скругление по ребру**.

3х-мерная фаска – данная команда позволяет создать фаску на ребре твердого тела. Фаска определяется двумя размерами.

Для выполнения этой операции необходимо указать ребро твердого тела, а также задать два размера, определяющих фаску, на панели ручного ввода.

Завершение выполнения операции происходит по нажатию левой кнопкой мыши в окне редактора.

Ускоренный выбор: 

Рабочая плоскость - данная команда позволит Вам создать некоторую плоскость, на базе которой Вы сможете создать Эскиз.

Прежде чем воспользоваться данной командой необходимо, чтобы ранее было создано твердое тело. После нажатия на пиктограмму  Вам необходимо воспользоваться одним из 8-ми способов указания плоскости в пространстве:

1. Указание рабочей плоскости путем смещения относительно ранее созданной плоской грани или рабочей плоскости.

На первом этапе необходимо зафиксировать плоскую грань, параллельно которой будет создана рабочая плоскость. Для этого достаточно подвести курсор мыши к любой плоской грани, при этом ближайшая плоская грань подсветится голубым цветом (рис. 2.7.86). Для фиксации подсвеченной грани достаточно зажать левую клавишу мыши и переместить курсор. Вслед за курсором потянется вновь создаваемая рабочая плоскость (рис. 2.7.87). Как только появится отрисовка новой плоскости левую клавишу мыши можно отпустить. Для фиксации расположения рабочей плоскости в пространстве достаточно, после смещения курсора на заданную величину, нажать один раз левую клавишу мыши (рис. 2.7.88).

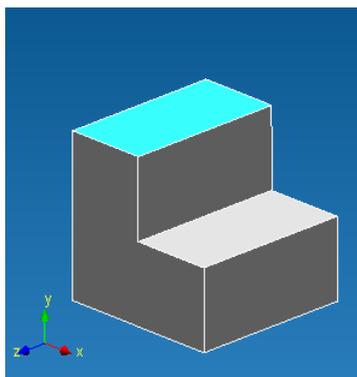


Рис. 2.7.86 Выбранная плоская грань.

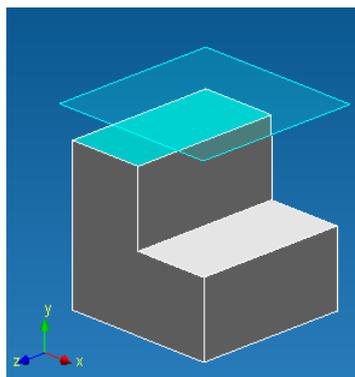


Рис. 2.7.87 Создаваемая рабочая плоскость.

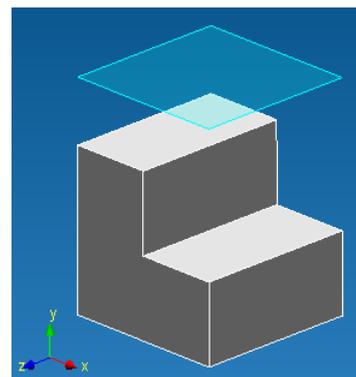


Рис. 2.7.88 Конечное положение рабочей плоскости.

Для точного задания смещения вновь создаваемой рабочей плоскости относительно исходной плоской грани достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, где необходимо ввести с клавиатуры числовое значение смещения: 

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения рабочей плоскости и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим построения рабочей плоскости.

2. Указание рабочей плоскости посередине между двумя параллельными плоскими гранями.

На первом этапе необходимо задать первую плоскую грань. Для этого достаточно подвести курсор мыши к любой плоской грани, при этом ближайшая из них подсветится голубым цветом (рис. 2.7.89). Для фиксации подсвеченной грани достаточно нажать левую клавишу мыши один раз, после чего поверхность приобретет более темный оттенок. Для задания второй плоской грани необходимо перевести на нее курсор мыши. Вслед за этим вторая плоская грань подсветится голубым цветом, при этом на экране прорисовывается вновь создаваемая рабочая плоскость (рис. 2.7.90). Для фиксации второй плоской грани достаточно нажать один раз левую клавишу мыши, после чего пропадет выделение первой и второй плоских граней и зафиксируется положение рабочей плоскости - ровно посередине между двумя ранее указанными гранями (рис. 2.7.91).

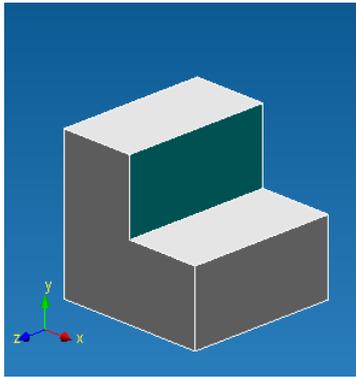


Рис. 2.7.89 Первая выбранная плоская грань.

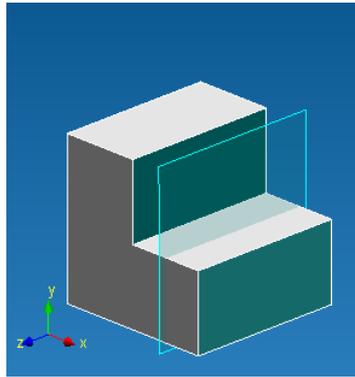


Рис. 2.7.90 вторая выбранная плоская грань.

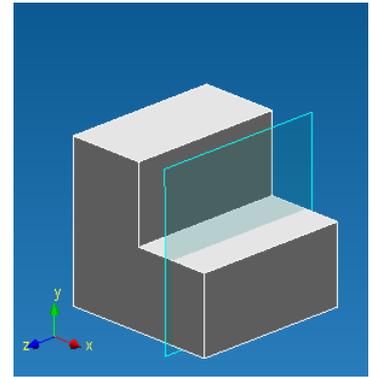


Рис. 2.7.91 Конечное положение рабочей плоскости.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения рабочей плоскости и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим построения рабочей плоскости.

3. Указание рабочей плоскости путем задания отрезка и угла к ранее созданной плоской грани.

На первом этапе необходимо задать отрезок, которым может выступить ребро любой плоской грани. Для этого достаточно подвести курсор мыши к ребру, при этом ближайшее ребро подсветится желтым цветом (рис. 2.7.92). Для выбора подсвеченного ребра достаточно нажать один раз левую клавишу мыши, после чего грань приобретет голубой цвет, тем самым, указывая, что данное ребро выбрано.

Далее необходимо указать плоскую грань. Для этого достаточно подвести к ней курсор мыши, что приведет к подсвечиванию данной грани голубым цветом. Далее с клавиатуры вводим угол – угол, под которым, к ранее выделенной грани, пройдет рабочая плоскость. Для этого, не отводя курсор мыши от плоской грани, сразу задаем числовое значение угла. Данная величина автоматически будет записываться, и отображаться в панели инструментов Ручной ввод (рис. 2.7.93). Заключительным этапом будет фиксация заданного положения Рабочей плоскости, путем нажатия левой клавиши мыши один раз (рис. 2.7.94).

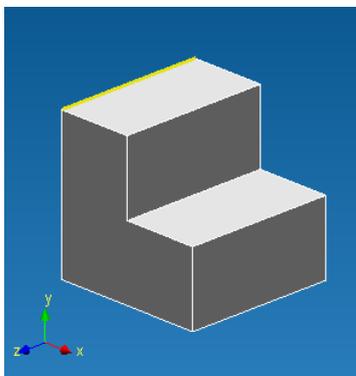


Рис. 2.7.92 Указание прямой.

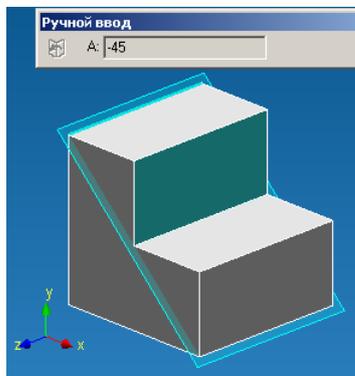


Рис. 2.7.93 Указание угла к выбранной плоской грани.

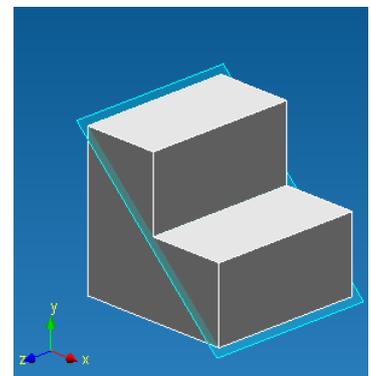


Рис. 2.7.94 Конечное положение рабочей плоскости.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения рабочей плоскости и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим построения рабочей плоскости.

4. Задание рабочей плоскости через точку и параллельно указанной плоской грани/рабочей плоскости.

На первом этапе необходимо указать точку, которой может выступить любой узел трехмерной модели. При подводе курсора к узлу он подсветится зеленым цветом. Для фиксации подсвеченного узла достаточно нажать один раз левой клавишей мыши, после чего узел приобретет голубой цвет, тем самым, показывая, что данный узел выбран (рис. 2.7.95). Далее необходимо указать плоскую грань, параллельно которой будет создана рабочая плоскость. Для этого необходимо подвести курсор к плоской грани, ближайшая из них подсветится голубым цветом. Как только произойдет подсветка одной из грани автоматически отрисовывается рабочая плоскость, параллельная выделенной плоской грани и проходящая через ранее выделенный узел (рис. 2.7.96).

Для фиксации плоской грани и, соответственно рабочей плоскости, необходимо нажать один раз левой клавишей мыши при подсвечивании интересующей грани (рис. 2.7.97).

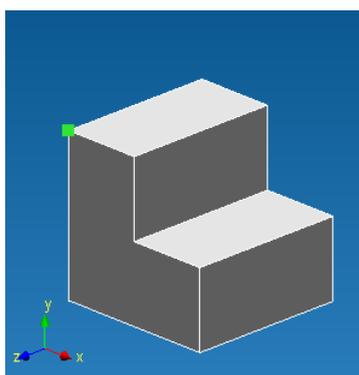


Рис. 2.7.95 Указание узла.

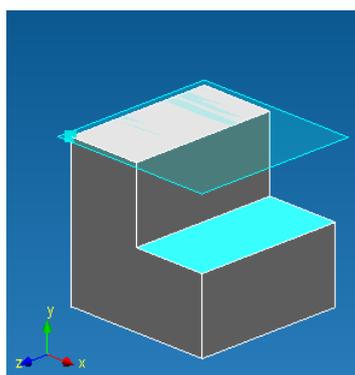


Рис. 2.7.96 Указание плоской грани.

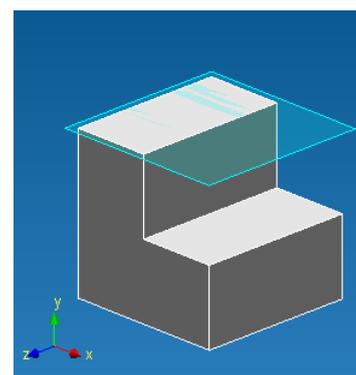


Рис. 2.7.97 Конечное положение рабочей плоскости.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения рабочей плоскости и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим построения рабочей плоскости.

5. Задание рабочей плоскости через два неперекрещивающихся отрезка.

На первом этапе необходимо указать первый отрезок, которым может выступить любая линия любого эскиза, а так же любое ребро плоской грани. Для этого достаточно подвести курсор мыши к отрезку, после чего он подсветится желтым цветом. Для фиксации подсвеченного отрезка достаточно нажать один раз левой клавишей мыши, после чего отрезок приобретет голубой цвет, показывая тем самым, что он выбран (рис. 2.7.98).

На следующем этапе необходимо указать второй отрезок, которым может быть как отрезок эскиза, так и грань плоской грани. Для этого необходимо подвести курсор мыши к интересующему отрезку, после чего отрезок подсветится желтым цветом. Кроме того, автоматически будет прорисована вновь создаваемая рабочая плоскость, проходящая через ранее выделенный отрезок и вновь подсвеченный (рис. 2.7.99).

Для фиксации второго отрезка необходимо нажать один раз левой клавишей мыши, после чего пропадет выделение обоих отрезков, и произойдет фиксация в пространстве вновь создаваемой рабочей плоскости (рис. 2.7.100).

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения рабочей плоскости и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим построения рабочей плоскости.

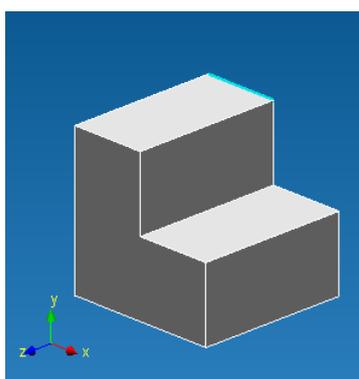


Рис. 2.7.98 Указание первого отрезка.

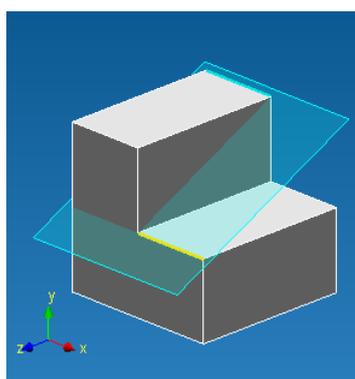


Рис. 2.7.99 Указание второго отрезка.

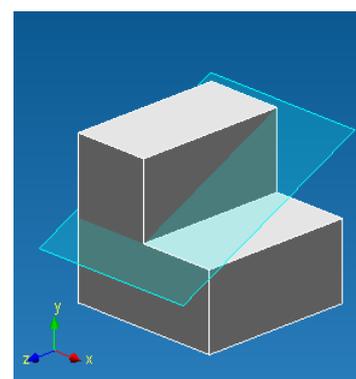


Рис. 2.7.100 Конечное положение рабочей плоскости.

6. Задание рабочей плоскости проходящую через точку и нормально к прямой.

На первом этапе необходимо указать точку, которой может выступить любой узел трехмерной модели. При подводе курсора к узлу он подсветится зеленым цветом. Для фиксации подсвеченного узла достаточно нажать один раз левой клавишей мыши, после чего узел приобретет голубой цвет, тем самым, показывая, что данный узел выбран (рис. 2.7.101).

На следующем этапе необходимо указать отрезок, которым может быть как отрезок эскиза, так и грань плоской грани. Для этого необходимо подвести курсор мыши к интересующему отрезку, после чего отрезок подсветится желтым цветом. Кроме того, автоматически будет прорисована

вновь создаваемая рабочая плоскость, проходящая через ранее выделенную точку и перпендикулярно вновь подсвеченной прямой (рис. 2.7.102).

Для фиксации отрезка необходимо нажать на него один раз левой клавишей мыши, после чего пропадет выделение отрезка и узла, и произойдет фиксация в пространстве вновь создаваемой рабочей плоскости (рис. 2.7.103).

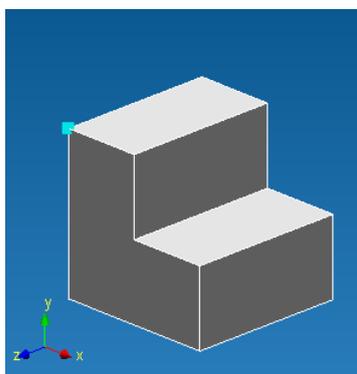


Рис. 2.7.101 Указание узла.

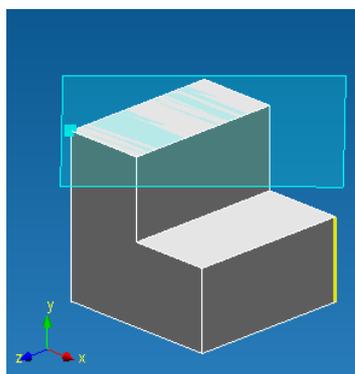


Рис. 2.7.102 Указание отрезка.

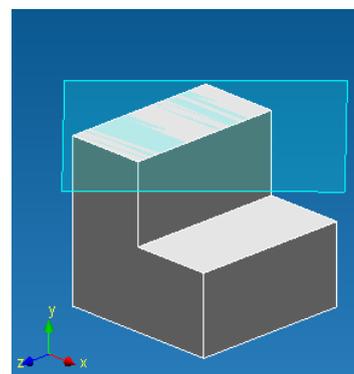


Рис. 2.7.103 Конечное положение рабочей плоскости.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения рабочей плоскости и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим построения рабочей плоскости.

7. Задание рабочей плоскости по точке и нормально к плоской кривой.

На первом этапе необходимо указать точку, которой может выступить любой узел трехмерной модели. При подводе курсора к узлу он подсветится зеленым цветом. Для фиксации подсвеченного узла достаточно нажать один раз левой клавишей мыши, после чего узел приобретет голубой цвет, тем самым, показывая, что данный узел выбран (рис. 2.7.104).

На следующем этапе необходимо указать плоскую кривую, которым может быть как отрезок эскиза, так и грань плоскости. Для этого необходимо подвести курсор мыши к интересующей кривой, после чего она подсветится желтым цветом. Кроме того, автоматически будет прорисована вновь создаваемая рабочая плоскость, проходящая через ранее выделенную точку и перпендикулярно вновь подсвеченной кривой (рис. 2.7.105).

Для фиксации кривой необходимо нажать на неё один раз левой клавишей мыши, после чего пропадет выделение кривой и узла, и произойдет фиксация в пространстве вновь создаваемой рабочей плоскости (рис. 2.7.106).

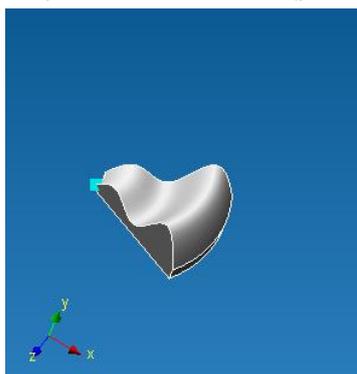


Рис. 2.7.104 Указание узла.

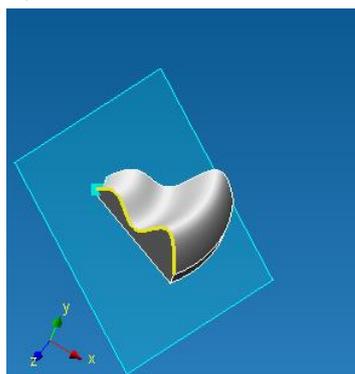


Рис. 2.7.105 Указание кривой.

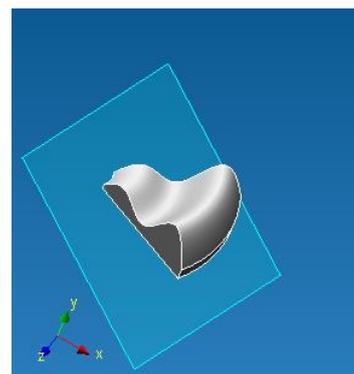


Рис. 2.7.106 Конечное положение рабочей плоскости.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения рабочей плоскости и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим построения рабочей плоскости.

8. Задание рабочей плоскости по трем точкам.

На первом этапе необходимо указать первую точку, которой может выступить любой узел трехмерной модели. При подводе курсора к узлу он подсветится зеленым цветом. Для фиксации подсвеченного узла достаточно нажать один раз левой клавишей мыши, после чего узел приобретет голубой цвет, тем самым, показывая, что данный узел выбран (рис. 2.7.107).

Аналогичным образом задаем вторую точку.

Заключительным этапом является указание третьей точки. При подводе курсора к узлу он подсветится зеленым цветом, кроме того, на экране отобразится вновь создаваемая рабочая плоскость (рис. 2.7.108). Для выбора подсвеченного узла достаточно нажать один раз левой клавишей мыши, после чего пропадет выделение всех узлов и зафиксируется положение в пространстве рабочей плоскости (рис. 2.7.109).

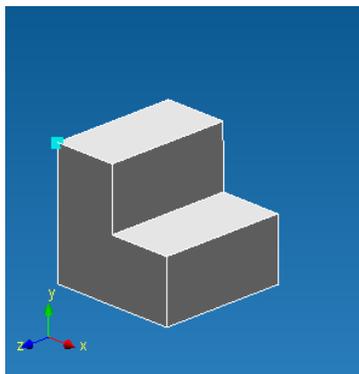


Рис. 2.7.107 Указание первого узла.

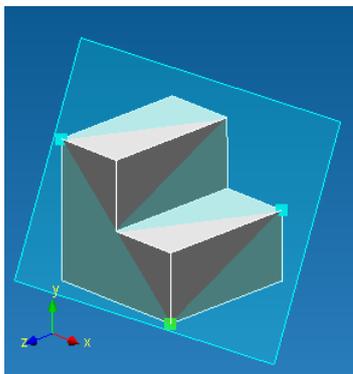


Рис. 2.7.108 Указание третьего узла.

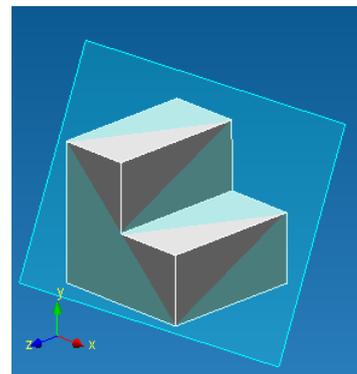


Рис. 2.7.109 Конечное положение рабочей плоскости.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения рабочей плоскости и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим построения рабочей плоскости.

Ускоренный выбор 

Разбить грани выталкиванием кривых – команда позволяет разделить грани с помощью проецирования кривых. При активации команды появится диалоговое окно, в котором можно выбрать грани, которые должны быть разбиты, а также кривые, проекции которых на грани станут инструментами рассечения.

Ускоренный выбор: 

Упростить твердотельную модель – с помощью этой функции можно удалять отверстия и грани или убирать скругления и фаски.

Удаление отличается тем, что ядро будет стараться исключить удаляемую грань из расчета и продолжить смежные с ней грани до пересечения друг с другом. Если пользователь будет убирать грань, то она должна обязательно быть скруглением или фаской, чтобы у ядра была возможность преобразовать это скругление или фаску в ребро.

У операции упростить твердое тело есть 2 режима:

- Ручной выбор;
- Автоматическое удаление.

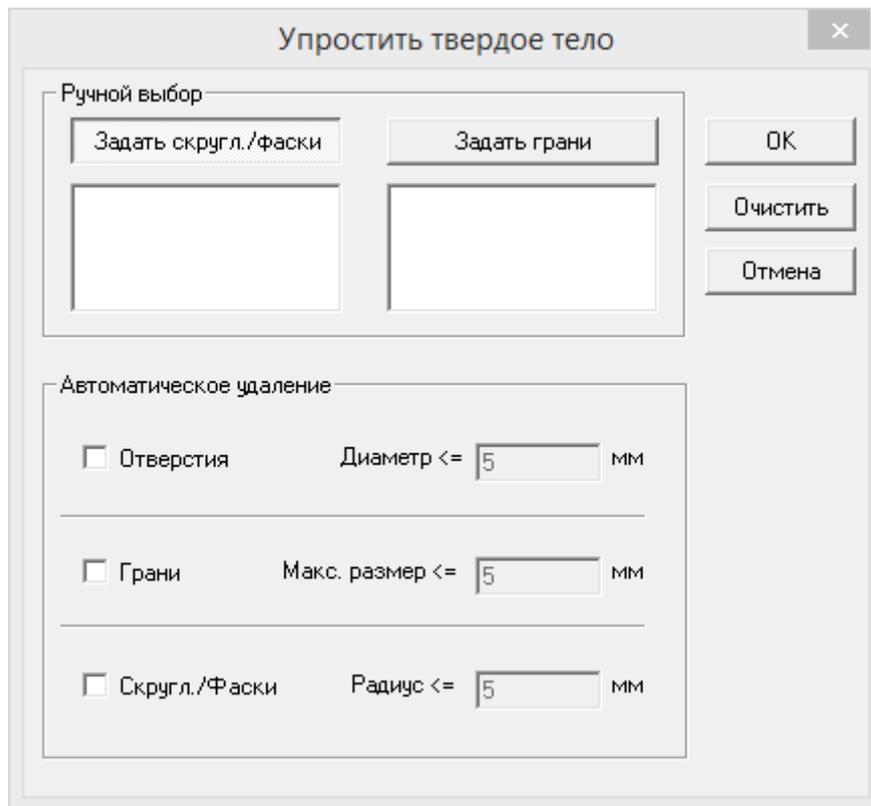


Рис. 2.7.110 Диалоговое окно Упростить твердое тело

При ручном выборе нужно нажать на *Задать скругл./фаски* или *Задать грани*, в зависимости от того, хочет пользователь убрать фаску или произвести удаление грани.

При выборе граней и фасок следует помнить, что операция выдаст результат, только если она сможет сохранить замкнутость тела и не нарушить его топологию. Иначе функция выдаст предупреждающее окно.

Например, попробуем удалить скругление. При ручном выделении нужно нажать *Задать скругл./фаски*, а затем на то скругление, которое хотим убрать.

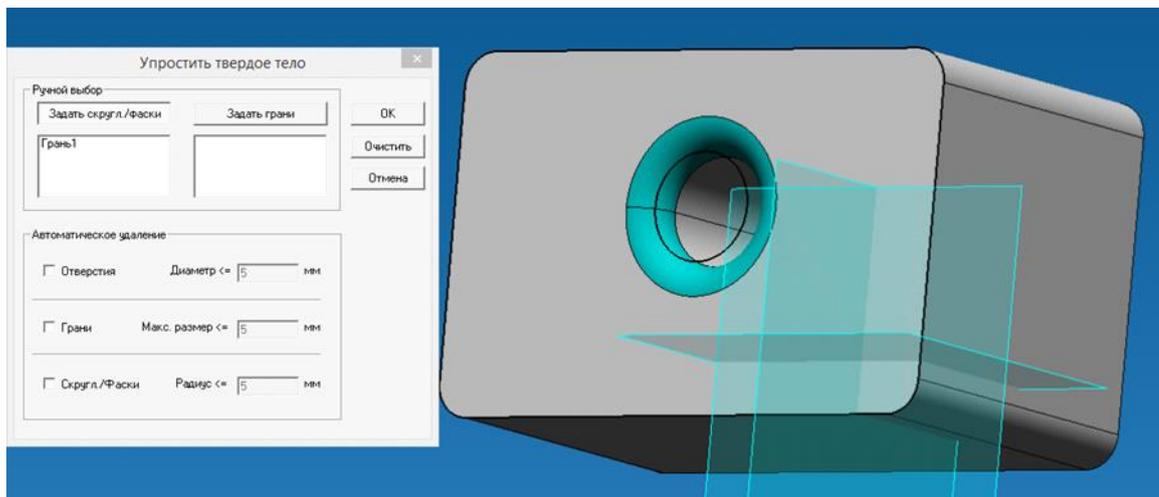


Рис. 2.7.111 Выбор скругления

При выборе этих параметров получаем желаемый результат.

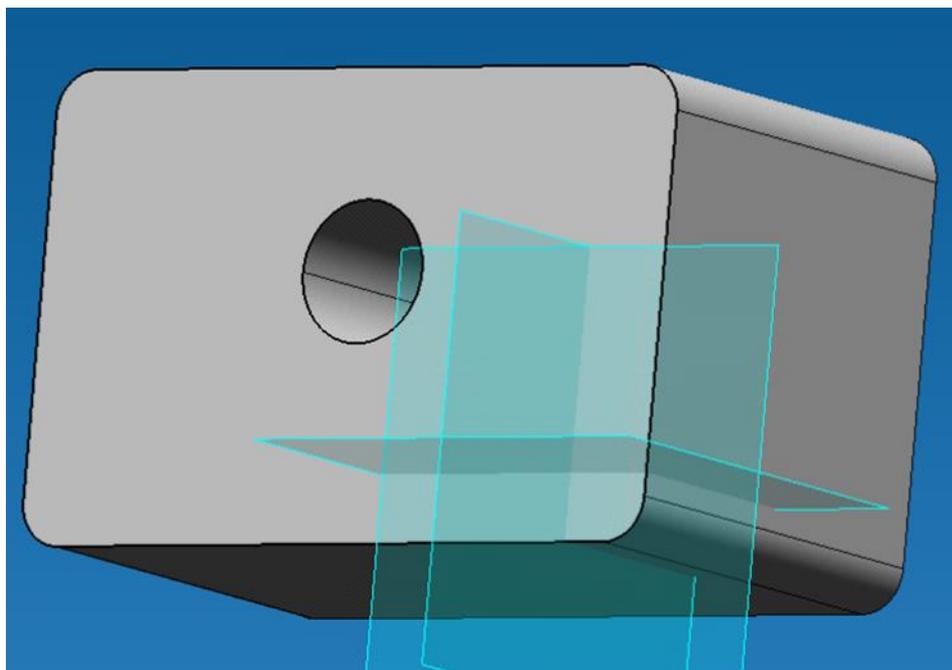


Рис. 2.7.112 Результат выполнения операции

Если же выбрать Задать грани, то ядро попытается произвести удаление выбранных граней. В нашем случае, это будет означать, что ядро попытается исключить из расчета выделенную грань и продолжить смежные с ней грани, а именно грань отверстия и плоскую грань (красная стрелка - направление продолжения грани отверстия, синяя - плоской грани).

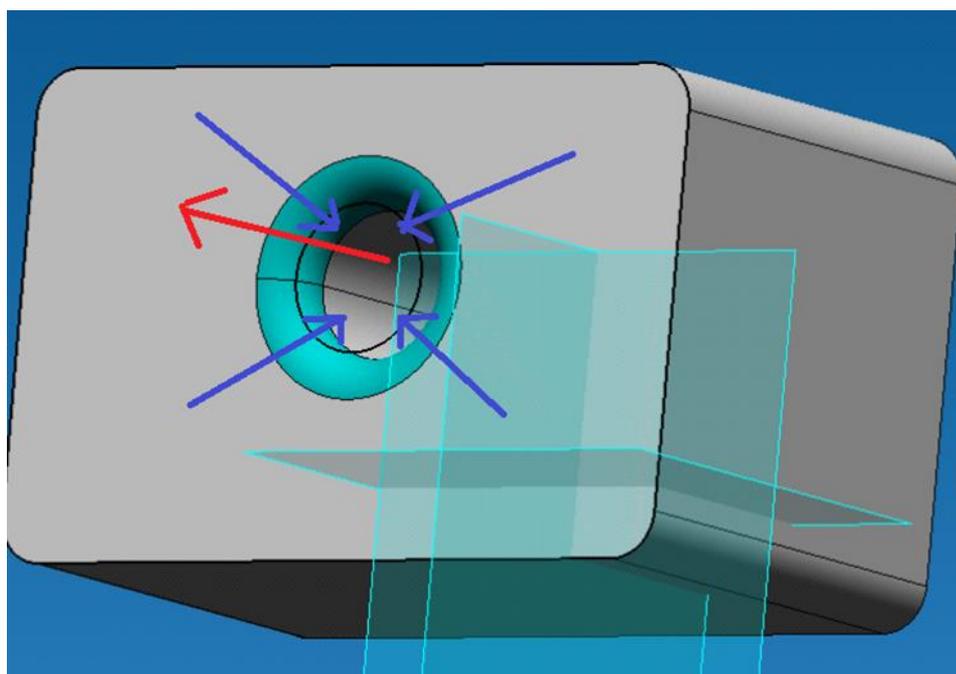


Рис. 2.7.113 Выбор грани

Поскольку ядро при этом старается сгенерировать замкнутое твердое тело, то это приведет к ошибке топологии.

Выбор опции Задать грани лучше применять, когда требуется удалить выпуклости или углубления как глухие, так и сквозные.

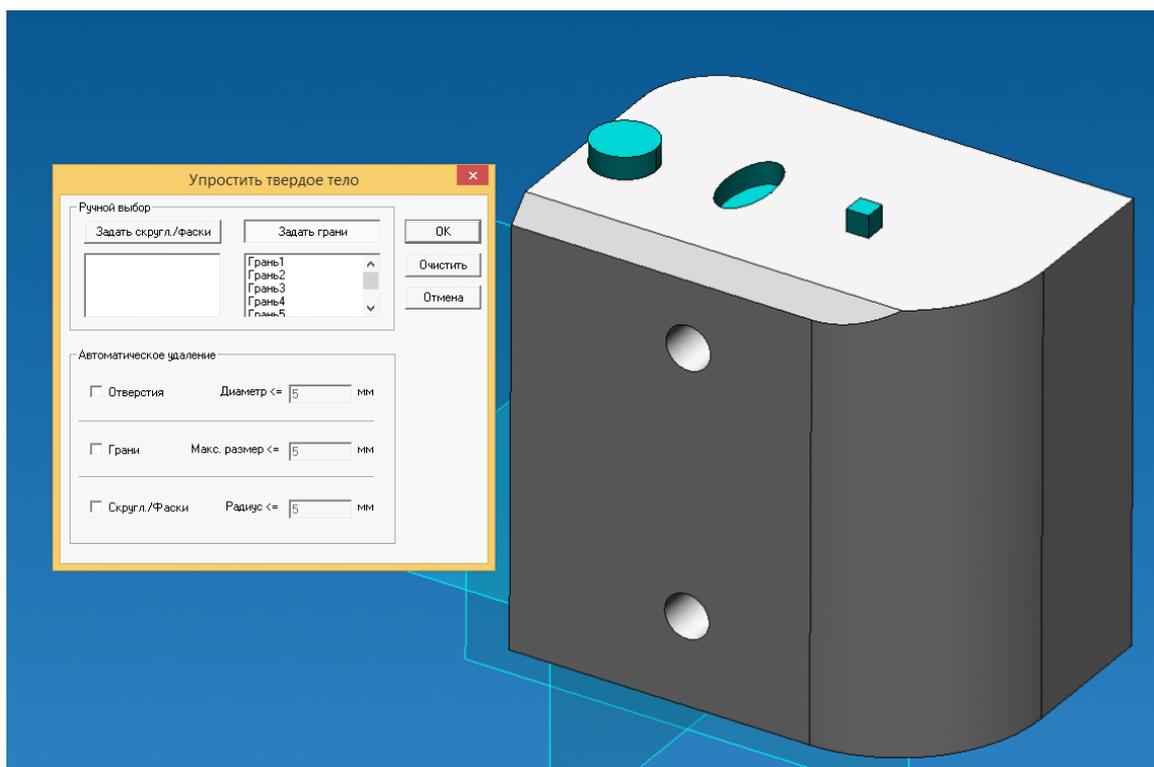


Рис. 2.7.114 Выбор граней

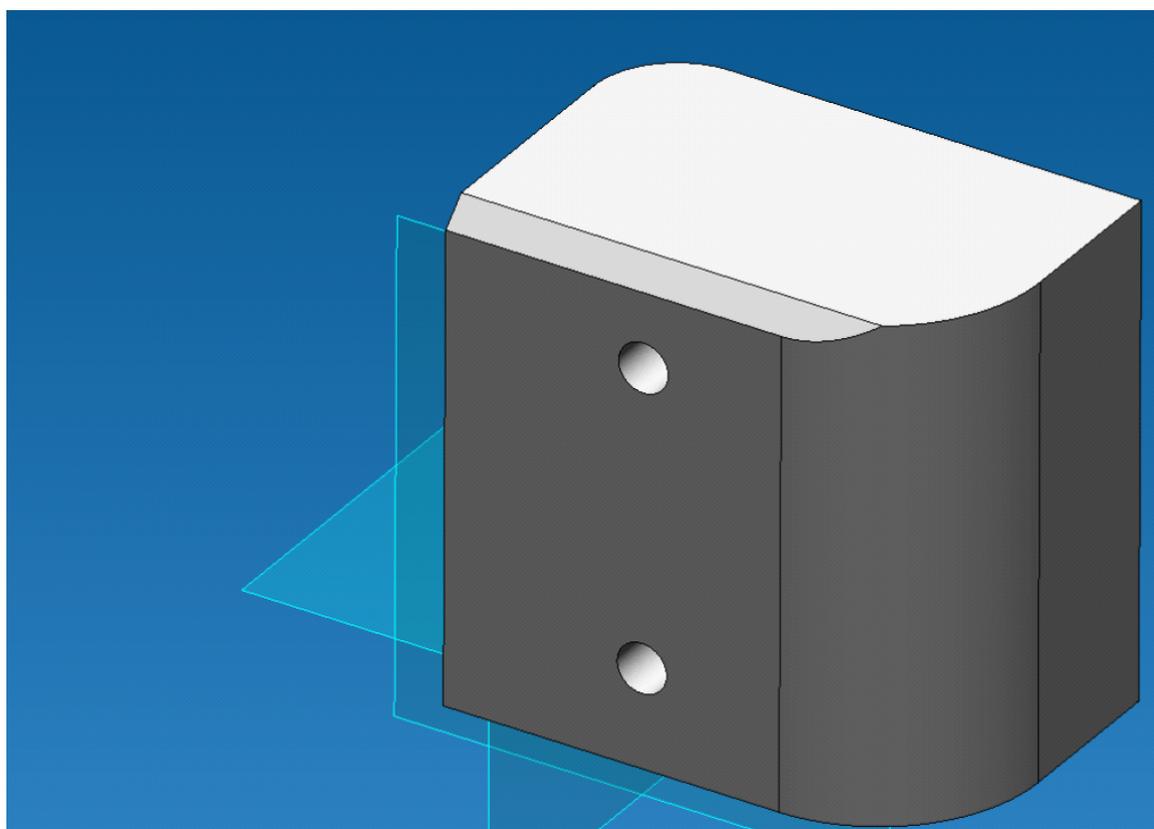


Рис. 2.7.115 Результат операции

При автоматическом удалении нужно поставить галочку на те варианты, которые нужны пользователю, после чего в соответствующих полях ввода можно будет ввести параметр величины удаляемых элементов. После ввода параметров те элементы, которые под них подходят, будут подсвечены.

Разница между опциями отверстия и грани состоит в том, что отверстия находят только цилиндрические поверхности, а грани находят грани любой формы, чей максимальный размер меньше заданного.

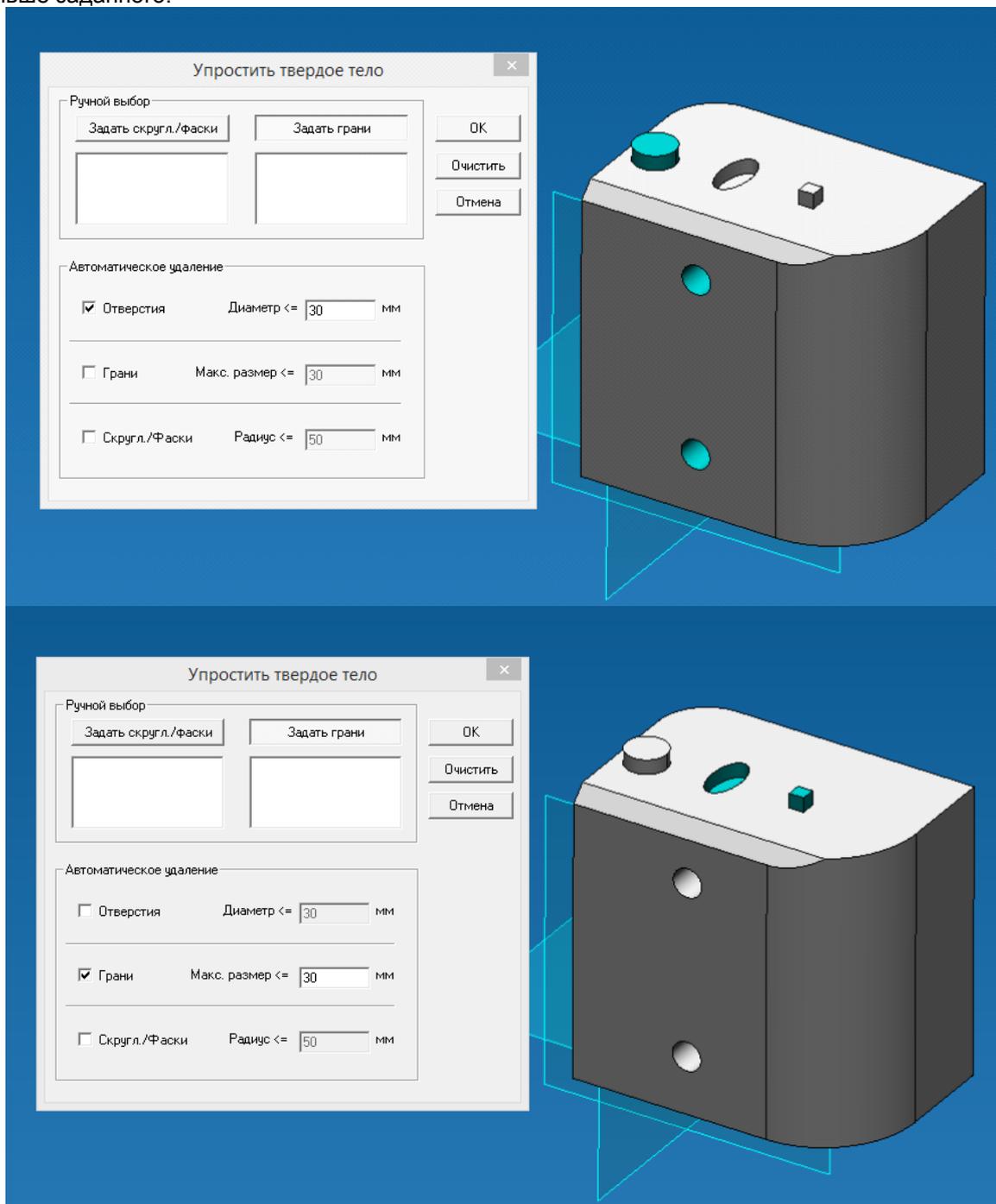


Рис. 2.7.116 Примеры выбора граней для удаления в автоматическом режиме

Ускоренный выбор: 

2.8 Панель инструментов 3D Эскиз

Инструменты представленные в данной панели инструментов позволят Вам создавать различные объекты, в случае если Вы находитесь в трехмерном эскизе.



Рис. 2.8.1 Панель инструментов 3D Эскиз.

Рисовать отрезок – выбрав данную команду, Вы сможете создавать прямолинейные отрезки в трехмерном пространстве, началом и концом которых могут выступать только узловые точки ранее созданной трехмерной модели.

Чтобы создать отрезок необходимо нажать на пиктограмму . Далее необходимо подвести курсор мыши к узлу, ближайший из которых подсветится зеленым цветом (рис. 2.8.2). Чтобы подсвеченный узел выбрать в качестве начала будущего отрезка достаточно нажать один раз левую клавишу мыши. После этого отведите курсор в сторону и автоматически, вслед за курсором, будет динамически отрисовываться линия желтого цвета вновь создаваемый отрезок (рис. 2.8.3).

Далее необходимо указать окончание отрезка. Для этого необходимо подвести курсор мыши к узлу, ближайший из которых подсветится зеленым цветом, и зафиксировать его нажатием один раз левой клавишей мыши (рис. 2.8.4). После чего в окне редактора и в дереве операций появится прямолинейный отрезок, соединяющий первый и второй узлы (рис. 2.8.5).

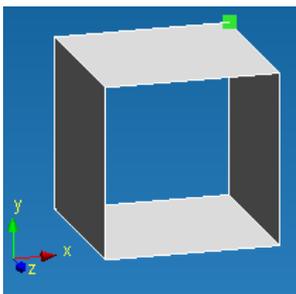


Рис. 2.8.2 Указание первого узла линии.

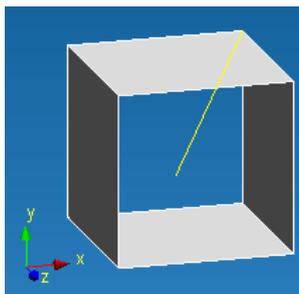


Рис. 2.8.3 Вновь создаваемый отрезок.

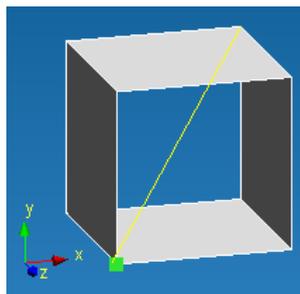


Рис. 2.8.4 Указание второго узла линии.

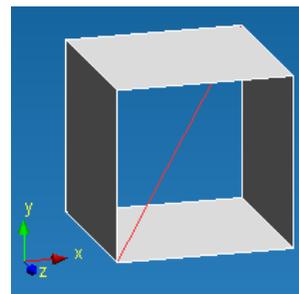


Рис. 2.8.5 Созданный отрезок в 3D Эскизе.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения отрезка и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим рисования.

Ускоренный выбор: 

Создать скругление на соединении двух линий - выбрав данную команду, Вы сможете скруглять ранее созданные отрезки в точках их соединения.

Чтобы создать скругление необходимо нажать на пиктограмму . Для скругления объектов необходимо указать первый и второй скругляемые объекты. Чтобы указать первый скругляемый объект, необходимо подвести к нему курсор мыши. Ближайший к курсору мыши объект будет подсвечен желтым цветом, чтобы его зафиксировать достаточно один раз нажать на него левой клавишей мыши, после чего отрезок приобретет голубой цвет, тем самым, показывая, что он выбран (рис. 2.8.6). Если после перемещения курсора в сторону от объекта он не будет подсвечен голубым цветом, значит, Вы не произвели его выделение.

После указания первого объекта необходимо выбрать второй скругляемый отрезок. Процедура выделения второго объекта аналогична процедуре выделения первого объекта (рис. 2.8.7).

После выделения двух объектов, у Вас динамически будет отрисовываться дуга, у которой будет изменяться (в зависимости от положения курсора) её радиус (рис. 2.8.8). Нажатием левой клавиши мыши Вы фиксируете текущее значение радиуса дуги, заканчивая, тем самым создание скругления (рис. 2.8.9).

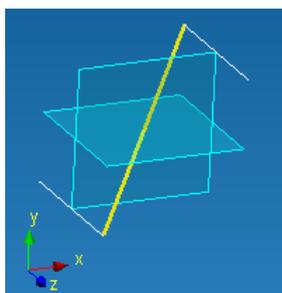


Рис. 2.8.6 Указание первого отрезка.

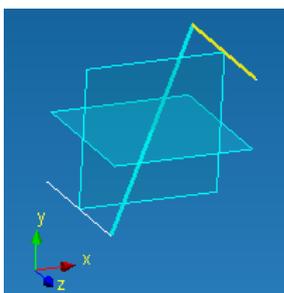


Рис. 2.8.7 Указание второго отрезка.

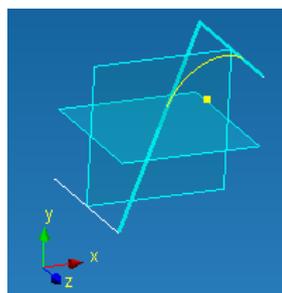


Рис. 2.8.8 Создаваемое скругление.

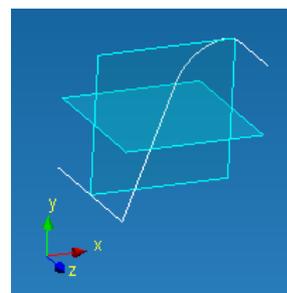


Рис. 2.8.9 Созданное скругление.

Чтобы точно задать с клавиатуры радиус скругления достаточно обратиться к панели инструментов **Ручной ввод**, и ввести значение радиуса (рис 2.8.10).



Рис. 2.8.10 Панель инструментов Ручной ввод.

Щелчком правой кнопкой мыши можно отменить текущий этап построения дуги и вернуться к предыдущему. Нажатием клавиши **Esc** можно отменить сразу весь режим рисования.

Ускоренный выбор:

Добавить существующее ребро в 3d эскиз - выбрав данную команду, Вы сможете добавить в трехмерный эскиз ребро ранее созданного твердого тела.

Чтобы добавить ребро ранее созданного тела, прежде всего, необходимо нажать на пиктограмму . Далее чтобы указать ребро, необходимо подвести к нему курсор мыши. Ближайшее к курсору мыши ребро будет подсвечено желтым цветом (рис. 2.8.11), чтобы его зафиксировать достаточно один раз нажать на него левой клавишей мыши, после чего снимется выделение и добавленный объект появится в дереве построения (рис. 2.8.12).

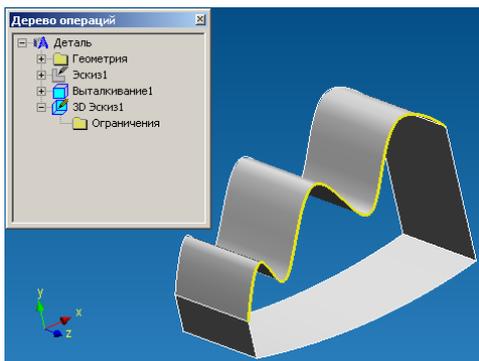


Рис. 2.8.11 Указание ребра.

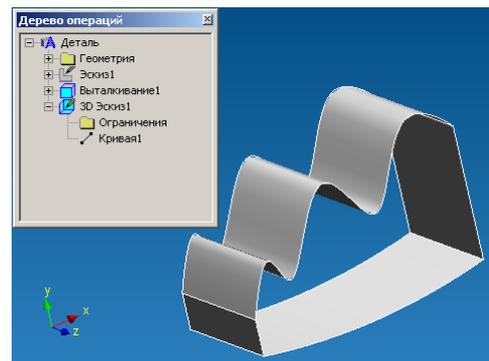


Рис. 2.8.12 Добавленное ребро в 3d эскиз.

Для добавления следующего ребра необходимо проделать аналогичную последовательность действий.

Ускоренный выбор:

2.9 Панель инструментов Нагрузки

Инструменты представленные в данной панели инструментов позволят Вам приложить к ранее созданной трехмерной модели нагрузки и установить опоры.



Рис. 2.9.1 Панель инструментов Нагрузки.

Настройки масштаба изображения стрелок, закреплений и нагрузок. Размеры изображения стрелок, закреплений и нагрузок на модели определяются автоматически. При этом также все диалоговые окна команд панели инструментов *Нагрузки* содержат поле для ввода масштаба изображения. Масштаб изображения позволяет изменить размеры стрелок, закреплений и нагрузок при отображении на модели. Данный инструмент позволяет улучшить визуализацию если размеры изображения стрелок, закреплений и нагрузок на модели не видны или наоборот слишком громоздки.

Приложить давление – выбрав данную команду, Вы сможете приложить равномерно распределенное давление к поверхности ранее созданной трехмерной модели.

Чтобы приложить давление необходимо нажать на пиктограмму . Выполнив данное действие, перед Вами появится диалоговое окно **Давление** (рис. 2.9.2).

Следующим этапом является указать те поверхности, к которым будет приложено давления. Для этого необходимо нажать на кнопку **Указать грань** в диалоговом окне **Давление**.

Далее необходимо подвести курсор мыши к поверхности, ближайшая из которых подсветится зеленым цветом (рис. 2.9.3).

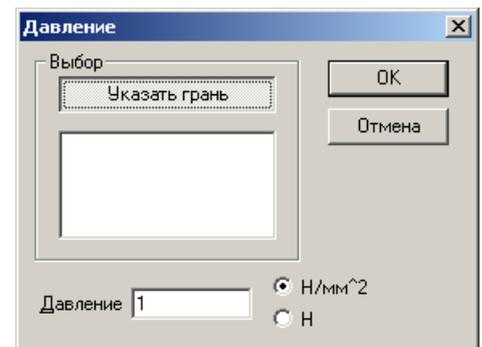


Рис. 2.9.2 Диалоговое окно Давление.

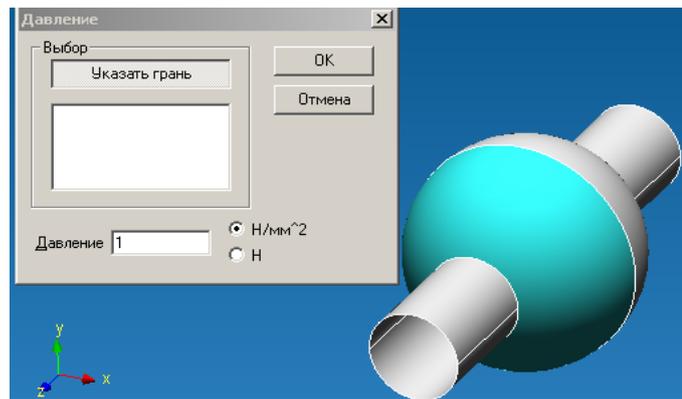


Рис. 2.9.3 Указание поверхности, на которую будет приложено давление.

Чтобы подсвеченную поверхность зафиксировать достаточно нажать один раз левую клавишу мыши. После чего выбранная поверхность будет занесена в список граней, приобретет более темный оттенок зеленого цвета и, кроме того, на ней отрисуются стрелки красного цвета, указывающие направление действующего давления (рис. 2.9.4).

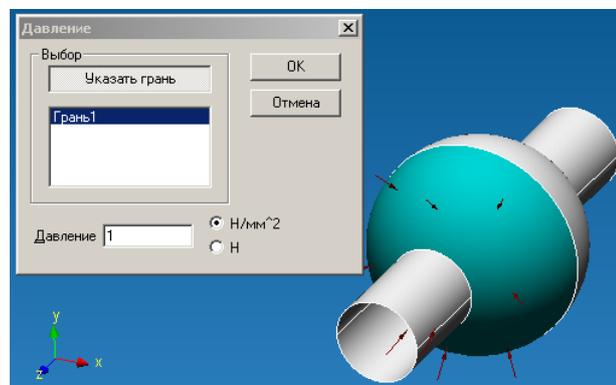


Рис. 2.9.4 Фиксация грани, к которой будет приложено давление.

В случае если такое же давление действует и на другие поверхности, целесообразно их добавить в список граней, аналогично тому, как это было сделано для первой поверхности.

Заключительным этапом является указание значения давления действующего на поверхность. Для этого необходимо ввести с клавиатуры числовое значение в поле рядом с надписью Давление. Значение нагрузки может быть задано как в Н/мм² (МПа), как это предлагается сделать на рис. 2.9.4, так и в виде величины силы действующей на данную грань. Для этого необходимо подвести курсор к соответствующей надписи (Н/мм² или Н) и нажать левой клавишей один раз (рис. 2.9.5).

При выборе способа ввода давления через силу (Н), введенное значение силы будет задано на все выбранные грани равномерно. Такой подход позволяет с помощью одной команды задать суммарную нагрузку на группу разных по площади граней.

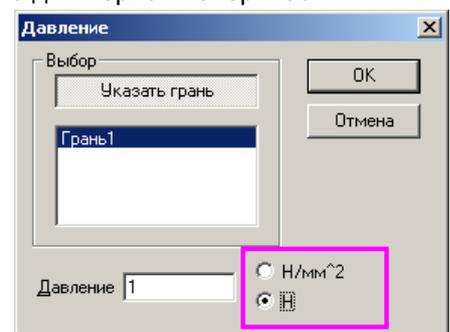


Рис. 2.9.5 Переход к заданию давления через силу, действующую на указанную грань.

Важно помнить, что давление всегда моделируется как сила, действующая на выбранную поверхность и направленная по нормали к каждой точке поверхности. Для того чтобы изменить направление действующего давления на противоположное, необходимо перед его числовым значением поставить знак минус (рис. 2.9.6).

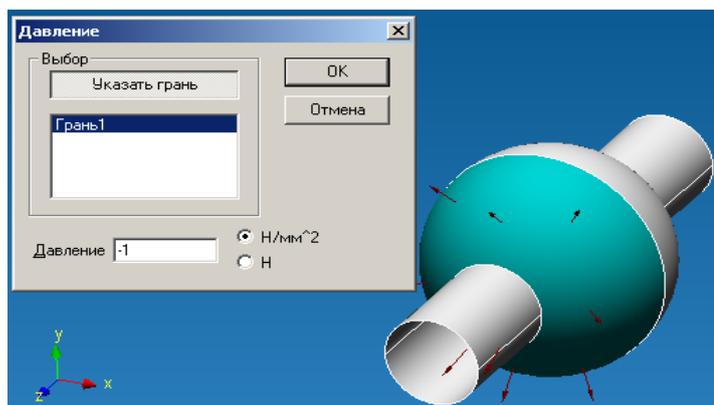


Рис. 2.9.6 Смена направления действующего давления на противоположное, указанием отрицательного его числового значения.

Для того, чтобы убрать из списка граней ранее выбранную поверхность можно поступить двумя способами:

- подводим курсор мыши к интересующей грани в рабочем окне редактора и нажимаем один раз левую клавишу мыши
- подводим курсор мыши к интересующей грани в списке граней диалогового окна **Давление**, нажимаем один раз левой клавишей мыши, выделяя тем самым ту или иную грань, и нажимаем на клавиатуре клавишу **Del**.

После того как Вы зададите необходимые поверхности, направление действия давления и его величину нажмите кнопку **OK** в диалоговом окне **Давление**, чтобы зафиксировать примененную нагрузку.

Ускоренный выбор: 

Распределенная сила – выбрав данную команду, Вы сможете приложить равномерно распределенную силу к поверхности ранее созданной трехмерной модели. Сила, как и давление является распределенной, но в отличие от давления задается в глобальной системе координат.

Чтобы приложить распределенную силу необходимо нажать на пиктограмму . Выполнив данное действие, перед Вами появится диалоговое окно **Распределенная сила** (рис. 2.9.7).

Следующим этапом является указать те ребра или поверхности, к которым будет приложена распределенная сила. Для этого необходимо нажать на кнопку **Указать грань, ребро** в диалоговом окне.

Далее необходимо подвести курсор мыши к поверхности, ближайшая из которых подсветится зеленым цветом (рис. 2.9.8).

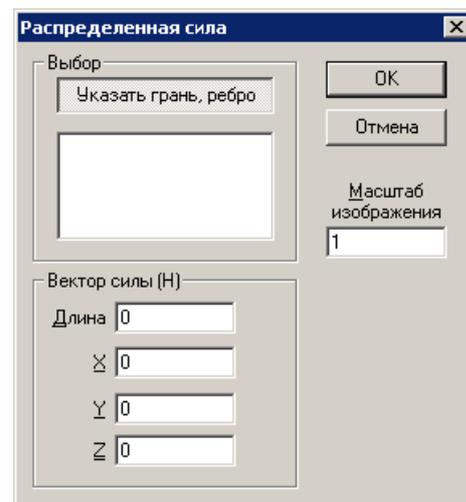


Рис. 2.9.7 Диалоговое окно **Распределенная сила**.

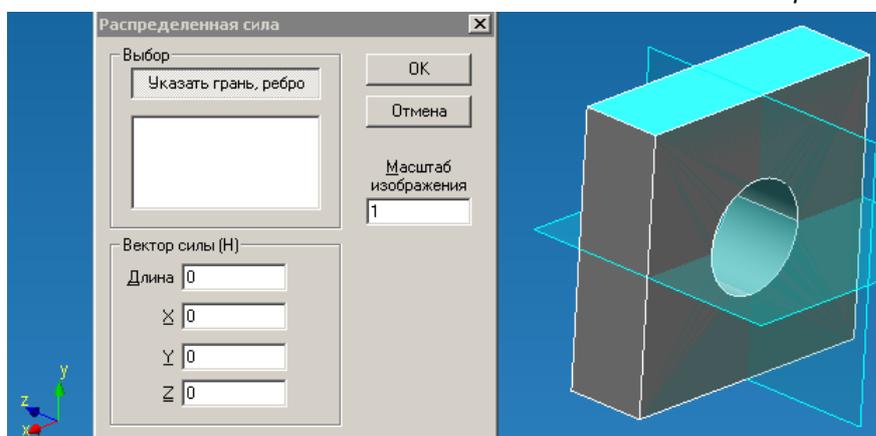


Рис. 2.9.8 Указание поверхности, на которую будет приложена распределенная сила.

Чтобы подсвеченную поверхность зафиксировать достаточно нажать один раз левую клавишу мыши. После чего выбранная поверхность будет занесена в список граней, приобретет более темный оттенок зеленого цвета и, кроме того, на ней отрисуются стрелки синего цвета, указывающие направление действующей силы (рис. 2.9.9).

В случае если распределенная сила действует разные поверхности, целесообразно их добавить в список граней, аналогично тому, как это было сделано для первой поверхности. При этом введенное значение силы будет задано на все выбранные грани или ребра равномерно. Такой подход позволяет с помощью одной команды задать суммарную нагрузку на группу разных по длине ребер (площади граней).

Заключительным этапом является указание значения силы. Для этого необходимо ввести с клавиатуры числовые значения в поля X, Y, Z соответствующие проекциям силы в глобальной системе координат. Длина вектора определится автоматически. Значение нагрузки задается в Ньютонах. Пересчет значения силы в каждый узел конечно-элементной сетки при разбиении будет проведен автоматически.

Для того, чтобы изменить направление действующей силы на противоположное, необходимо перед числовым значением поставить знак минус.

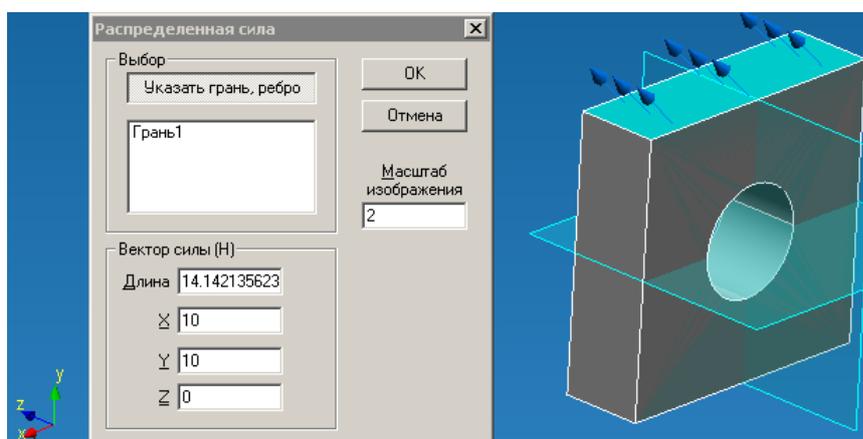


Рис. 2.9.9 Фиксация грани, к которой будет приложена распределенная сила.

Для того, чтобы убрать из списка граней ранее выбранную поверхность можно поступить двумя способами:

- подводим курсор мыши к интересующей грани в рабочем окне редактора и нажимаем один раз левую клавишу мыши
- подводим курсор мыши к интересующей грани в списке граней диалогового окна **Распределенная сила**, нажимаем один раз левой клавишей мыши, выделяя тем самым ту или иную грань, и нажимаем на клавиатуре клавишу **Del**.

После того, как Вы зададите необходимые поверхности и значения распределенной силы, нажмите кнопку ОК в диалоговом окне **Распределенная сила**, чтобы зафиксировать приложенную нагрузку.

Ускоренный выбор: 

Линейное ускорение – данная команда вызывает диалоговое окно для задания вектора линейного ускорения. Чтобы задать линейное ускорение необходимо нажать на пиктограмму . Выполнив данное действие, перед Вами появится диалоговое окно **Линейное ускорение** (рис. 2.9.10). Значение линейного ускорения вводятся в поля X, Y, Z соответствующие проекциям в глобальной системе координат. Длина вектора определится автоматически. Ускорение действует на все конструкцию. Вектор ускорения изображается красной стрелкой в точке (0; 0; 0).

С помощью данной команды также можно задать ускорение свободного падения и, таким образом, учесть действие силы тяжести. Например (рис. 2.9.10), линейное ускорение задано по оси Y вверх, а эквивалентная силе тяжести – сила инерции при этом будет действовать вниз.

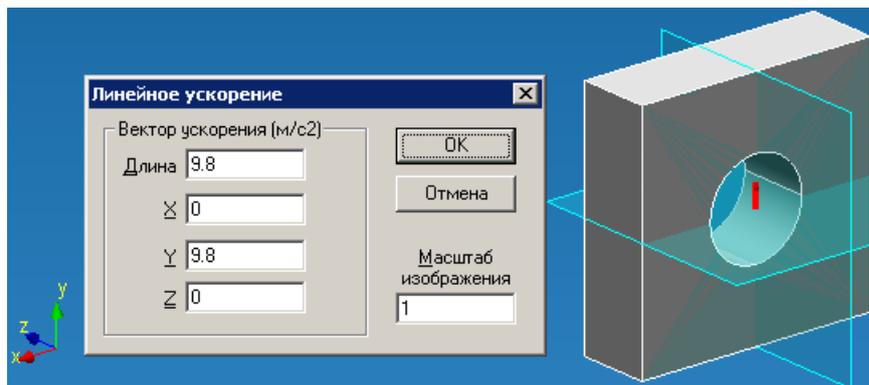


Рис. 2.9.10 Задание линейного ускорения.

Ускоренный выбор: 

Угловое ускорение – данная команда вызывает диалоговое окно для задания угловой скорости и углового ускорения. Чтобы задать угловую скорость или угловое ускорение необходимо нажать на пиктограмму . Выполнив данное действие, перед Вами появится диалоговое окно **Угловое ускорение** (рис. 2.9.11).

Точка отсчета и Направление задаются в поля X, Y, Z соответствующие проекциям в глобальной системе координат (рис. 2.9.11). Значение угловой скорости и углового ускорения задаются дополнительно. Направление угловой скорости и ускорения определяется по правилу правого винта. Вектор углового ускорения изображается желтой стрелкой в точке отсчета.

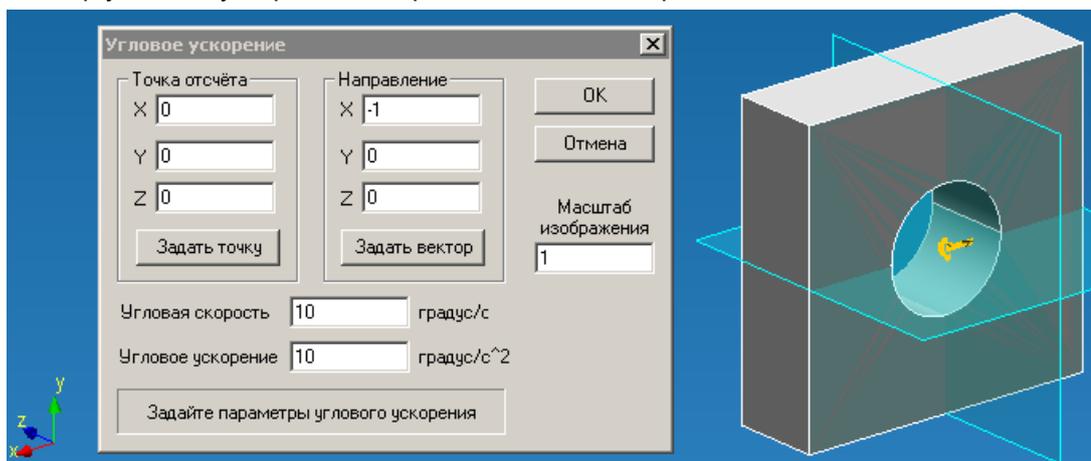


Рис. 2.9.11 Задание угловой скорости и углового ускорения с клавиатуры.

Точку отсчета можно также указать на модели. Для этого нажмите кнопку **Задать точку** и укажите мышью точку на пересечении ребер модели. Направление можно также указать на модели. Для этого нажмите кнопку **Задать вектор** и укажите мышью сначала начальную точку вектора, а потом конечную точку (рис. 2.9.12). Привязка по точке действует к пересечению ребер.

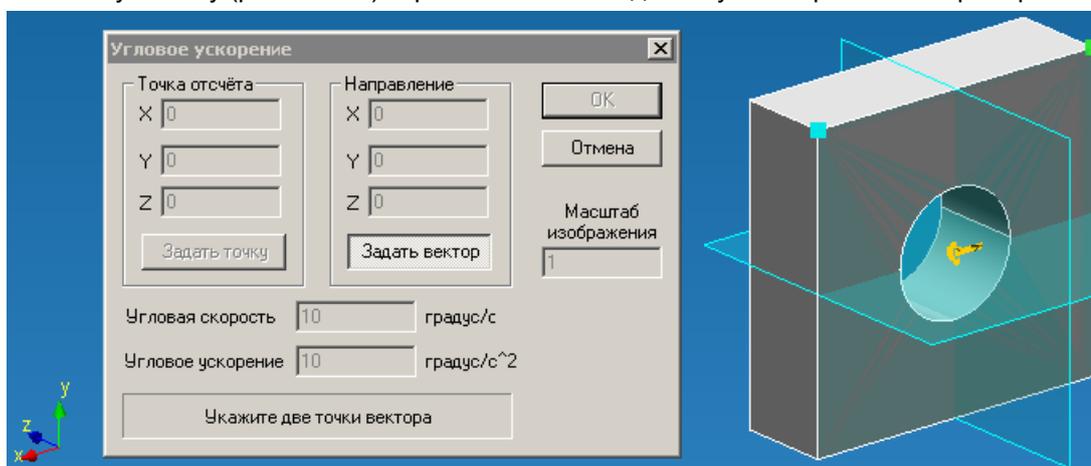


Рис. 2.9.12 Задание вектора.

Если угловое направление угловой скорости и углового ускорения не совпадают, то необходимо отдельно задать угловую скорость без ускорения и угловое ускорение без угловой скорости.

Ускоренный выбор: 

Приложить удельную силу по длине - выбрав данную команду, Вы сможете приложить равномерно распределенную силу к ребру ранее созданной трехмерной модели.

Чтобы приложить силу необходимо нажать на пиктограмму . Выполнив данное действие, перед Вами появится диалоговое окно **Удельная сила по длине** (рис. 2.9.13).

Следующим этапом является указание тех ребер, к которым будет приложена сила. Для этого необходимо нажать на кнопку **Указать ребро** в диалоговом окне **Удельная сила по длине**. Далее необходимо подвести курсор мыши к ребру, ближайшее из которых подсветится желтым цветом (рис. 2.9.14).

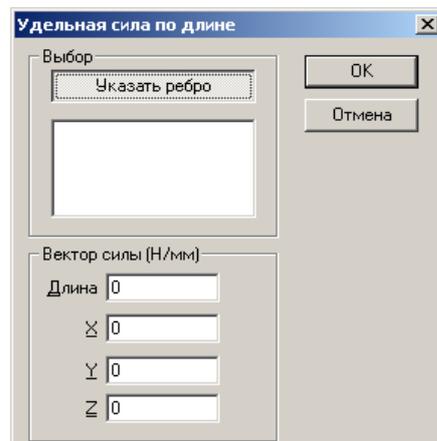


Рис. 2.9.13 Диалоговое окно Удельная сила по длине.

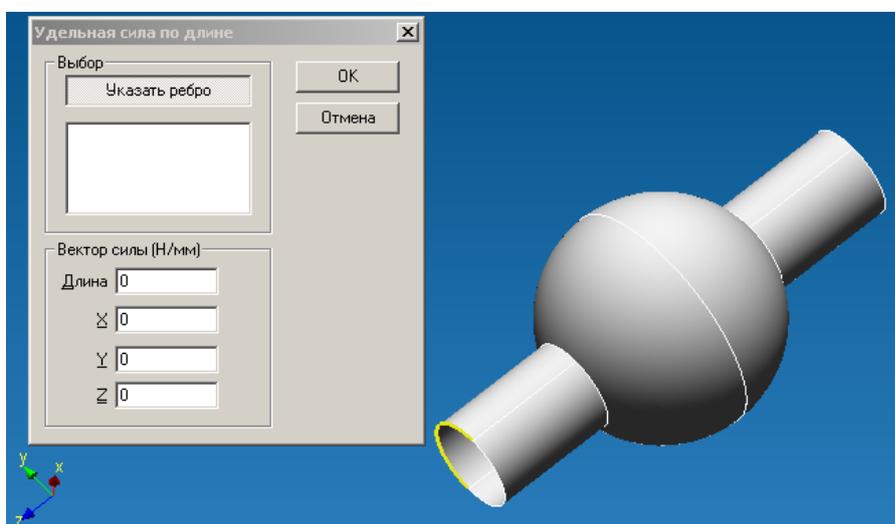


Рис. 2.9.14 Подсвечивание ближайшего к курсору мыши ребра.

Для фиксации подсвеченного ребра достаточно нажать один раз левой клавишей мыши, после чего данное ребро приобретет голубой цвет, и в списке ребер появится первая запись – Кривая1 (рис. 2.9.15).

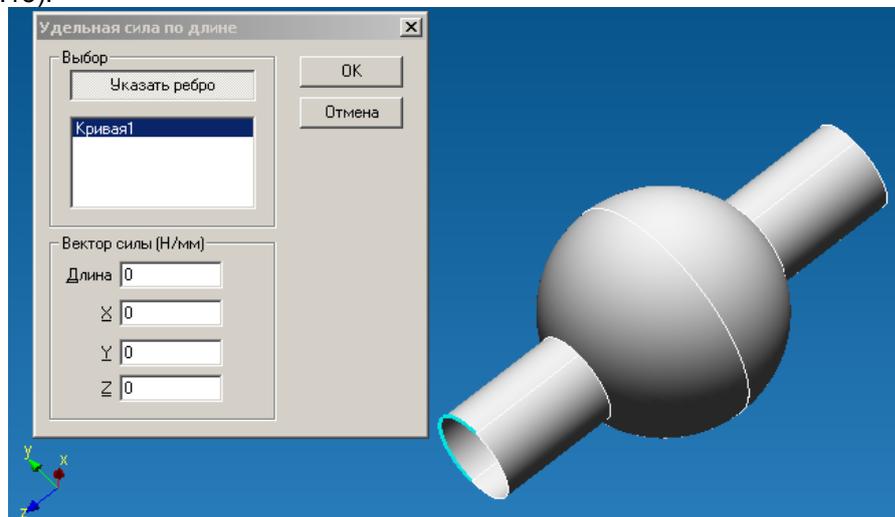


Рис. 2.9.15 Фиксация ребра, к которому будет приложена распределенная сила.

В случае если такая же сила действует и на другие ребра, целесообразно их добавить в список ребер, аналогично тому, как это было сделано для первого ребра.

Заключительным этапом является указание значения действующей силы и её направление в пространстве. Для этого достаточно ввести проекции этой силы по осям X, Y, и Z в глобальной системе координат в диалоговом окне **Удельная сила по длине**, тем самым, задав как значение, так и направления действия силы. Задание первой проекции по любой из осей приведет к появлению на выделенных ребрах красных стрелок, показывающих направление действия силы в данном конкретном случае (рис. 2.9.16).

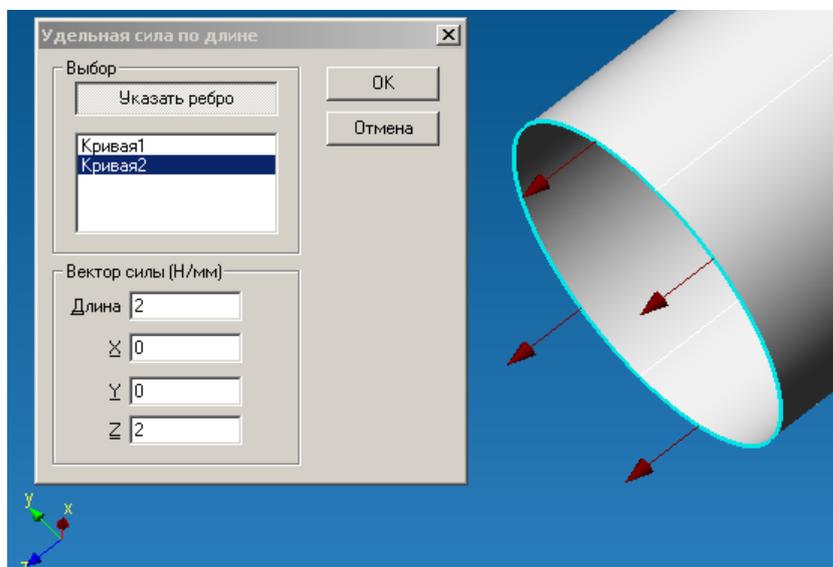


Рис. 2.9.16 Указание проекции силы по оси Z.

Чтобы задать аналогичное значение проекции, но направленной в обратную сторону, достаточно перед значением данной проекции поставить знак минус (рис. 2.9.17).

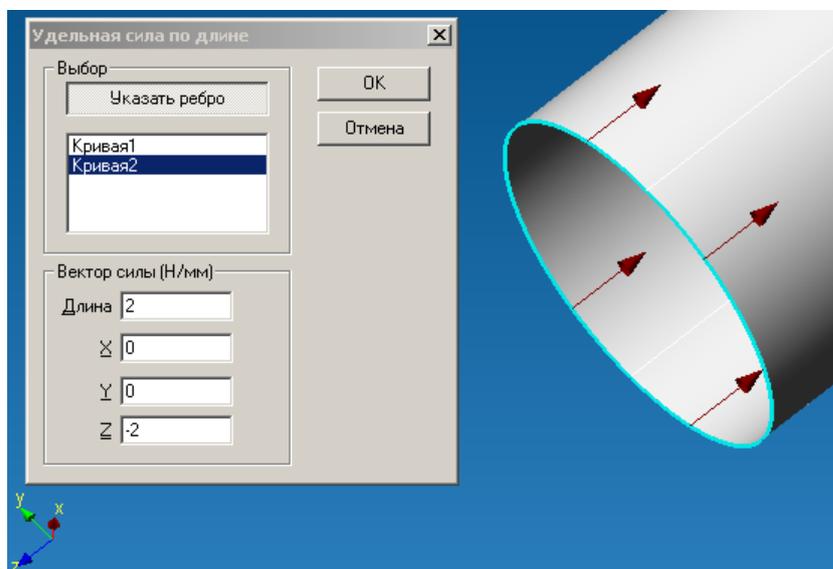


Рис. 2.9.17 Указание проекции силы по оси Z.

Для того, чтобы убрать из списка ребер ранее выбранную кривую можно поступить двумя способами:

- подводим курсор мыши к интересующему ребру в рабочем окне редактора и нажимаем один раз левую клавишу мыши
- подводим курсор мыши к интересующему ребру в списке ребер диалогового окна **Удельная сила по длине**, нажимаем один раз левой клавишей мыши, выделяя тем самым то или иное ребро, и нажимаем на клавиатуре клавишу **Del**.

После того как Вы зададите необходимые ребра и величины проекций силы нажмите кнопку ОК в диалоговом окне **Удельная сила по длине**, чтобы зафиксировать приложенную нагрузку.

Ускоренный выбор: 

Удельная сила по площади – выбрав данную команду, Вы сможете приложить равномерно удельную силу по площади к поверхности ранее созданной трехмерной модели. Задание данной нагрузки аналогично заданию Распределенной силы, только значение удельной силы вводится в Н/мм².

Ускоренный выбор: 

Переменная нагрузка – команда позволяет приложить распределенную нагрузку к поверхности ранее созданной трехмерной модели по линейному или любому произвольному закону распределения. Кроме того, имеется возможность задания контактной нагрузки.

Чтобы приложить распределенную нагрузку необходимо нажать на пиктограмму . Выполнив данное действие, перед Вами появится диалоговое окно **Переменная нагрузка** (рис. 2.9.18). Следующим этапом является указание базовой плоскости. *Базовая плоскость* определяет плоскость, от которой будет отсчитываться расстояние для вычисления величины нагрузки. В качестве плоскости можно использовать рабочую плоскость или плоскую грань.

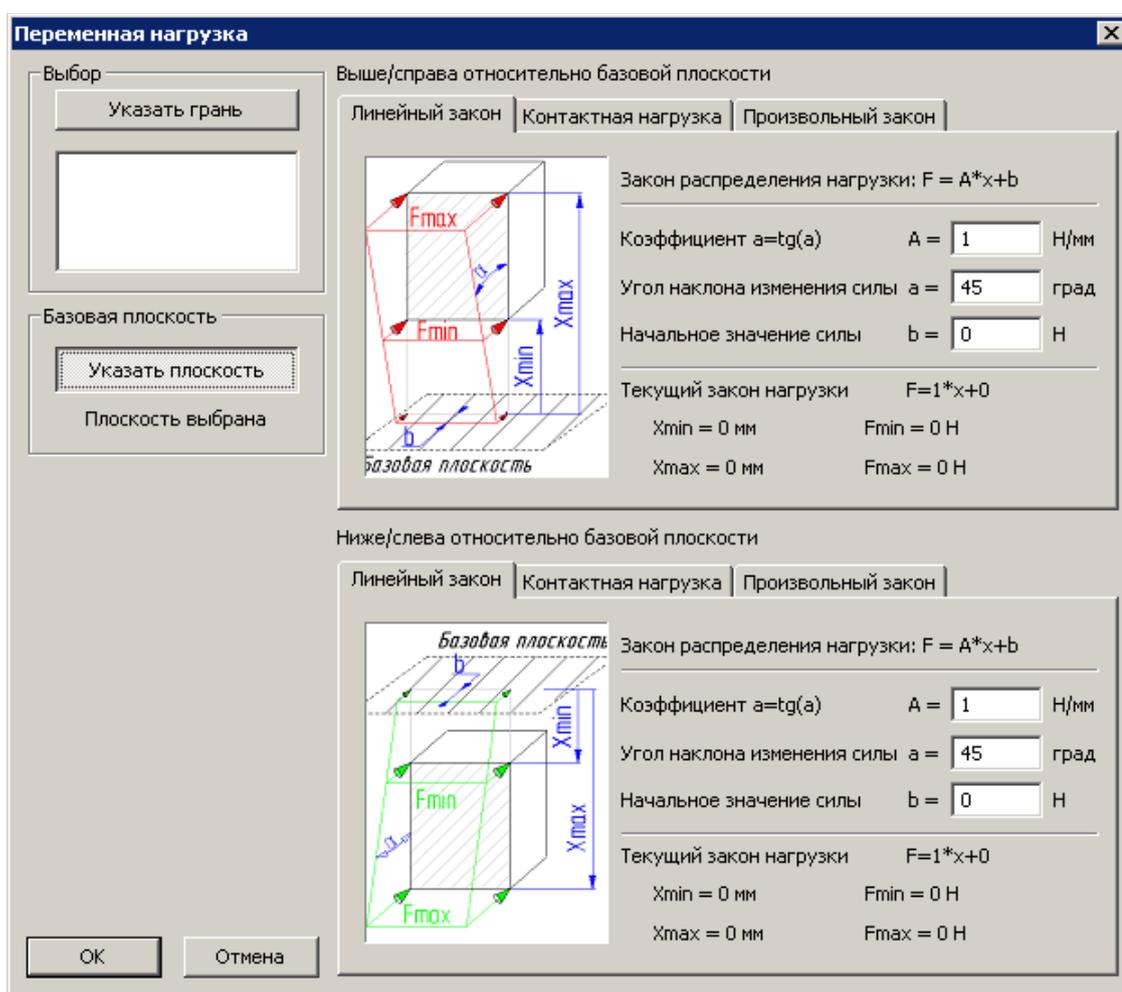


Рис. 2.9.18 Диалоговое окно *Переменная нагрузка*.

Следующим этапом является указание тех граней, к которым будет приложена распределенная нагрузка. После выбора базовой плоскости система автоматически переходит в режим выбора граней (кнопка **Указать грань** нажата) (рис. 2.9.19).

Далее необходимо подвести курсор мыши к грани, которая подсветится зеленым цветом и нажать левую клавишу мыши. После этого грань появится в списке выбранных граней.

Далее необходимо выбрать вид и ввести параметры закона распределения нагрузки в диалоговом окне. Возможно задание различных законов распределения нагрузки по разные стороны от базовой плоскости. Если нагрузка приложена только по одну сторону от базовой плоскости, то там, где нет нагрузки, необходимо ввести $A = 0$, $b = 0$.

Линейный закон (рис. 2.9.19) соответствует уравнению прямой $F = A \cdot x + b$, [Н], где $A = \text{tg}(a)$, [Н/мм] – коэффициент наклона прямой, b , [Н]– значение на уровне базовой плоскости.

Контактная нагрузка (рис. 2.9.20 а) соответствует уравнению $F = A \cdot \sin(n \cdot x / 2 \cdot l)$, [Н] и задается радиусом цилиндра l , [мм] и величиной максимальной нагрузки A , [Н], действующей на расстоянии радиуса.

Произвольный закон (рис. 2.9.20 б) позволяет задать закон распределения нагрузки в виде произвольной аналитической зависимости.

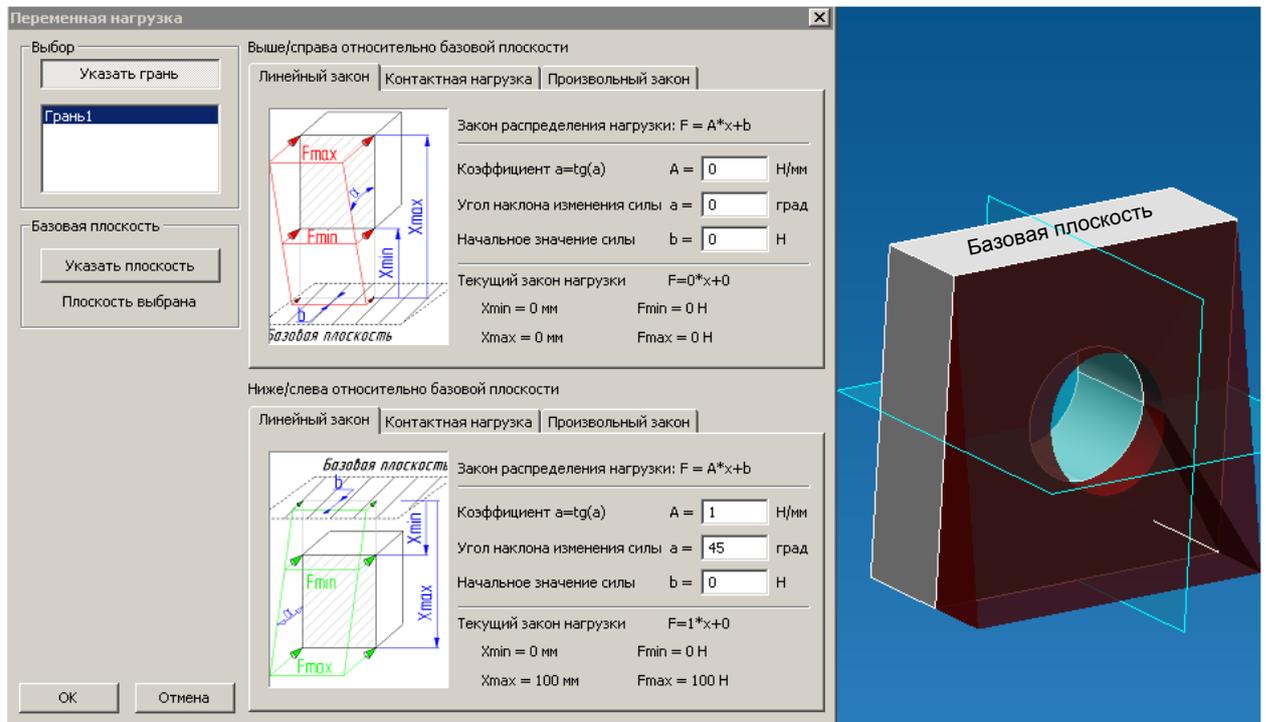


Рис. 2.9.19 Выбор грани для задания переменной нагрузки.

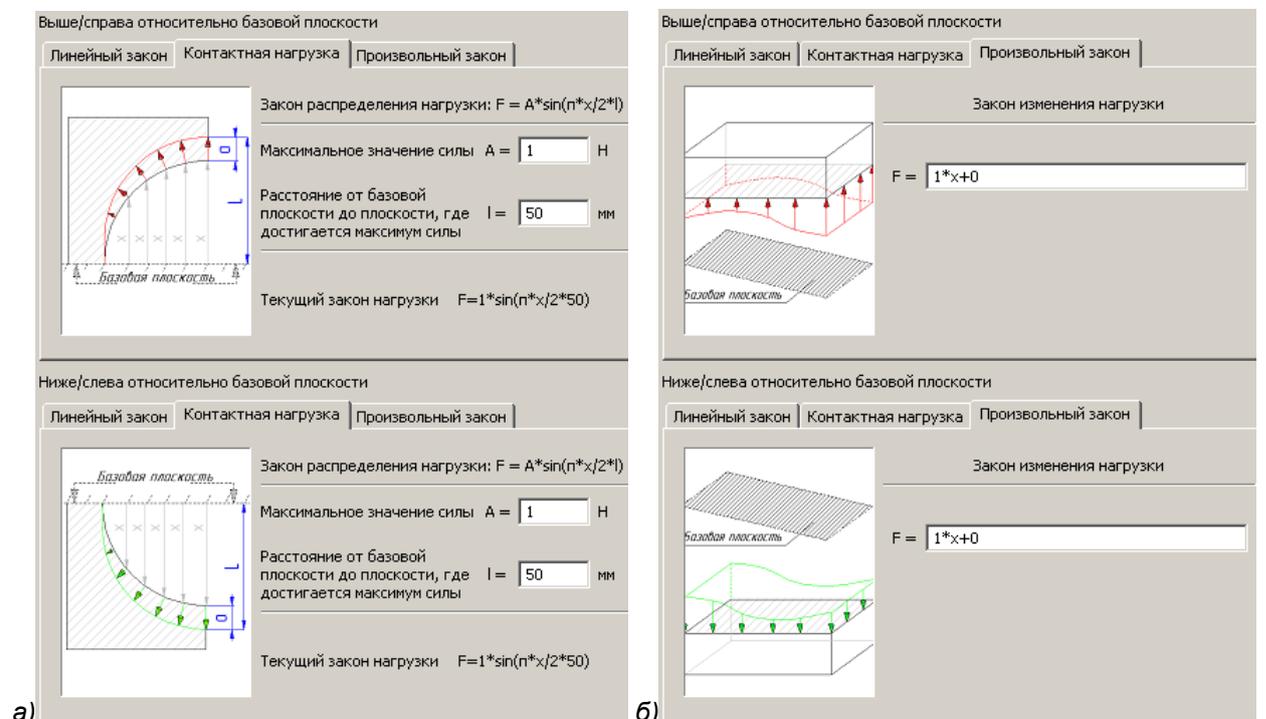


Рис. 2.9.20 Задание контактной нагрузки и нагрузки по произвольному закону.

Ускоренный выбор:

Приложить температуру - выбрав данную команду, Вы сможете приложить равномерно распределенную температуру к ребру, к поверхности и к узлу ранее созданной трехмерной модели.

Чтобы приложить температуру необходимо нажать на пиктограмму . Выполнив данное действие, перед Вами появится диалоговое окно **Температура** (рис. 2.9.21).

Следующим этапом является указание тех поверхностей ребер и узлов, к которым будет приложена температура. Для этого необходимо нажать на кнопку **Указать грань, ребро, узел** в диалоговом окне **Температура**. Далее рассмотрим выбор всех трех перечисленных типов элементов, к которым может быть приложена температура.

Кнопка "Деталь" позволяет задать температуру целиком на всю деталь. Данная кнопка доступна только для расчета сборок.

Кнопка "Задать всем" позволяет задать температуру для всех деталей и поверхностей.

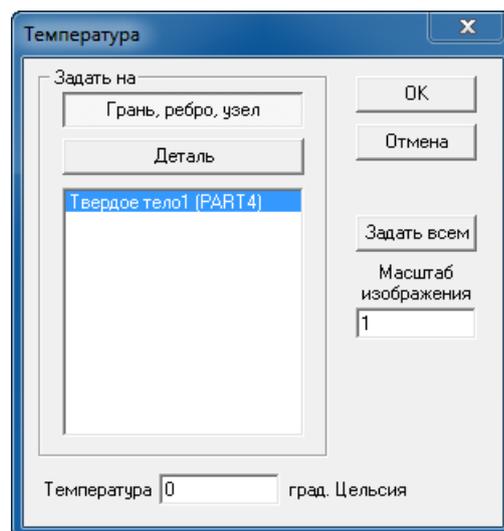
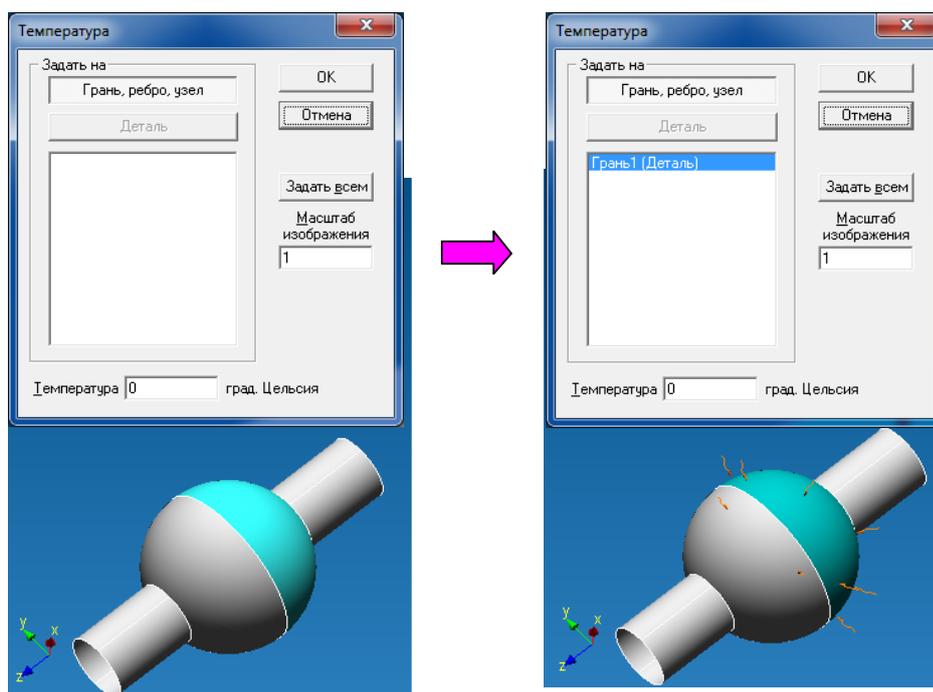


Рис. 2.9.21 Диалоговое окно **Температура**.

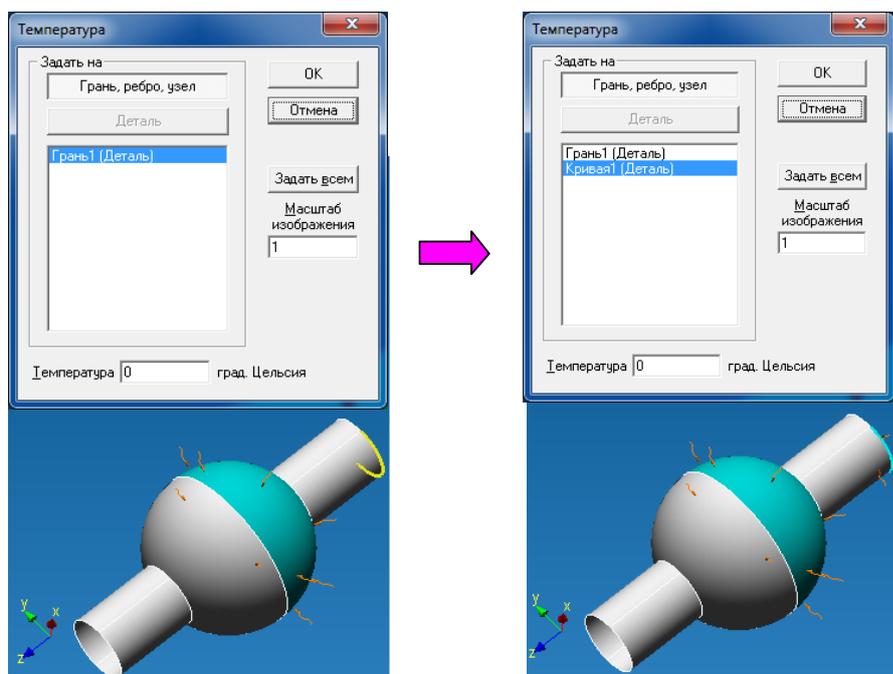
Выбор поверхности

Чтобы выбрать поверхность необходимо подвести курсор мыши к ранее созданной трехмерной модели, ближайшая поверхность подсветится зеленым цветом. Чтобы подсвеченную поверхность зафиксировать достаточно нажать один раз левую клавишу мыши. После чего выбранная поверхность будет занесено в список граней, ребер и узлов, приобретет более темный оттенок зеленого цвета и, кроме того, на ней отрисуются стрелки оранжевого цвета, указывающие, что к данной поверхности приложена температура.



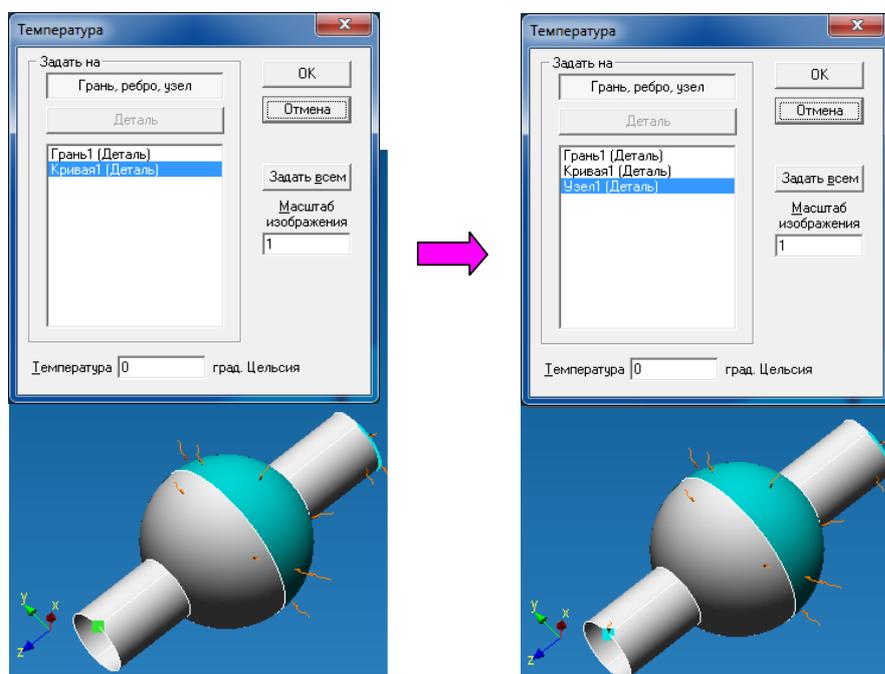
Выбор ребра

Чтобы выбрать ребро необходимо подвести курсор мыши к ранее созданной трехмерной модели, ближайшее ребро подсветится желтым цветом. Чтобы подсвеченное ребро зафиксировать достаточно, нажать один раз левую клавишу мыши. После чего выбранное ребро будет занесено в список граней, ребер и узлов, приобретет голубой цвет и, кроме того, на нем отрисуются стрелки оранжевого цвета, указывающие, что к данному ребру приложена температура.



Выбор узла

Чтобы выбрать узел необходимо подвести курсор мыши к ранее созданной трехмерной модели, ближайший узел подсветится зеленым цветом. Чтобы подсвеченный узел зафиксировать достаточно, нажать один раз левую клавишу мыши. После чего выбранный узел будет занесен в список граней, ребер и узлов, приобретет голубой цвет и, кроме того, на нем отрисуются стрелка оранжевого цвета, указывающая, что к данному узлу приложена температура.



Заключительным этапом является указание числового значения действующей температуры в градусах Цельсия. Для этого необходимо поставить курсор в поле рядом с надписью **Температура** в диалоговом окне **Температура**, и ввести число с клавиатуры.

Для того, чтобы убрать из списка граней, ребер и узлов ранее выбранный элемент можно поступить двумя способами:

- подводим курсор мыши к интересующему элементу в рабочем окне редактора и нажимаем один раз левую клавишу мыши

- подводим курсор мыши к интересующему объекту в списке граней, ребер и узлов диалогового окна **Температура**, нажимаем один раз левой клавишей мыши, выделяя тем самым то или иное ребро, и нажимаем на клавиатуре клавишу **Del**.

После того как Вы зададите необходимые поверхности, ребра, узлы и значение температуры нажмите кнопку ОК в диалоговом окне **Температура**, чтобы зафиксировать приложенную нагрузку. Ускоренный выбор: 

Установить закрепление - выбрав данную команду, Вы сможете установить закрепление к ребру и к поверхности ранее созданной трехмерной модели.

Чтобы установить закрепление, прежде всего, необходимо нажать на пиктограмму . Выполнив данное действие, перед Вами появится диалоговое окно **Закрепление** (рис. 2.9.22).

Следующим этапом является указание тех поверхностей и ребер, к которым будет установлены закрепления. Для этого необходимо нажать на кнопку **Указать грань, ребро** в диалоговом окне **Закрепление**. Далее рассмотрим выбор двух перечисленных типов элементов, на которые можно установить закрепление.

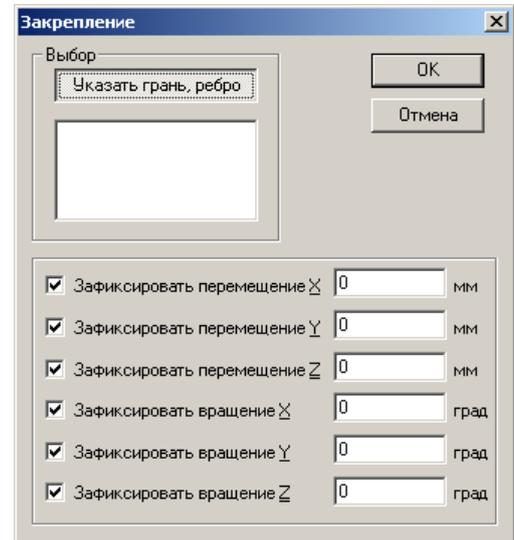
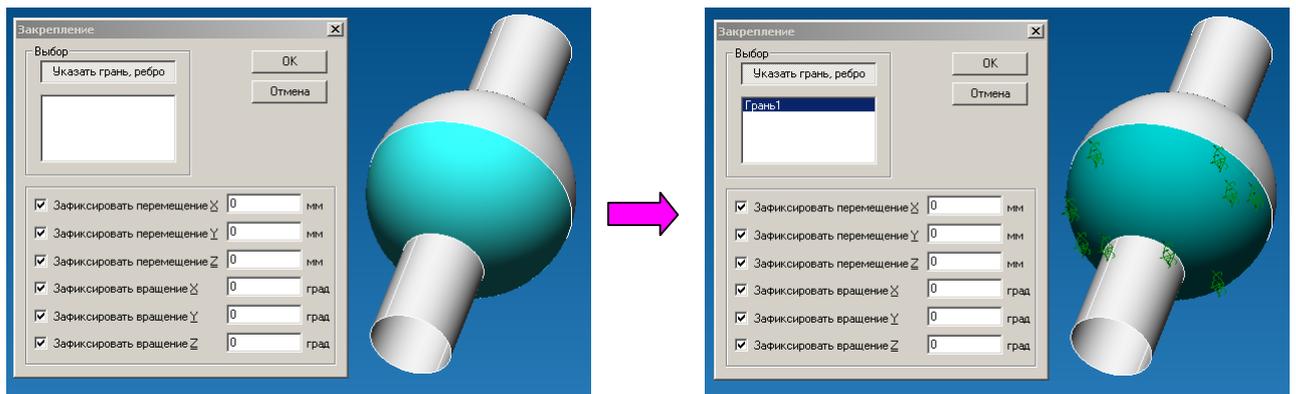


Рис. 2.9.22 Диалоговое окно **Закрепление**.

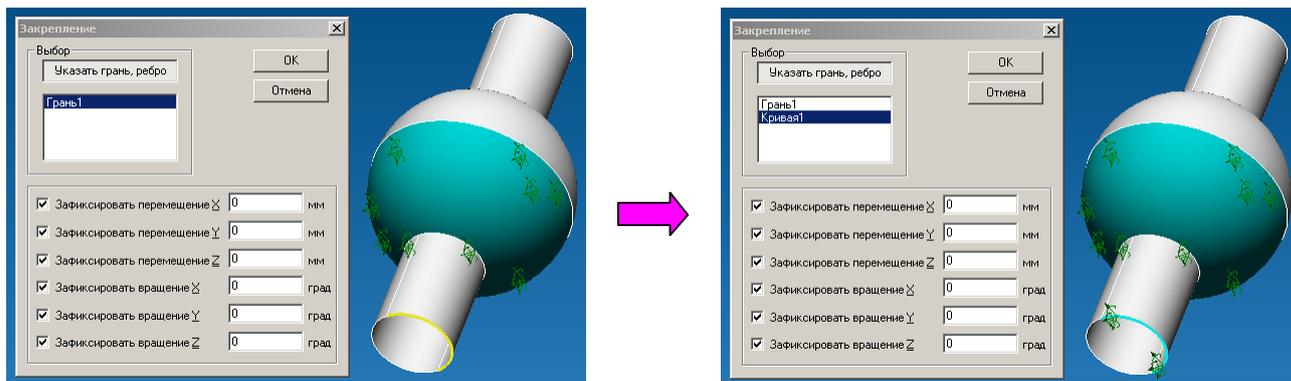
Выбор поверхности.

Чтобы выбрать поверхность необходимо подвести курсор мыши к ранее созданной трехмерной модели, ближайшая поверхность подсветится зеленым цветом. Чтобы подсвеченную поверхность зафиксировать достаточно нажать один раз левую клавишу мыши. После чего выбранная поверхность будет занесена в список граней и ребер, приобретет более темный оттенок зеленого цвета. Кроме того, на ней отрисуются много направленные стрелки зеленого цвета, указывающие что на данной поверхности установлено закрепление и кроме того показывая в каком направлении установлены запреты перемещение и вокруг каких осей глобальной системы координат запрещены повороты.



Выбор ребра.

Чтобы выбрать ребро необходимо подвести курсор мыши к ранее созданной трехмерной модели, ближайшее ребро подсветится желтым цветом. Чтобы подсвеченное ребро зафиксировать достаточно, нажать один раз левую клавишу мыши. После чего выбранное ребро будет занесено в список граней и ребер, приобретет голубой цвет. Кроме того, на нем отрисуются много направленные стрелки зеленого цвета, указывающие что на данном ребре установлено закрепление и кроме того показывая в каком направлении установлены запреты перемещение и вокруг каких осей глобальной системы координат запрещены повороты.



Заключительным этапом является указание, в каком направлении запретить перемещения, и вокруг какой оси глобальной системы координат запретить поворот для ранее выбранных ребер и поверхностей. Для этого достаточно нажать один раз левой клавишей мыши на соответствующую надпись (например на надпись *Зафиксировать перемещение X*). Те перемещения и повороты, которые зафиксированы, отмечаются галочкой. В случае если отмечены все шесть галочек (рис. 2.9.23) то такое закрепление считается абсолютно жестким.

Кроме того, используя инструмент **Закрепление** можно приложить такой специфический вид нагрузки как *Смещение*. Если рядом с зафиксированным перемещением/поворотом в активном белом поле поставить число, то это будет рассматриваться как смещение/поворот ранее выбранных элементов на указанное число (рис. 2.9.24).

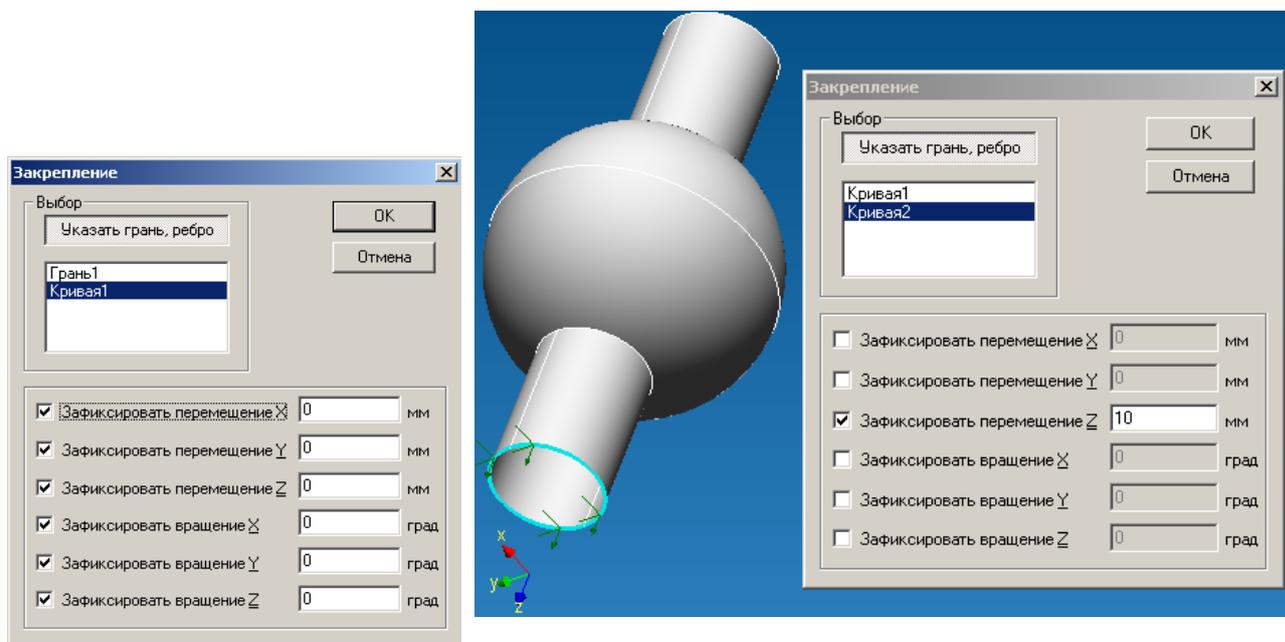


Рис. 2.9.23 Установка абсолютно жесткого закрепления

Рис. 2.9.24 Задание смещения выделенных кривых по оси Z на 10 мм.

Для того, чтобы убрать из списка граней и ребер ранее выбранный элемент можно поступить двумя способами:

- подводим курсор мыши к интересующему элементу в рабочем окне редактора и нажимаем один раз левую клавишу мыши
- подводим курсор мыши к интересующему объекту в списке граней и ребер диалогового окна **Закрепление**, нажимаем один раз левой клавишей мыши, выделяя тем самым то или иное ребро, и нажимаем на клавиатуре клавишу **Del**.

После того как Вы зададите необходимые поверхности и ребра, а также все закрепления нажмите кнопку ОК в диалоговом окне **Закрепление**, чтобы зафиксировать установленные опоры.

Ускоренный выбор:

Установить закрепление по нормали – выбрав данную команду, Вы сможете закрепить грань(и) ранее созданной модели в направлении нормали к этой грани(ням). Наиболее целесообразно использовать данный вид закрепления для моделей, представляющих собой тела вращения (валы, оси), а также элементы рычажных устройств (тяги, рычаги, кулачки и т.п.).

Чтобы установить закрепление по нормали необходимо нажать на кнопку с пиктограммой



После этого перед Вами откроется диалоговое окно **Закрепление по нормали** (рис. 2.9.25).

Следующим этапом является указание тех поверхностей, к которым будет установлены закрепления. Для этого необходимо нажать на кнопку **Указать грань** в диалоговом окне **Закрепление по нормали**. Далее рассмотрим как можно установить закрепление по нормали.

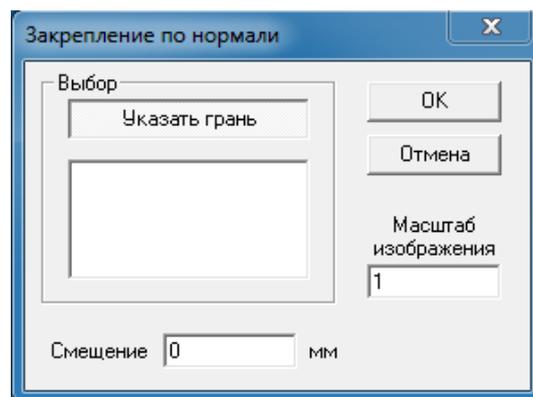
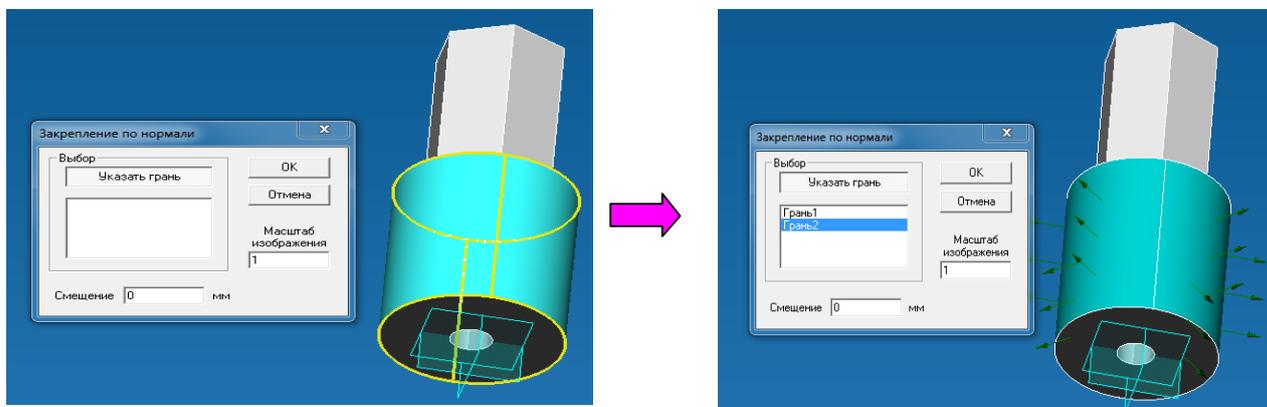


Рис. 2.9.25 Диалоговое окно **Закрепление по нормали**.

Выбор поверхности.

Чтобы выбрать поверхность необходимо подвести курсор мыши к ранее созданной трехмерной модели, ближайший поверхность подсветится зеленым цветом. Чтобы подсвеченную поверхность зафиксировать достаточно нажать один раз левую клавишу мыши. После чего выбранная поверхность будет занесена в список граней и ребер, приобретет более темный оттенок зеленого цвета. Кроме того, на ней отрисуются много направленные по нормали к поверхности стрелки зеленого цвета, указывающие что на данной поверхности установлено закрепление по нормали. Направление стрелок показывает направление нормали к выбранным поверхностям и одновременно то направление, в котором установлен запрет на перемещение данных поверхностей.



Кроме того, используя инструмент **Закрепление по нормали** можно приложить такой специфический вид нагрузки как **Смещение**. Если в поле ввода **Смещение** диалогового окна **Закрепление по нормали** поставить число, отличное от нуля, то это будет рассматриваться как принудительное смещение ранее выбранных поверхностей на указанное число в направлении стрелок нормали (если введено положительное число) и противоположно направлению стрелок нормали - при вводе отрицательного числа.

Для того, чтобы убрать из списка граней и ребер ранее выбранный элемент можно поступить двумя способами:

- подводим курсор мыши к интересующему элементу в рабочем окне редактора и нажимаем один раз левую клавишу мыши
- подводим курсор мыши к интересующему объекту в списке граней диалогового окна **Закрепление по нормали**, нажимаем один раз левой клавишей мыши, выделяя тем самым то или иное ребро, и нажимаем на клавиатуре клавишу **Del**.

После того как Вы зададите необходимые поверхности и ребра, а также все закрепления нажмите кнопку **ОК** в диалоговом окне **Закрепление по нормали**, чтобы зафиксировать установленные опоры.

Ускоренный выбор:



Распределенный момент – выбрав данную команду, Вы сможете приложить равномерно распределенный момент на поверхности ранее созданной трехмерной модели. Момент, как и давление является распределенным, но в отличие от давления задается в глобальной системе координат.

Чтобы приложить распределенную силу необходимо нажать на пиктограмму . Выполнив данное действие, перед Вами появится диалоговое окно **Момент** (рис. 2.9.26).

Следующим этапом является указать те ребра или поверхности, к которым будет приложен распределенный момент. Для этого необходимо нажать на кнопку **Указать грань**, **ребро** в диалоговом окне.

Далее необходимо подвести курсор мыши к поверхности, ближайшая из которых подсветится зеленым цветом (рис. 2.9.27).

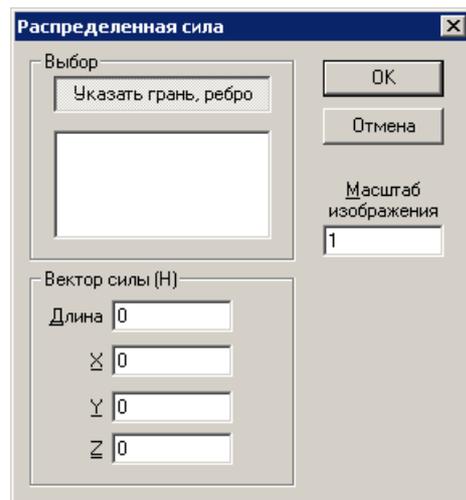


Рис. 2.9.26 Диалоговое окно Момент.

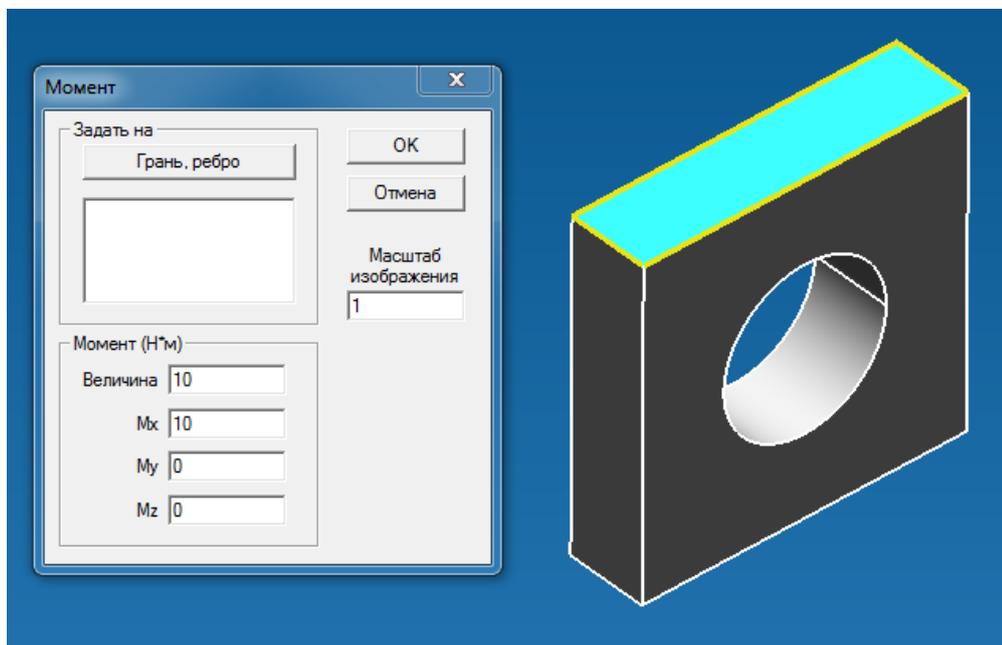


Рис. 2.9.27 Указание поверхности, на которую будет приложен распределенный момент.

Чтобы подсвеченную поверхность зафиксировать достаточно нажать один раз левую клавишу мыши. После чего выбранная поверхность будет занесена в список граней, приобретет более темный оттенок зеленого цвета и, кроме того, на ней отрисуются стрелки синего цвета, указывающие направление действующей силы (рис. 2.9.9).

В случае если распределенная сила действует разные поверхности, целесообразно их добавить в список граней, аналогично тому, как это было сделано для первой поверхности. При этом введенное значение силы будет задано на все выбранные грани или ребра равномерно. Такой подход позволяет с помощью одной команды задать суммарную нагрузку на группу разных по длине ребер (площади граней).

Заключительным этапом является указание значения момента. Для этого необходимо ввести с клавиатуры числовые значения в поля M_x , M_y , M_z соответствующие проекциям момента в глобальной системе координат. Значение нагрузки задается в Ньютонах на метр. Пересчет значения момента в каждый узел конечно-элементной сетки при разбиении будет проведен автоматически.

Для того, чтобы изменить направление действующего момента на противоположное, необходимо перед числовым значением поставить знак минус.

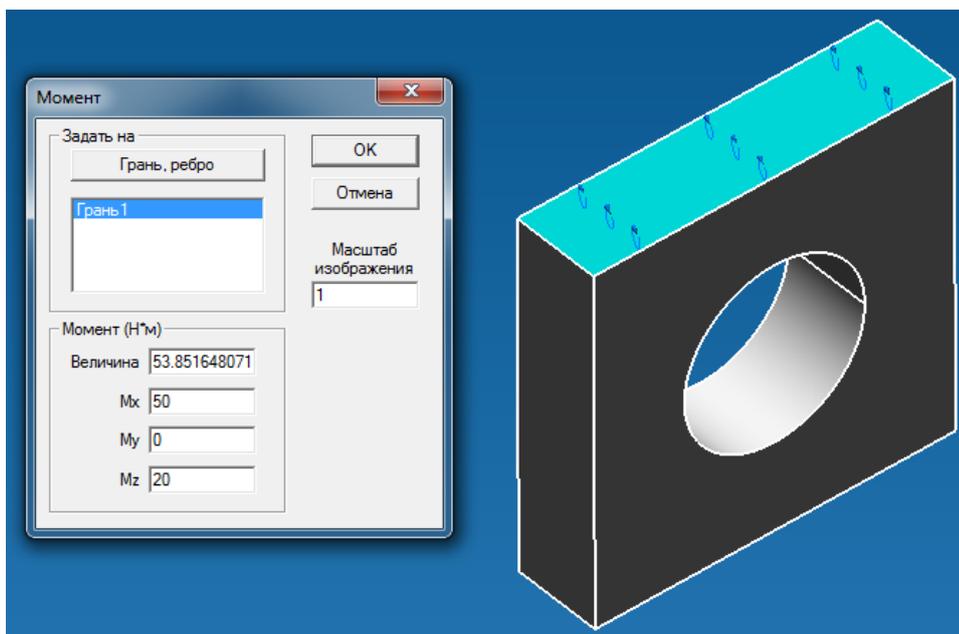


Рис. 2.9.9 Фиксация грани, к которой будет приложен распределенный момент.

Для того, чтобы убрать из списка граней ранее выбранную поверхность можно поступить двумя способами:

- подводим курсор мыши к интересующей грани в рабочем окне редактора и нажимаем один раз левую клавишу мыши
- подводим курсор мыши к интересующей грани в списке граней диалогового окна **Момент**, нажимаем один раз левой клавишей мыши, выделяя тем самым ту или иную грань, и нажимаем на клавиатуре клавишу **Del**.

После того, как Вы зададите необходимые поверхности и значения распределенной силы, нажмите кнопку ОК в диалоговом окне **Момент**, чтобы зафиксировать приложенную нагрузку.

Ускоренный выбор: 

2.10 Строка состояния

В строке состояния отображается подсказка к текущей команде.

2.11 Колесико прокрутки (Scrolling)

Если на Вашей мыши есть колесико прокрутки, Вы можете использовать его для масштабирования изображения. Прокрутка вниз увеличит изображение, вверх – уменьшит.

Удержание колесика прокрутки позволит Вам перемещать изображение в рамках рабочего окна.

Глава 3. Команды APM Studio

3.1 Главное меню APM Studio

Вид главного меню зависит от режима *APM Studio* (рис. 3.1 – 3.2). В режиме поверхностного или твердотельного моделирования (рис. 3.1) недоступны команды расчета, которые становятся доступны в режиме конечно-элементного анализа (рис. 3.2). Рассмотрим подробнее команды главного меню. Вызов некоторых команд меню **Файл** возможен с помощью панелей инструментов (см. глава 2).



Рис. 3.1.1 Главное меню APM Studio в режиме моделирования.

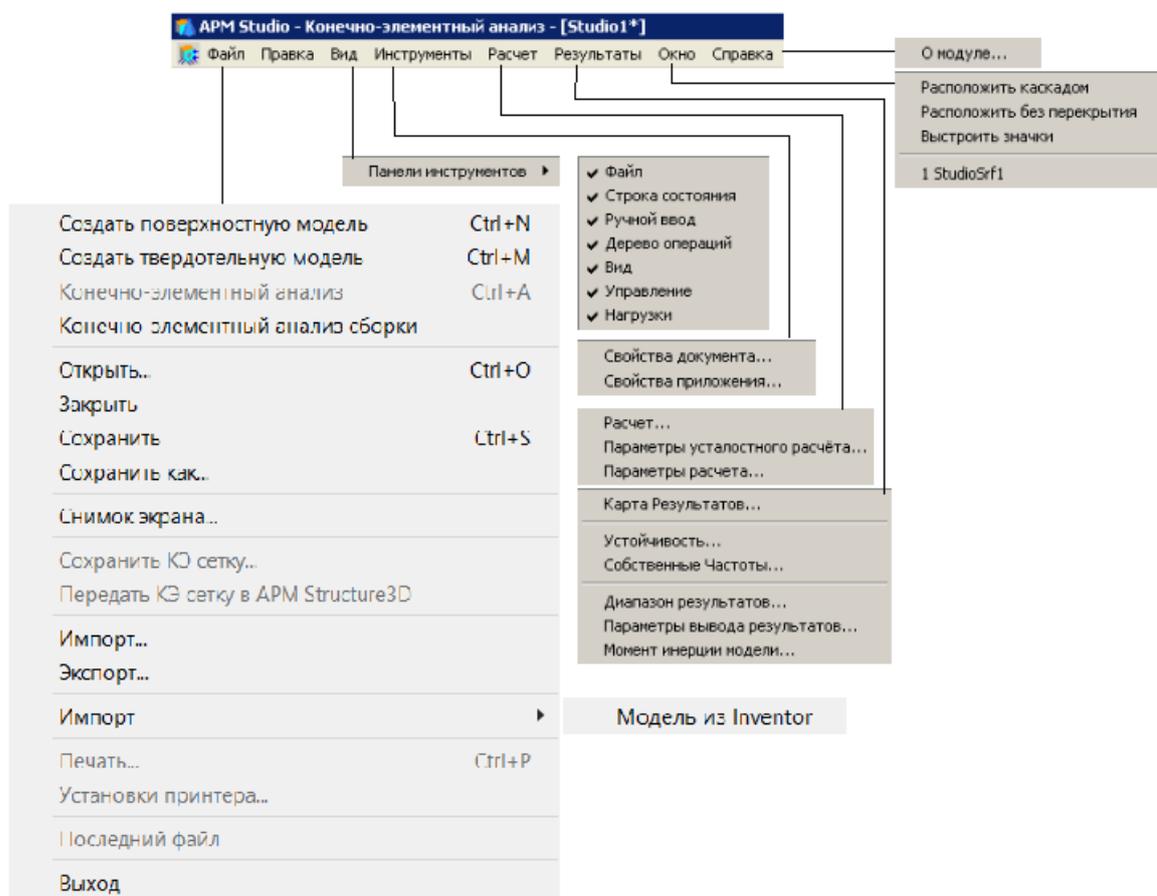


Рис. 3.1.2 Схема главного меню APM Studio в режиме моделирования.

3.2 Меню Файл

Команды этого раздела позволяют создавать новые модели, открывать ранее созданные файлы, осуществлять импорт и экспорт файлов, а также импорт/экспорт плоского эскиза.

Создать поверхностную модель – команда позволяет создать новую поверхностную модель.

Ускоренный выбор: 
Комбинация клавиш: **Ctrl+N**

Создать твердотельную модель – команда позволяет создать новую твердотельную модель.

Ускоренный выбор: 

Комбинация клавиш: **Ctrl+M**

Конечно-элементный анализ – команда позволяет создать новый файл конечно-элементного анализа. При этом в данный режим автоматически будет полностью перенесена активная трехмерная модель (сборка).

Ускоренный выбор: 

Комбинация клавиш: **Ctrl+A**

Конечно-элементный анализ сборки – команда позволяет создать новый файл конечно-элементного анализа. Данный режим позволяет создавать сборки для конечно-элементного анализа из созданных ранее в *APM Studio* трехмерных моделей деталей.

Ускоренный выбор: 

Открыть... – команда позволяет открыть ранее созданный файл. После вызова команды на экране появляется стандартное диалоговое окно *Открытие файла*.

Ускоренный выбор: 

Комбинация клавиш: **Ctrl+O**

Закреть – команда закрывает активную модель. Если в схемы были внесены какие-либо изменения, то программа предложит сохранить их. Сохранение происходит с использованием стандартного диалогового окна *Сохранение файла*.

Сохранить... – команда сохраняет активную модель в файле следующих форматов:

- поверхность модель - *.ams
- твердотельная модель - *.amp
- конечно-элементный анализ поверхностной (твердотельной) модели - *.ssa
- конечно-элементный анализ сборки - *.saa.

После вызова команды на экране появляется стандартное диалоговое окно *Сохранение файла*. Если схема ранее не сохранялась, то появится диалоговое окно *Сохранить как*.

Ускоренный выбор: 

Комбинация клавиш: **Ctrl+S**

Сохранить как... – команда сохраняет активную трехмерную модель, обязательно запрашивая у Вас имя сохраняемого файла. После вызова команды на экране появляется стандартное диалоговое окно *Сохранить как*.

Сохранить КЭ сетку ... – команда сохраняет конечно-элементную сетку с указанным закреплением и нагружением в файл формата *.frm модуля *APM Structure3D*. После вызова команды на экране появляется стандартное диалоговое окно *Сохранить как*.

Передать КЭ сетку в APM Structure3D – команда передает конечно-элементную сетку в модуль *APM Structure3D*. После вызова команды на экране открывается модуль *APM Structure3D*, в окнах которого отображается переданная конечно-элементная сетка.

Ускоренный выбор: 

Импорт – команда позволяет открыть файл в одном из следующих форматов:

- в режиме 3D:
 - ✓ STEP 203 (*.stp, *.step, *.ste);
 - ✓ STEP 242;
 - ✓ IGES;
 - ✓ SAT (*.sat);
 - ✓ файлы APM Structure3D (*.frm);
 - ✓ файлы AutoDesk Inventor (*.ipt, *.iam);
 - ✓ файлы Компас-3D (*.c3d)

- в режиме эскиза:
 - ✓ APM Graph (*.agr);
 - ✓ AutoCAD DXF (*.dxf).

После вызова команды на экране появляется стандартное диалоговое окно *Открытие файла*.

Экспорт – команда позволяет сохранить файл в в одном из следующих форматов:

- в режиме 3D:
 - ✓ STEP
 - ✓ C3D
- в режиме эскиза:
 - ✓ файл формата APM Graph (*.agr).

Импорт | Модель из Inventor – если на компьютере установлена система Autodesk Inventor, то команда позволяет загрузить активную модель из запущенного экземпляра приложения Inventor для последующего конечно-элементного анализа.

Выход – команда закрывает текущие открытые документы и завершает работу программы.

3.3 Меню Вид

Панели инструментов – в выпадающем меню Вы можете отметить, какие панели инструментов показывать, а какие – нет.

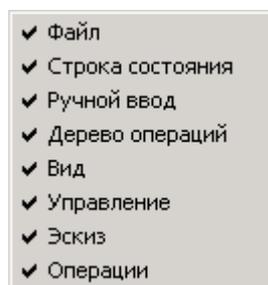


Рис. 3.3.1 Выпадающее меню выбора панелей инструментов.

3.4 Меню Инструменты

Свойства документа... – команда вызывает диалоговое окно для настройки документа (рис. 3.4.1). В состав данного диалогового окна входят 4 закладки: Параметры эскиза, Объектная привязка, параметры тесселяции.

Параметры эскиза – активизируя данную закладку (рис. 3.4.1) Вы можете включить режим дискретного перемещения курсора по невидимой сетке. Начало системы координат невидимой сетки совпадает с началом системы координат активного эскиза. Величина шага дескритизации соответствует величине шага курсора, которая задается в мм.

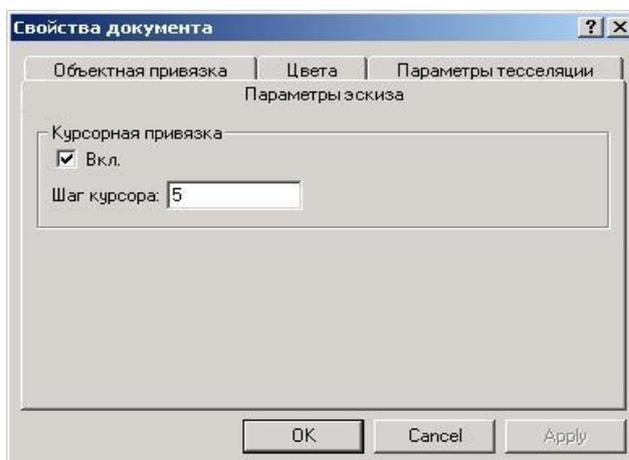


Рис. 3.4.1 Диалоговое окно Свойства документа.

Объектная привязка – активизируя данную закладку, Вы можете установить курсорную привязку к характерным точкам с заданной зоной чувствительности.

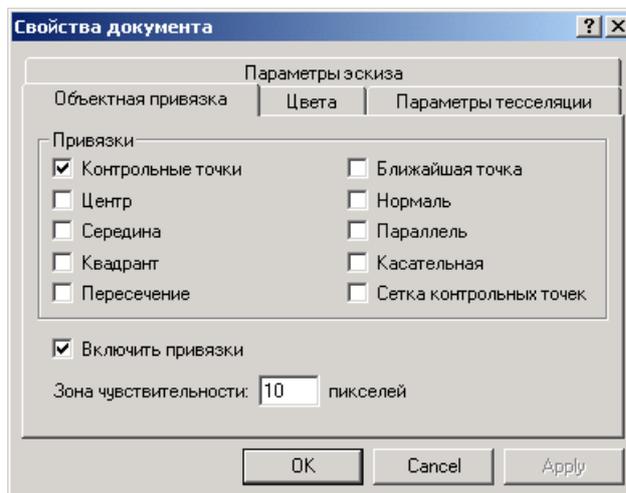


Рис. 3.4.2 Диалоговое окно Свойства документа – Объектная привязка.

Перечень объектных привязок модуля APM Studio:

Название привязки	Описание
Контрольные точки	при установленном флажке при приближении курсора мыши к контрольной точке на расстояние, меньшее, чем зона чувствительности, курсор автоматически будет «перескакивать» на контрольную точку. Ускоренный выбор:
Центр	при установленном флажке при приближении курсора мыши к окружности (дуге) на расстояние, меньшее, чем зона чувствительности, автоматически будет показана точка, соответствующая центру окружности (дуги). Ускоренный выбор:
Середина	при установленном флажке при приближении курсора мыши к середине линии на расстояние, меньшее, чем зона чувствительности, курсор автоматически будет «перескакивать» на точку, соответствующей середине линии. Ускоренный выбор:
Квадрант	при установленном флажке при приближении курсора мыши к точкам на окружности соответствующие углам 0, 90, 180, 270 на расстояние меньшее, чем зона чувствительности, курсор автоматически будет перескакивать на данные точки. Ускоренный выбор:
Пересечение	при установленном флажке при приближении курсора мыши к точке соответствующей пересечению двух и более элементов на расстояние меньшее, чем зона чувствительности, курсор автоматически будет перескакивать на данную точку. Ускоренный выбор:
Ближайшая точка	при установленном флажке при приближении курсора мыши к графическому примитиву на расстояние меньшее, чем зона чувствительности, курсор автоматически будет перескакивать на ближайшую точку, принадлежащую данному примитиву. Ускоренный выбор:
Нормаль	при установленном флажке при построении графического примитива, автоматически будет выделяться красным цветом тот объект, к которому строящийся примитив, при текущем положении курсора, будет нормален. Данную объектную привязку наиболее целесообразно использовать, когда необходимо построить отрезок перпендикулярно какому-либо графическому примитиву. Ускоренный выбор:

Параллель	<p>при установленном флажке при построении графического примитива, автоматически будет выделяться красным цветом тот объект, к которому строящийся примитив, при текущем положении курсора, будет параллелен. Данную объектную привязку наиболее целесообразно использовать, когда необходимо построить отрезок параллельно какому-либо графическому примитиву.</p> <p>Ускоренный выбор: </p>
Касательная	<p>при установленном флажке при построении графического примитива, автоматически будет выделяться красным цветом тот объект (окружность, дуга, эллипс, сплайн, би-сплайн), к которому строящийся примитив, при текущем положении курсора, будет располагаться касательно. Данную объектную привязку наиболее целесообразно использовать, когда необходимо построить отрезок касательно к окружности, дуге, эллипсу, сплайну, би-сплайну.</p> <p>Ускоренный выбор: </p>
Сетка контрольных точек	<p>при установленном флажке при перемещении курсора мыши по окну редактора данная привязка сработает в случае совпадения координат курсора с координатами контрольных точек.</p> <p>Ускоренный выбор: </p>
Включить привязки	<p>при установленном флажке все выбранные Вами объектные привязки будут активизированы. Если флажок не стоит, то привязки не будут работать, не смотря на то, что они отмечены.</p> <p>Ускоренный выбор: </p>

Зона чувствительности – величина, определяющая дистанцию, начиная с которой срабатывают объектные и курсорная привязки.

Цвета – активизируя данную закладку (рис. 3.3.3), Вы можете установить цветовые параметры окна редактора. Вам предлагается варьирование цветом фона окна редактора и цветом сетки эскиза.

Параметры тесселяции – активизируя данную закладку (рис. 3.4.4), Вы можете установить качество отображения трехмерной модели на экране. В качестве примера рассмотрим отображение сфера с высоким (рис. 3.4.5) и низким (рис. 3.4.6) качеством тесселяции. Как видно из представленных картинок, уменьшение качества изображения привело к более грубой аппроксимации поверхности, однако визуальное ухудшение изображения ни коем образом не скажется на качестве конечно-элементной сетки.

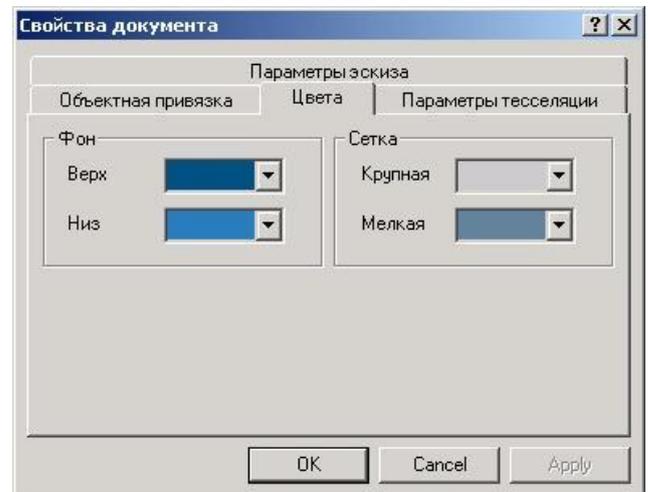


Рис. 3.4.3 Диалоговое окно Свойства документа – Цвета.

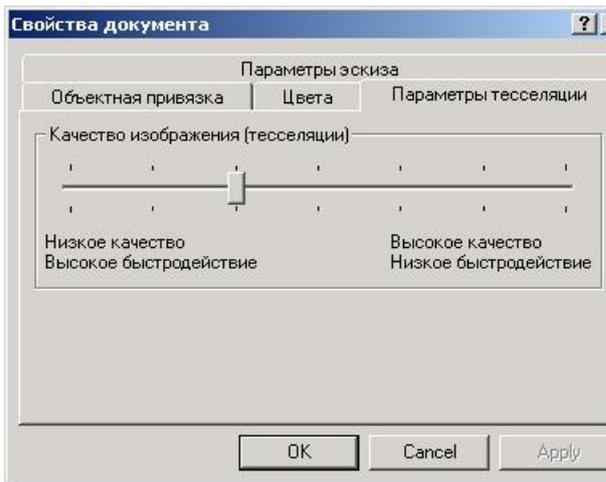


Рис. 3.4.4 Диалоговое окно Свойства документа – Цвета.

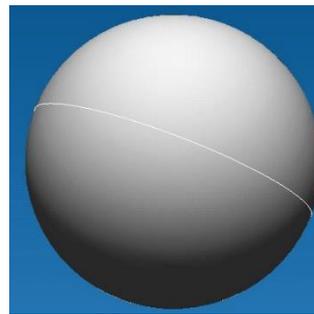


Рис. 3.4.5 Высокое качество изображения.

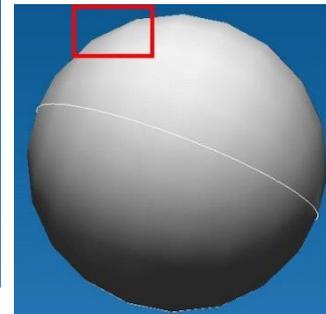


Рис. 3.4.6 Низкое качество изображения.

Свойства приложения... – команда вызывает диалоговое окно для настройки всего приложения рис. 3.4.7.

В данном окне Вы можете указать каковым должно быть качество изображения для поверхностного и твердотельного моделирования, а так же задать какой режим работы должен активизироваться при запуске программы *APM Studio*.

Во вкладке Интеграция задается путь к модулю *APM Structure 3D*.

Во вкладке Виды КЭ-анализа можно включить или выключить элементы интерфейса, связанные с соответствующими видами КЭ-анализа

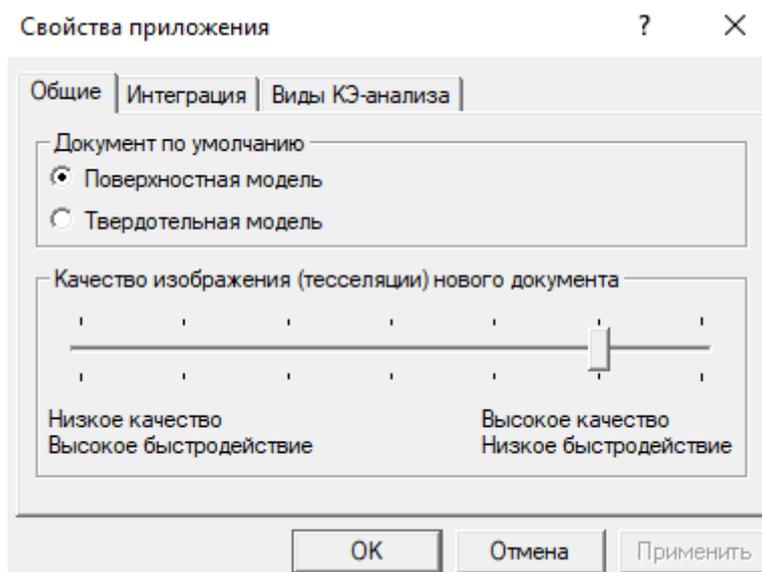


Рис. 3.4.7 Диалоговое окно Свойства приложения.

3.5 Меню Расчёт

Расчет...

команда выполняет расчет конструкции. После вызова команды на экране появляется диалоговое окно, запрашивающее тип производимого расчета.

В правой части диалогового окна позволяет открыть дерево настроек выбранных расчетов. Описание элементов дерева приведено ниже.

Параметры усталостного расчёта...

команда вызывает окно с установками для усталостного расчёта конструкции.

Исходными данными для расчёта усталостной прочности являются напряжённо-деформированные состояния, соответствующие максимальному и минимальному силовому воздействию на конструкцию при циклическом нагружении. Предполагается, что все силы, действующие на конструкцию, изменяются по одному закону.

Группа **Статический расчёт соответствует** позволяет задать максимальное и минимальное значения нагрузки, действующей на модель конструкции. Так, если статический расчёт был проведён для среднего уровня нагрузки, то необходимо выбрать радио кнопку **Произв. точка (2)**, а затем в полях ввода **Кoeff. для макс. точки(1)** и **Кoeff. для мин. точки(3)** ввести безразмерные коэффициенты, на которые необходимо умножить систему сил чтобы получить экстремальные случаи нагружения. Если статический расчёт был проведён для уровня нагрузки соответствующего максимальным напряжениям, то необходимо выбрать радио кнопку **Максимум (1)** и в поле

ввода **Коефф.** для мин. точки(3) указать безразмерный коэффициент, на который необходимо умножить систему сил чтобы получить уровень нагрузки, соответствующий минимальным напряжениям.

В нижней части диалога расположена таблица коэффициентов, используемых при расчёте. Каждому материалу может быть задан определённый набор коэффициентов. Более подробная информация о коэффициентах находится в документации к системе *APM Structure3D*.

Настройки...

команда вызывает окно с установками для расчета. Диалоговое окно разделено на два поля, в левой части диалогового окна находится дерево настроек, в правой – свойства выбранного элемента дерева.

Линейная статика

Поле Алгоритм решения СЛАУ позволяет выбрать наиболее подходящий метод решения. **LDL** метод представляет собой факторизацию матрицы жёсткости ансамбля конечных элементов с приведением её к виду $[L]T[D][L]$.

Frontal метод расчёта предназначен для конструкций, состоящих из большого количества конечных элементов. Метод отличается тем, что матрица жёсткости ансамбля непосредственно в оперативной памяти компьютера не составляется, а решение системы уравнений идёт «фронтом» по всем степеням свободы. Глобальная матрица сохраняется на диске. Следующие поля Размер оперативной памяти (размер рабочей области памяти, выделяемой для обработки «фронта») и Размер файла для хранения матрицы (устанавливается в зависимости от типа операционной и файловой систем) относятся только к фронтальному методу решения.

Отличительной особенностью **MT_Frontal** является использование многоядерности процессора.

Sparse – улучшенный метод работы с разреженными матрицами, обеспечивающий прирост скорости вычислений. При расчетах методом Sparse в матрице жесткости хранятся только ненулевые элементы, а временные файлы размещаются на жестком диске. Предназначен для моделей с большим количеством конечных элементов и с большой полушириной матрицы жесткости. Метод Sparse используется по умолчанию.

Линейная устойчивость

Для расчёта устойчивости также есть возможность выбора метода решения.

Итерации Арнольди (только в 32-х разрядной версии) – метод решения обобщённой задачи на собственные значения, позволяющий получить коэффициент запаса с относительно небольшими затратами процессорного времени. Однако метод не позволяет получать решение для систем с большим числом степеней свободы.

Поиск корней детерминанта – более ресурсоёмкий метод, позволяющий получить решение для больших систем. «Максимальное значение коэффициента запаса устойчивости», «Размер оперативной памяти для работы алгоритма» и «Размер файла для хранения матрицы» – параметры, задающие область поиска решения, размер оперативной памяти, выделяемой для работы алгоритма и размер файлов, создаваемых на жёстком диске в процессе работы, соответственно. Общий размер файлов на жёстком диске будет зависеть от размерности и топологии задачи.

Для расчета больших моделей целесообразно использовать метод **Поиск корней детерминанта (Sparse)**, адаптированный для работы с разреженными матрицами.

Метод **Ланцоша** также адаптирован для работы с разреженными матрицами и эффективен для расчета больших моделей. Метод позволяет определить в рамках одного расчета несколько форм потери устойчивости. Кроме того, он позволяет находить собственные значения вблизи заданного (пользователем) значения. Метод также хорошо работает с плохо обусловленными матрицами.

Метод **FEAST**. Набор высокопроизводительных численных процедур для решения стандартных симметричных $Ax=\lambda x$ или обобщённых симметрично-определённых задач $Ax=Bx$ нахождения всех собственных значений λ и собственных векторов x в заданном диапазоне поиска $[\lambda_{min}, \lambda_{max}]$. Решатель основан на инновационном быстром и устойчивом численном алгоритме [E. Polizzi], принципиально отличающемся от традиционных итераций подпространств Крылова (алгоритмы Арнольди и Ланцоша [Z. Bai, J. Demmel, J. Dongarra, A. Ruhe and H. van der Vorst]) или от других подходов Дэвидсона-Якоби [G. L. G. Sleijpen and H. A. van der Vorst].

Метод **FEAST** находит пары собственных решений, используя численно эффективный метод контурного интегрирования (используемый в квантовой механике). При этом основной решаемой задачей является решение нескольких независимых СЛАУ по контуру и последующее решение сокращённой задачи нахождения собственных значений/векторов.

Частоты собственных колебаний

Итерации подпространств – метод используется для небольших задач.

Для расчета больших моделей целесообразно использовать метод **Итерации подпространств (Sparse)**, адаптированный для работы с разреженными матрицами. Этот метод позволяет определить в рамках одного расчета несколько форм собственных частот.

Метод **Итерации подпространств (Sparse) без ортогонализации** может использоваться для определения в том случае, когда не требуется точное определение формы собственных колебаний. Использование метода **Итерации подпространств (Sparse) без ортогонализации** для больших задачах позволит значительно сократить время расчета.

Метод **Ланцоша** также адаптирован для работы с разреженными матрицами и эффективен для расчета больших моделей. Метод позволяет определить в рамках одного расчета несколько форм потери устойчивости. Метод также хорошо работает с плохо обусловленными матрицами.

Нелинейный расчет

Для нелинейного расчёта выбирается один из типов расчета:

Геометрическая нелинейность – расчет при больших деформациях в упругой области.

Контактное взаимодействие – расчет сборок с контактными элементами.

Установка птички в опции **Следящая нагрузка** приводит к тому, что нагрузка будет привязана не к ГСК, а к ЛСК элементов и ее угловое положение относительно ГСК будет изменяться вслед за деформацией конструкции.

Нелинейные расчеты являются итерационными. Для всех типов нелинейных расчетов задаются относительная точность вычислений и максимальное количество итераций. В качестве критериев сходимости могут использоваться невязка по перемещениям или по напряжениям.

3.6 Меню Результаты

Карта Результаты

Команда вызывает окно, для выбора результатов расчета и дальнейшего их просмотра. Кроме того, позволяет устанавливать различные опции представления результатов.

В группе Выбор результатов устанавливается группа результатов. В списке *Объёмные элементы* выбирается конкретный параметр для просмотра.

Ниже приводится описание некоторых параметров

- UX – перемещение по оси X глобальной системы координат
- USUM – суммарное линейное перемещение
- SX – нормальное напряжение по оси X локальной системы координат элемента.
- SXY – касательное напряжение в площадке с нормалью X и в направлении Y системы координат элемента
- SVM – эквивалентное напряжение по Мизесу.

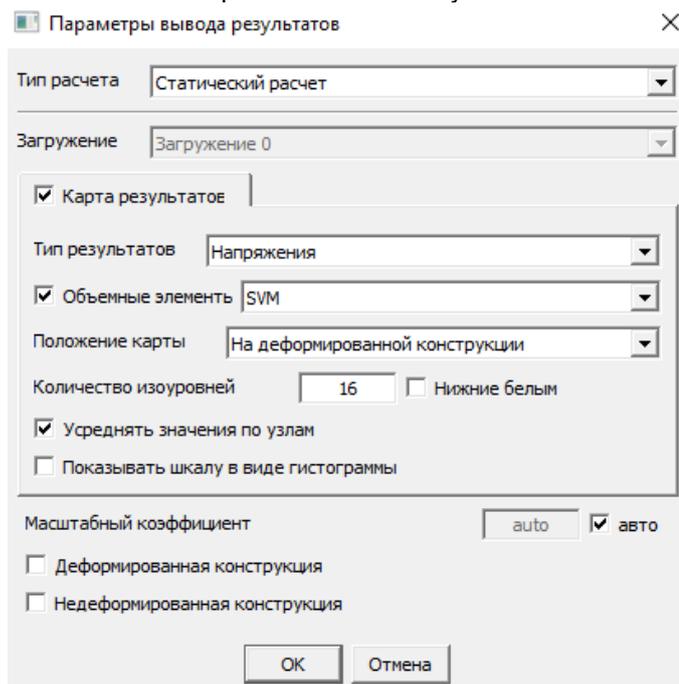


Рис. 3.6.1 Диалоговое окно Параметры вывода результатов.

В окне ввода *Масштабный коэффициент* задается коэффициент масштабирования перемещений для отрисовки деформированной конструкции. В случае задания масштабного коэффициента равного нулю, программа вычислит данный параметр автоматически.

В выпадающем списке с названиями загружений можно выбрать загрузку, по результатам расчёта которого будет строиться карта результатов.

Флаг *усреднять значения по узлам* относится к построению карты результатов в виде изообластей. Если этот флаг включен, то значения выбранного параметра в узле будут усредняться по всем элементам имеющим этот узел.

Значения остальных флагов понятны из их названия.

После нажатия кнопки *ОК* на экране отображается окно с цветовой картой выбранного параметра. Численные значения параметра в конкретной точке конструкции отображаются в окне статуса в режиме **Выбрать** , если поместить курсор в эту точку при нажатой левой кнопке мыши.

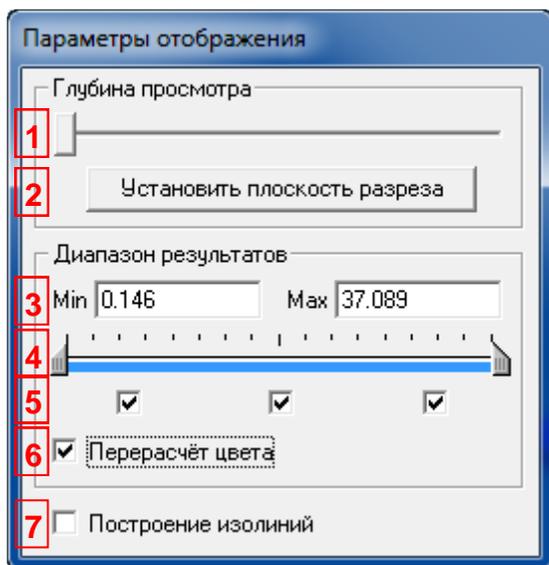


Рис. 3.6.2 Диалоговое окно *Параметры отображения*.

1. *Установка глубины просмотра*, после смещения нажмите необходимо нажать кнопку "Установить плоскость разреза" - актуально для просмотра напряжений внутри твердотельных деталей.

2. Кнопка "Установить плоскость разреза" задает плоскость среза по настройке п.1.

3. Минимальное и максимальное значение диапазона результатов для задания значения пользователем. Установка введённого значения осуществляется по клавише *ENTER*. **Синий** цвет шрифта - значение в процессе ввода, **красный** - некорректное значение. В случае его задания (по *Enter*), будет установлено максимально (минимально) допустимое.

4. Установка диапазона результатов посредством шкалы. При совмещении ползунков выводится одна изоповерхность, соответствующая конкретному значению. Совмещённые ползунки можно перемещать заедно. При этом одна изоповерхность будет перестраиваться.

5. Вкл./выкл. отображение элементов на модели *до*, *внутри* и *за* пределами выставленного в п.п. 3-4 диапазона.

6. Настройка "Перерасчет цвета" – выставленный в п.п. 3-4 минимум и максимум соответствуют **синему** и **красному** цвету карты результатов.

7. Настройка построения карты результатов в виде *изолиний*.

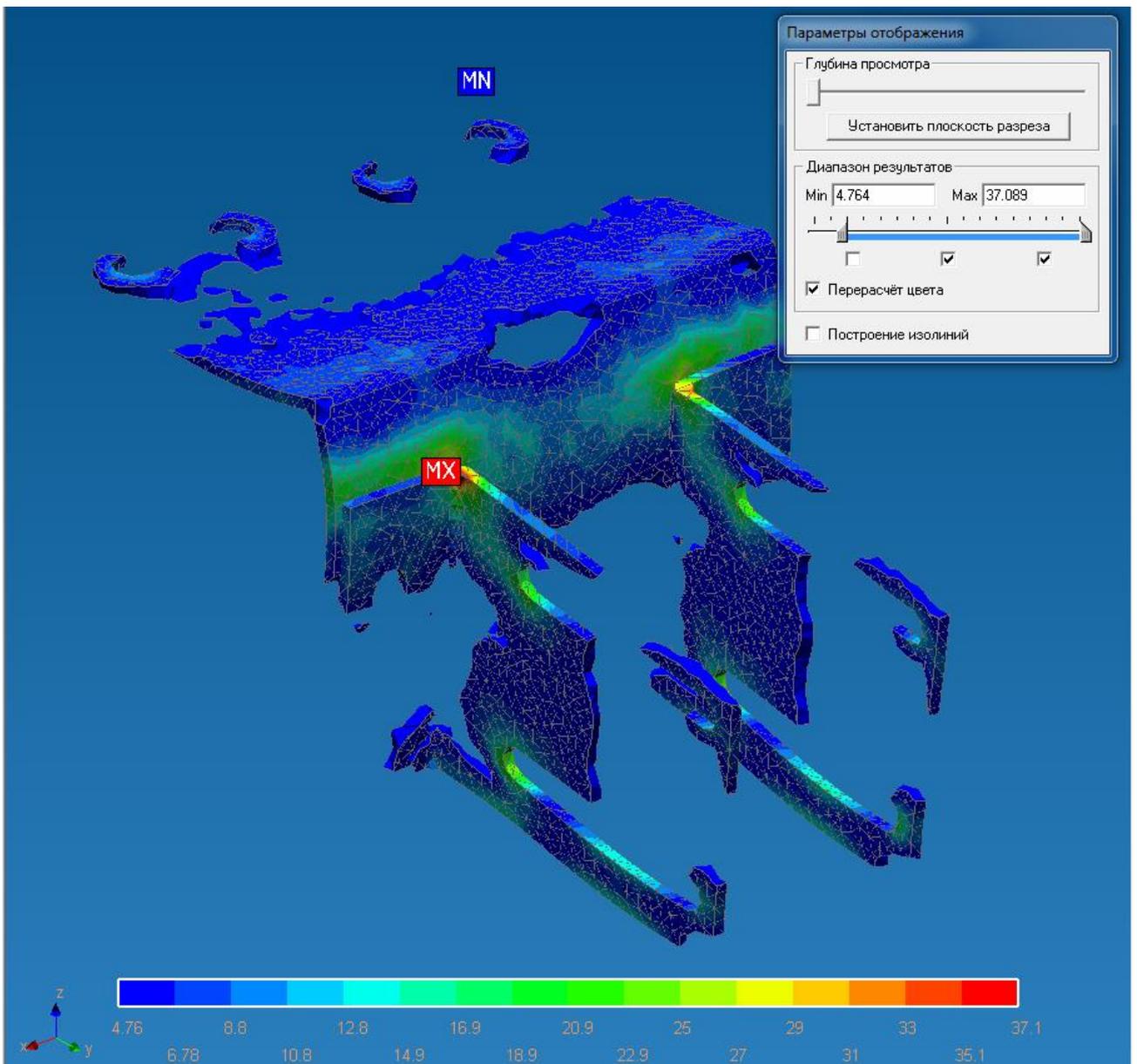


Рис. 3.6.3 Карта результатов - показаны только элементы с напряжениями от 4,764 до 37,089 Мпа

Устойчивость

команда выводит окно с коэффициентом запаса устойчивости получающимся в результате расчета на устойчивость и деформационного расчета.

Нажмите кнопку *Форма*, чтобы посмотреть форму потери устойчивости.

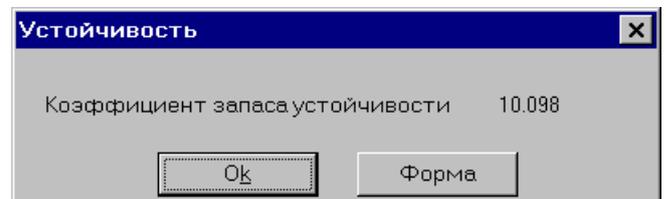


Рис. 3.6.4 Диалоговое окно Устойчивость.

Собственные частоты

команда выводит окно с частотами собственных колебаний конструкции. Нажмите кнопку форма для просмотра формы колебаний для выбранной частоты.

N	[рад/с]	[Гц]	[с]	м.м. X [%]	с.м.м. X [%]	м.м. Y [%]	с.м.м. Y [%]	м.м. Z [%]	с.м.м. Z [%]
1	1385.8	220.557	0.00453...	0.00333	0.00333	5.19	5.19	78.5	78.5
2	2375.88	378.133	0.00264...	47.2	47.2	0.000148	5.19	0.00791	78.5
3	3114.3	495.657	0.00201...	0.00147	47.2	0.464	5.65	0.242	78.7
4	3605.49	573.831	0.00174...	0.0132	47.3	38.4	44.1	9.63	88.3
5	3714.94	591.252	0.00169...	0.405	47.7	1.3	45.4	0.28	88.6
6	6106.52	971.884	0.00102...	1.37	49	0.0544	45.5	0.00131	88.6
7	10685.1	1700.59	0.00058...	0.0507	49.1	1.21	46.7	0.0233	88.6
8	10926.5	1739	0.00057...	2.09	51.2	0.0232	46.7	0.000372	88.6
9	12199.1	1941.55	0.00051...	0.000505	51.2	21.6	68.3	0.514	89.1
10	13265.7	2111.3	0.00047...	0.651	51.8	0.00157	68.3	0.000824	89.1
11	17164.3	2731.78	0.00036...	0.0123	51.8	0.145	68.5	0.0129	89.2
12	18989	3022.19	0.00033...	8.75	60.6	0.000422	68.5	3.37e-006	89.2
13	23517.8	3742.98	0.00026...	0.0244	60.6	0.00682	68.5	0.0221	89.2

Рис. 3.6.5 Диалоговое окно Собственные частоты.

Диапазон результатов

команда позволяет задать диапазон вывода результатов при отрисовке цветовой карты. Команда вызывает диалоговое окно, показанное ниже.

Граничные значения

Мин. значение: 0.1077985

Макс. значение: 264.05890

По умолчанию

Ok Отмена Справка

Рис. 3.6.6 Диалоговое окно Диапазон Результатов.

Параметры вывода результатов

команда вызывает окно (рис. 3.6.1), для выбора результатов расчета и дальнейшего их просмотра. Кроме того, позволяет устанавливать различные опции представления результатов.

Момент инерции модели

команда выводит диалоговое окно с информацией о массе модели, центре тяжести модели, моментах инерции и суммарных реакциях в опорах.

Масса модели 1.039278, [кг]

Центр тяжести модели (0.135921, 0.084461, 0.061594) [м]

Моменты инерции модели (0.003220, 0.002776, 0.003474) [кг*м²]

Суммарная реакция опор (-0.000000, 0.000000, 999.999990) [Н]

Момент относительно центра масс (-36.973231, -0.593882, 3.251981) [Н*м]

Абсолютные значения: Реакции 999.999990 [Н] ; Моменты 37.120721 [Н*м]

OK

Рис. 3.6.7 Диалоговое окно Информация о модели.

3.7 Меню Окно

Расположить каскадом – команда позволяет упорядочить открытые окна одно за другим, с частичным перекрытием.

Расположить без перекрытия – команда позволяет расположить все открытые окна на экране без перекрытия.

Выстроить значки – команда позволяет выстраивать значки свернутых окон внизу экрана.

3.8 Меню Помощь

О программе – вызывает диалоговое окно *О программе*, в котором отображены сведения об *APM Studio*.

Глава 4. Создание моделей в APM Studio

4.1 Пример создания поверхностной модели

Общий порядок создания поверхностной модели:

1. Создаем эскиз, в котором чертим дугу, окружность и отрезок.
2. Создаем эскиз перпендикулярно существующему, где чертим окружность.
3. Используя операции выталкивания и вращения, создаем два цилиндра и сферу.
4. Полученные поверхности пересекаем друг с другом.
5. Необходимые поверхности сшиваем, и удаляем все оставшиеся.
6. Создаем скругления в местах соединения цилиндров и сферы.
7. В режим конечно-элементного анализа указываем опоры и прикладываем нагрузку.
8. Полученную модель разбиваем на конечные элементы.
9. Проведение прочностного расчета в *APM Studio*.
10. Передача конечно-элементной сетки в *APM Structure3D*.

Задача

Создать модель Т образного соединения трубопровода со сферической смесительной емкостью (рис. 4.1).

Основные геометрические размеры представлены на рис. 4.1.2.

Один торец трубы абсолютно жестко закреплен, к торцу противоположной трубы приложена распределенная сила по оси Z величиной 2 Н/мм.

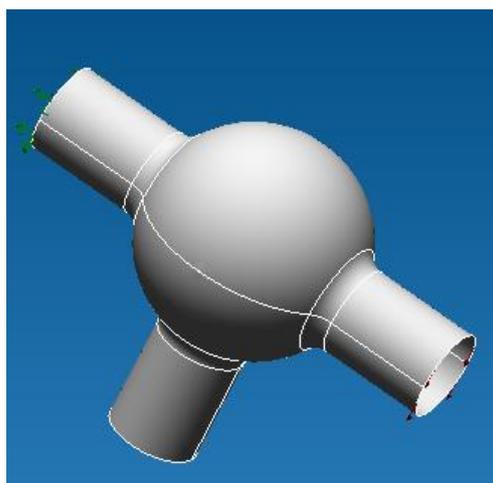


Рис. 4.1.1 Конечная поверхностная модель.

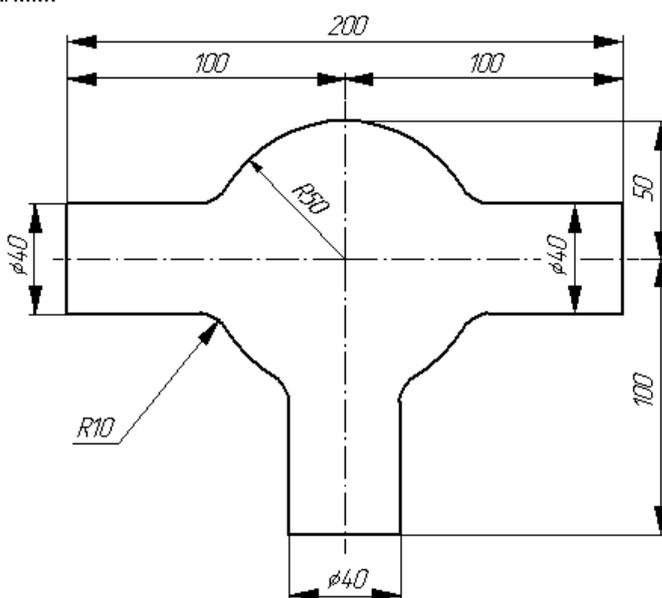


Рис. 4.1.2 Чертеж к задаче.

Решение

1. Создаем эскиз, в котором чертим дугу, окружность и отрезок.

Создаем **Эскиз** совпадающий с плоскостью XY. Для этого в **Дереве операций** раскрываем папку «Геометрия». Далее нажимаем на кнопку «Новый эскиз» , далее переводим курсор мыши к надписи «Плоскость XY» в **Дереве операций** и нажимаем один раз левой клавишей мыши.

Чертим дугу используя команду «Рисовать дугу по трем точкам» . Переводим курсор в рабочее окно редактора. В панели инструментов «Ручной ввод» вводим первую точку дуги X=0 Y=-50. Далее указываем вторую точку с координатами X=-50 Y=0. Третьей точке дуги соответствуют координаты X=0 Y=50.

Чертим отрезок, используя команду «Рисовать отрезок» . Переводим курсор в рабочее окно редактора. В панели инструментов «Ручной ввод» вводим первую точку отрезку X=0 Y=70. Далее указываем конечную точку с координатами X=0 Y=90.

Чертим окружность, используя команду «Рисовать окружность по центру и радиусу» . Переводим курсор в рабочее окно редактора. В панели инструментов «**Ручной ввод**» вводим центральную точку окружности $X=0$ $Y=0$. Далее указываем радиус окружности величиной $R=20$, для этого переходим к панели инструментов «**Ручной ввод**» последовательным нажатием кнопки  добиваемся активизации следующего режима -  R: 49.4974746831, где и вводим с клавиатуры значения 20. Далее переводим курсор мыши в рабочее окно редактора и нажимаем левую кнопку мыши, тем самым фиксируя окружность.

Выходим из созданного Эскиза. Для этого достаточно нажать один раз левой кнопкой мыши на команду «**Новый эскиз**» .

2. Создаем эскиз перпендикулярно существующему, где чертим окружность.

2.1 Создаем **Эскиз** перпендикулярный ранее созданному. Для этого нажимаем на кнопку «**Новый эскиз**» , далее переводим курсор мыши к надписи «**Плоскость ZY**» в **Дереве операций** и нажимаем один раз левой клавишей мыши.

2.2 Чертим окружность, используя команду «Рисовать окружность по центру и радиусу» . Переводим курсор в рабочее окно редактора. В панели инструментов «**Ручной ввод**» вводим центральную точку окружности $X=0$ $Y=0$. Далее указываем радиус окружности величиной $R=20$, для этого переходим к панели инструментов «**Ручной ввод**» последовательным нажатием кнопки  добиваемся активизации следующего режима -  R: 49.4974746831, где и вводим с клавиатуры значения 20. Далее переводим курсор мыши в рабочее окно редактора и нажимаем левую кнопку мыши, тем самым фиксируя окружность.

Выходим из созданного Эскиза. Для этого достаточно нажать один раз левой кнопкой мыши на команду «**Новый эскиз**» .

3. Используя операции выталкивания и вращения, создаем два цилиндра и сферу.

3.1 Создаем первый цилиндр. Для этого выбираем команду «**Выталкивание**» . Переводим курсор в рабочее окно редактора. В качестве контура выбираем окружность, находящуюся в одном эскизе с дугой и отрезком. В параметрах выталкивания указываем **Два направления** по 100 вперед и назад. После этого нажимаем кнопку ОК диалогового окна «**Выталкивание**».

3.2 Создаем второй цилиндр. Для этого выбираем команду «**Выталкивание**» . Переводим курсор в рабочее окно редактора. В качестве контура выбираем вторую окружность. В параметрах выталкивания указываем **Вперед** на 100. После этого нажимаем кнопку ОК диалогового окна «**Выталкивание**».

3.3 Создаем сферу. Для этого выбираем команду «**Вращение**» . Переводим курсор в рабочее поле редактора. В качестве контура выбираем дугу, а в качестве оси отрезок. В параметрах вращения указываем **Полный оборот**. После этого нажимаем кнопку ОК диалогового окна «**Вращение**».

В итоге мы получаем три поверхности, два цилиндра и одну сферу (рис. 4.1.3).

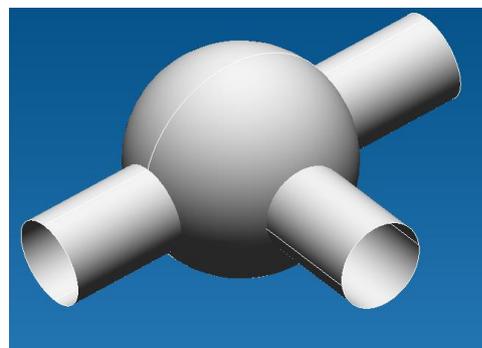
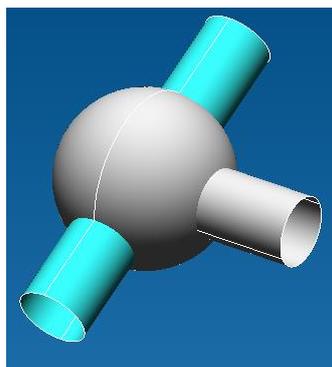


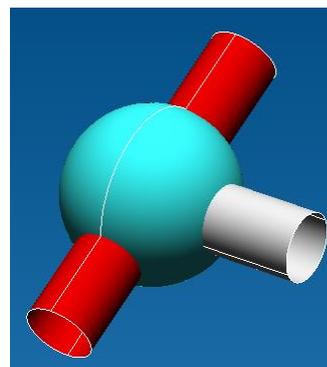
Рис. 4.1.3 Полученные поверхности.

4. Полученные поверхности пересекаем друг с другом.

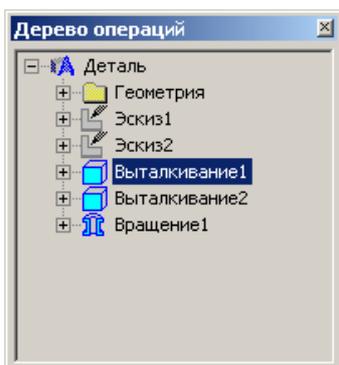
4.1 Пересекаем «длинный» цилиндр и сферу. Для этого выбираем команду «**Пересечение**»  и переводим курсор мыши в рабочее окно редактора. Подводим курсор мыши к «длинному» цилиндру и нажимаем один раз левую клавишу мыши. Далее перемещаем курсор на сферическую поверхность и также нажимаем один раз левую клавишу мыши. После чего в **Дереве операций** вместо Выталкивания и Вращения появится целый набор поверхностей.



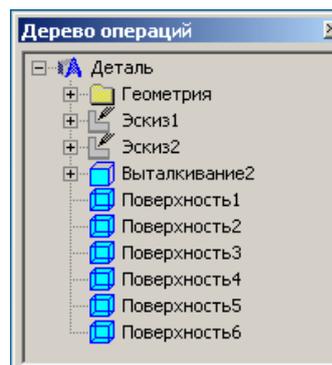
Указание в режиме Пересечения «длинного» цилиндра



Указание в режиме Пересечения сферы



Дерево операция до выполнения команды Пересечение

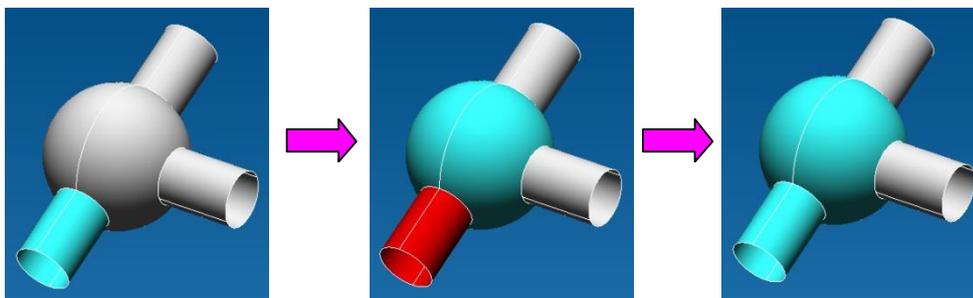


Дерево операция после выполнения команды Пересечение

4.2 Пересекаем «короткий» цилиндр и сферическую поверхность. Для этого выбираем команду **«Пересечение»**  и переводим курсор мыши в рабочее окно редактора. Подводим курсор мыши к «короткому» цилиндру и нажимаем один раз левую клавишу мыши. Далее перемещаем курсор на сферическую поверхность и также нажимаем один раз левую клавишу мыши. В итоге в **Дерево операций** пропадает последняя команда **«Выталкивание»** и остаются только поверхности.

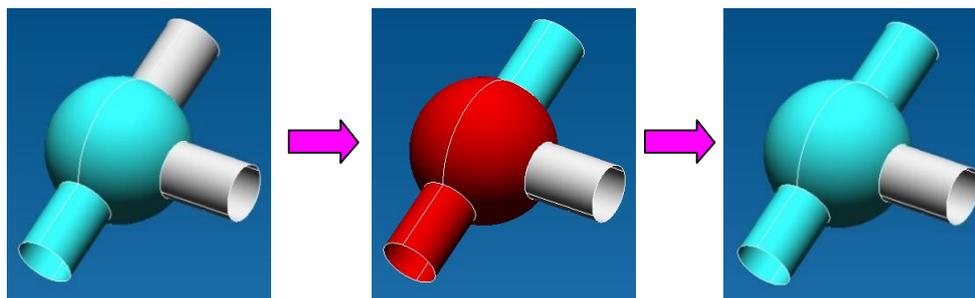
5. Необходимые поверхности сшиваем, и удаляем все оставшиеся.

5.1 Сшиваем нижний видимый цилиндр и сферу. Для этого выбираем команду **«Сшивка поверхностей»**  и переводим курсор в рабочее окно редактора. После этого переводим курсор мыши на нижний цилиндр и нажимаем один раз левой клавишей мыши. Далее перемещаем курсор на сферическую поверхность и также нажимаем один раз левую клавишу мыши. В итоге, после выполнения операции **«Сшивка поверхностей»** выделение цилиндра и сферы будет происходить совместно.

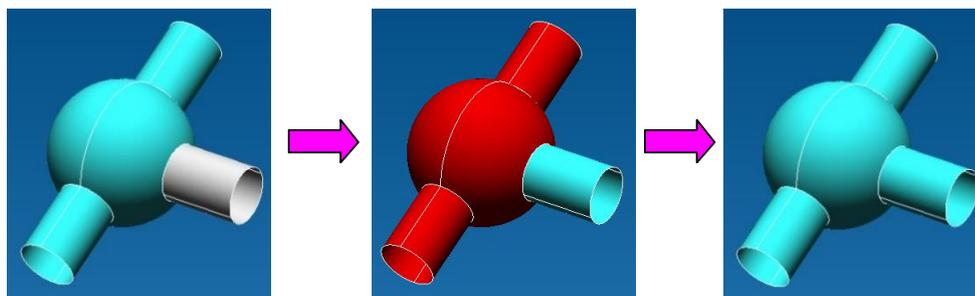


5.2 Сшиваем верхний видимый цилиндр и ранее сшитые цилиндр со сферой. Для этого выбираем команду **«Сшивка поверхностей»**  и переводим курсор в рабочее окно редактора. После этого переводим курсор мыши на ранее сшитые цилиндр со сферой и

нажимаем один раз левой клавишей мыши. Далее перемещаем курсор на верхний цилиндр и также нажимаем один раз левую клавишу мыши. В итоге, после выполнения операции «Сшивка поверхностей» выделение цилиндра и ранее сшитых цилиндра со сферой будет происходить совместно.



5.3 Сшиваем последний видимый цилиндр и ранее сшитые два цилиндра со сферой. Для этого выбираем команду «Сшивка поверхностей»  и переводим курсор в рабочее окно редактора. После этого переводим курсор мыши на ранее сшитые два цилиндра со сферой и нажимаем один раз левой клавишей мыши. Далее перемещаем курсор на последний видимый цилиндр и также нажимаем один раз левую клавишу мыши. В итоге, после выполнения операции «Сшивка поверхностей» выделение цилиндра и ранее сшитых двух цилиндров со сферой будет происходить совместно.



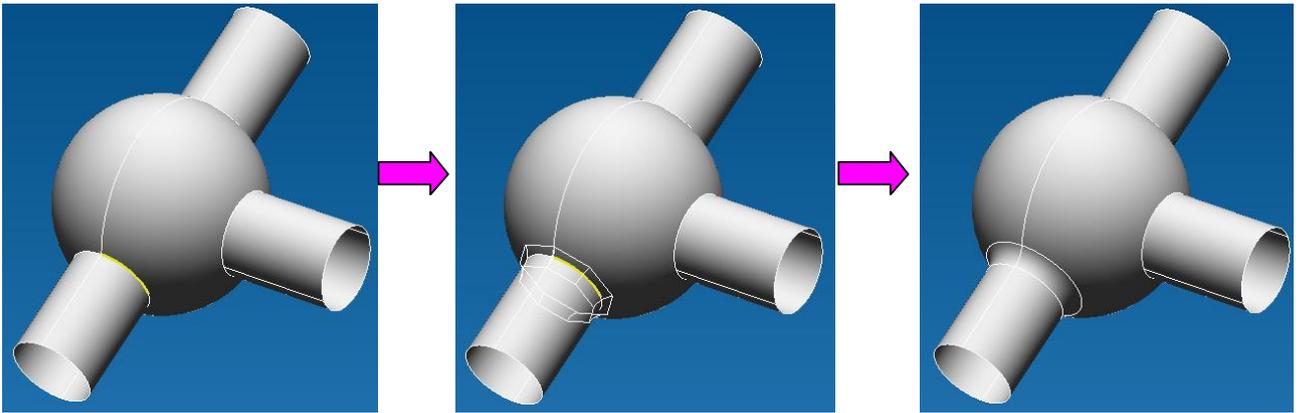
5.4 Скрываем ранее объединенные поверхности. Для этого переходим в **Режим выбора**, после чего переводим курсор мыши в рабочее окно редактора. Подводим курсор к сшитым поверхностям и нажимаем правую клавишу мыши. В появившемся контекстном меню выбираем команду **Скрыть**.

5.5 Удаляем оставшиеся на экране поверхности. Для этого переходим в **Режим выбора**, после чего переводим курсор мыши на видимую на экране поверхность и нажимаем правую клавишу. В появившемся контекстном меню выбираем команду **Удалить**. Аналогичным образом поступаем для всех оставшихся видимых поверхностей.

5.6 Делаем видимыми ранее сшитые поверхности. Для этого, в режиме выделения, подводим курсор к дереву операций и выделяем единственную оставшуюся поверхность. Нажимаем правую клавишу мыши и в появившемся контекстном меню выбираем команду **Показать**.

6. Создаем скругления в местах соединения цилиндров и сферы.

6.1 Выбираем команду **Скругление поверхностей по ребру** . Подводим курсор мыши к линии пересечения цилиндра со сферой и нажимаем один раз левой клавишей мыши. В панели инструментов «**Ручной ввод**»  R: вводим с клавиатуры значение радиуса скругления 10. Далее переводим курсор мыши в рабочее окно редактора и нажимаем левую кнопку мыши, тем самым, фиксируя параметры создаваемого скругления.

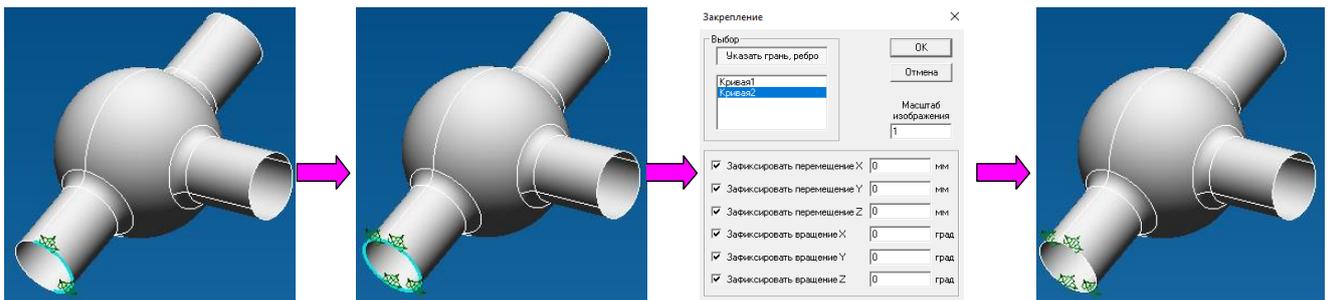


6.2 Аналогичным образом создаем скругления и для двух оставшихся линий пересечения.

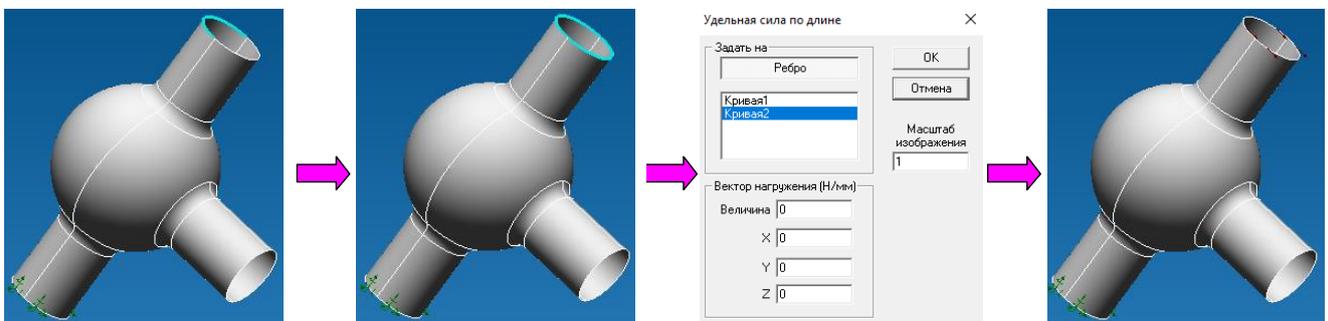
7. В режим конечно-элементного анализа указываем опоры и прикладываем нагрузку.

7.1 Переходим в режим конечно-элементный анализ. Для этого выбираем команду **Создание нового файла конечно-элементного анализа**  (или меню Файл/Конечно-элементный анализ) комбинация клавиш: **Ctrl+O**.

7.2 Устанавливаем опоры. Для этого выбираем команду **Установить закрепление** . Далее переводим курсор мыши в рабочее окно редактора и указываем крайний нижний торец, который абсолютно жестко закрепим. Чтобы указать торец необходимо подвести к нему курсор мыши и нажать один раз левой клавишей, после чего будет выбрана первая дуга. Аналогичным образом выбираем и вторую дугу торца. После этого в диалоговом окне **Закрепление** фиксируем все перемещения и все повороты и нажимаем кнопку ОК.

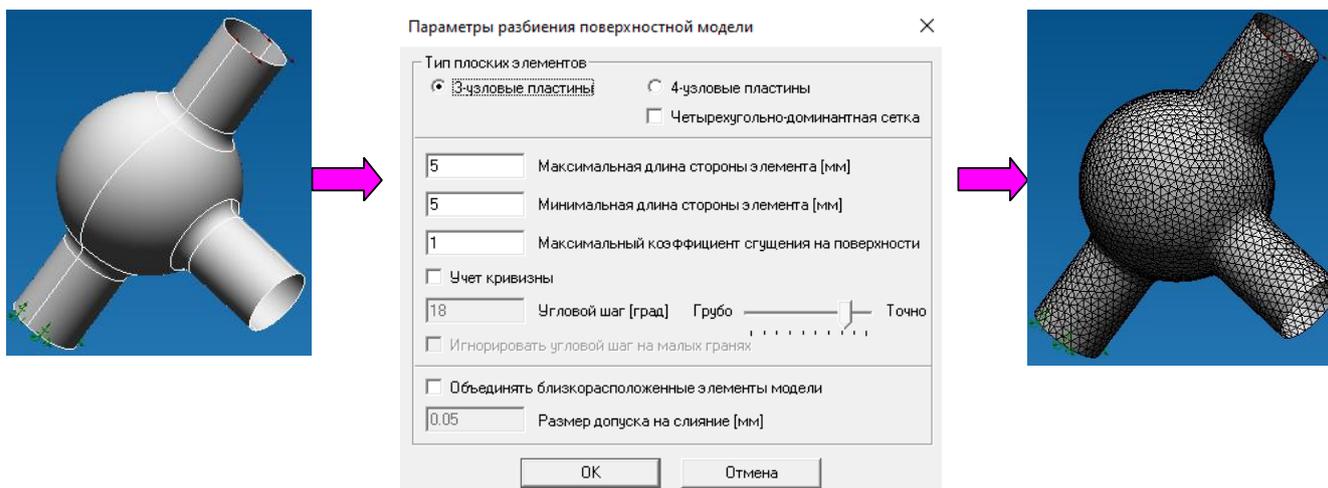


7.3 Прикладываем силы. Для этого выбираем команду **Приложить удельную силу по длине** . После этого переводим курсор мыши в рабочее окно редактора и указываем торец крайнего верхнего цилиндра. Для этого подводим курсор мыши к торцу и нажимаем один раз левой кнопкой мыши, после чего будет выбрана первая дуга. Аналогичным образом выбираем и вторую дугу торца. После этого в диалоговом окне Удельная сила по длине задаем вектор силы по оси Z величиной 2 Н/мм и нажимаем кнопку ОК.



8. Полученную модель разбиваем на конечные элементы.

Для генерации конечно-элементной сетки достаточно нажать на кнопку **Создать конечно-элементную сетку** . В появившемся диалоговом окне указываем **Шаг разбивки** равный 5, после чего нажимаем кнопку ОК диалогового окна **Параметры разбивки**.



9. Проведение прочностного расчета в *APM Studio*.

После генерации конечно-элементной сетки выбираем команду **Расчет / Расчет...** В появившемся диалоговом окне выбираем тип расчета: статический. После проведения расчета доступны результаты: команда **Результаты / Карта результатов...** В появившемся диалоговом окне в выпадающем списке выбираем результаты для просмотра: напряжения. Карты результатов доступны для просмотра непосредственно в *APM Studio*.

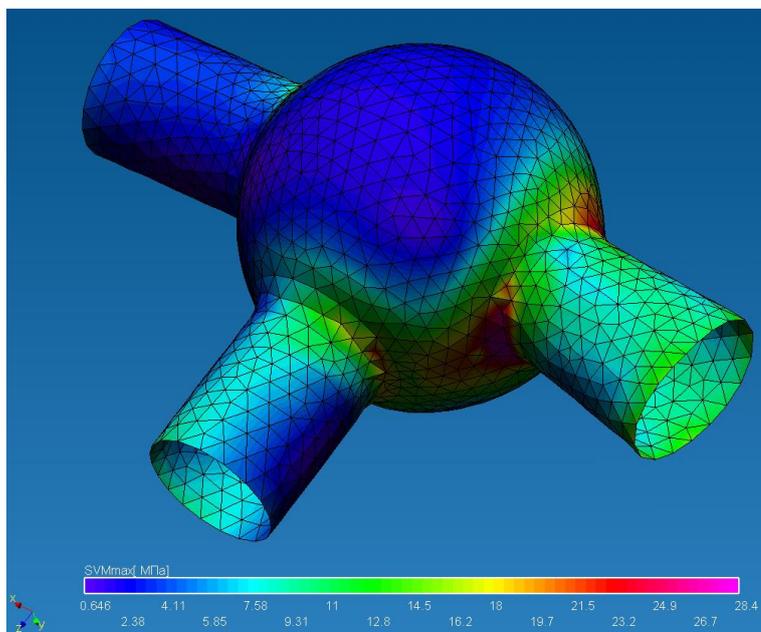


Рис. 4.1.5 Карта напряжений [МПа] в системе *APM Studio*.

10. Передача конечно-элементной сетки в *APM Structure3D*.

APM Structure3D позволяет проводить расчет моделей, включающих комбинацию стержневых, пластинчатых и объемных элементов, конечно-элементная сетка с закреплениями, совместными перемещениями и нагрузками может быть передана для последующего редактирования и расчета в модуль *APM Structure3D*. Передача конечно-элементной сетки осуществляется нажатием кнопки **Передать конечно-элементную сетку в *APM Structure3D***  (или меню Файл/Передать КЭ сетку в *APM Structure3D*). После чего автоматически откроется модуль конечно-элементного анализа *APM Structure3D*, в котором будет находиться ранее созданная модель.

4.2 Пример создания твердотельной модели

Общий порядок создания твердотельной модели:

1. Создаем эскиз, в котором чертим исходный контур будущего твердого тела.
2. Используя операцию выталкивания, создаем твердое тело.
3. Создаем эскиз, совпадающий с плоскостью грани модели, где чертим четыре окружности.
4. Используя операцию выталкивания с вычитанием, создаем четыре присоединительных отверстия.
5. В режим конечно-элементного анализа указываем опоры и прикладываем нагрузку.
6. Полученную модель разбиваем на конечные элементы.
7. Проведение прочностного расчета в *APM Studio*.
8. Передача конечно-элементной сетки в *APM Structure3D*.

Задача

Создать модель опоры подшипника качения (рис. 4.2.1). Основные геометрические размеры представлены на рис. 4.2.2.

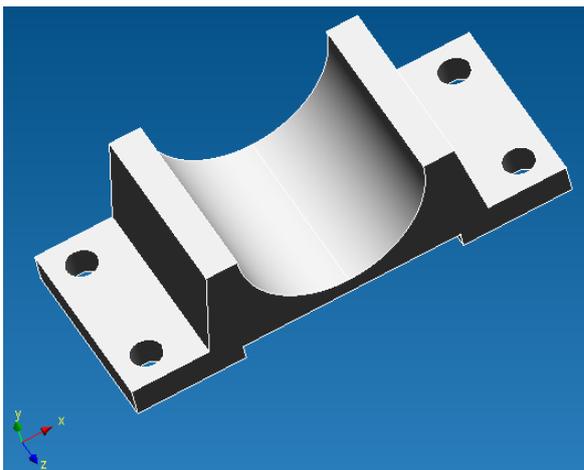


Рис. 4.2.1 3D-модель.

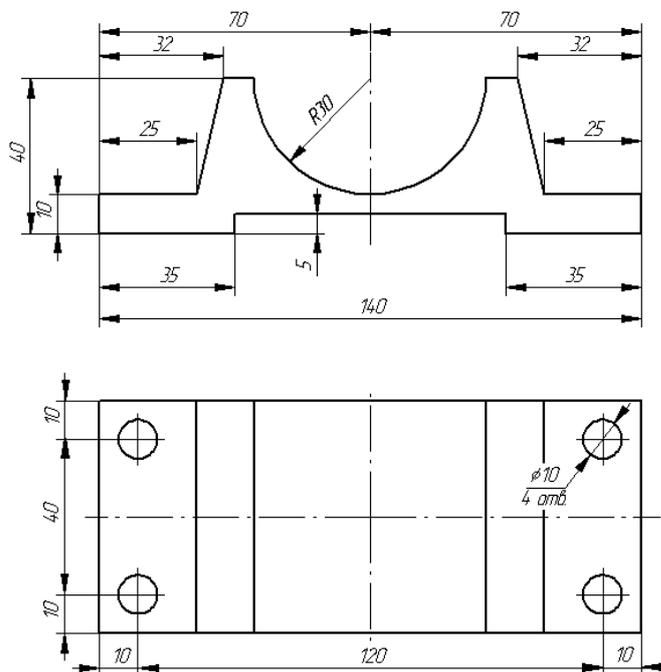


Рис. 4.2.2 Чертеж детали.

Опора присоединена к основанию посредством болтов и воспринимает распределенную нагрузку по вогнутой поверхности величиной 50000 Н.

Решение

1. Создаем эскиз, в котором чертим исходный контур будущего твердого тела.

Создаем **Эскиз** совпадающий с плоскостью XZ. Для этого в **Дереве операций** раскрываем папку «**Геометрия**». Далее нажимаем на кнопку «**Новый эскиз**» , далее переводим курсор мыши к надписи «**Плоскость XZ**» в **Дереве операций** и нажимаем один раз левой клавишей мыши.

Чертим отрезок, используя команду «**Рисовать отрезок**» . Переводим курсор в рабочее окно редактора. В панели инструментов «**Ручной ввод**» вводим первую точку отрезка $X=0$ $Y=0$. Далее указываем длину отрезка, для этого переходим к панели инструментов «**Ручной ввод**», где последовательным нажатием кнопки добиваемся активизации режима рисования отрезка по длине и углу - L: 35 A: 90 . Вводим с клавиатуры значение длины 35 и значение угла 180. Далее переводим курсор мыши в рабочее окно редактора и нажимаем левую кнопку мыши один раз, тем самым, фиксируя отрезок.

Чертим второй отрезок, используя команду **«Рисовать отрезок»** . Так как для построения предыдущего объекта использовалась аналогичная команда, то повторно на нее нажимать не имеет смысла (данный режим и так активизирован), более того курсор автоматически привязался к концу первого отрезка, что нас более чем устраивает. Далее указываем длину отрезка, для этого переходим к панели инструментов **«Ручной ввод»**, где последовательным нажатием кнопки  добиваемся, активизации режима рисования отрезка по длине и углу - . Вводим с клавиатуры значение длины 5 и значение угла 270. Далее переводим курсор мыши в рабочее окно редактора и нажимаем левую кнопку мыши один раз, тем самым, фиксируя отрезок.

Чертим третий отрезок, используя команду **«Рисовать отрезок»** . Так как для построения предыдущего объекта использовалась аналогичная команда, то повторно на нее нажимать не имеет смысла (данный режим и так активизирован), более того курсор автоматически привязался к концу второго отрезка. Далее указываем длину отрезка, для этого переходим к панели инструментов **«Ручной ввод»**, где последовательным нажатием кнопки  добиваемся, активизации режима рисования отрезка по длине и углу - . Вводим с клавиатуры значение длины 35 и значение угла 180. Далее переводим курсор мыши в рабочее окно редактора и нажимаем один раз левую кнопку мыши, тем самым, фиксируя отрезок.

Чертим четвертый отрезок, используя команду **«Рисовать отрезок»** . Так как для построения предыдущего объекта использовалась аналогичная команда, то повторно на нее нажимать не имеет смысла (данный режим и так активизирован), более того курсор автоматически привязался к концу третьего отрезка. Далее указываем длину отрезка, для этого переходим к панели инструментов **«Ручной ввод»**, где последовательным нажатием кнопки  добиваемся, активизации режима рисования отрезка по длине и углу - . Вводим с клавиатуры значение длины 10 и значение угла 90. Далее переводим курсор мыши в рабочее окно редактора и нажимаем один раз левую кнопку мыши, тем самым, фиксируя отрезок.

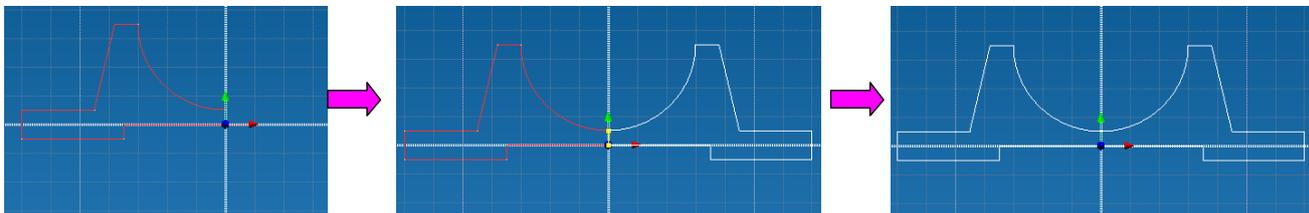
Чертим пятый отрезок, используя команду **«Рисовать отрезок»** . Так как для построения предыдущего объекта использовалась аналогичная команда, то повторно на нее нажимать не имеет смысла (данный режим и так активизирован), более того курсор автоматически привязался к концу четвертого отрезка. Далее указываем длину отрезка, для этого переходим к панели инструментов **«Ручной ввод»**, где последовательным нажатием кнопки  добиваемся, активизации режима рисования отрезка по длине и углу - . Вводим с клавиатуры значение длины 25 и значение угла 0. Далее переводим курсор мыши в рабочее окно редактора и нажимаем один раз левую кнопку мыши, тем самым, фиксируя отрезок.

Чертим шестой отрезок, используя команду **«Рисовать отрезок»** . Так как для построения предыдущего объекта использовалась аналогичная команда, то повторно на нее нажимать не имеет смысла (данный режим и так активизирован), более того курсор автоматически привязался к концу пятого отрезка. Далее указываем длину отрезка, для этого переходим к панели инструментов **«Ручной ввод»**, где последовательным нажатием кнопки  добиваемся, активизации режима рисования отрезка по координате второй точки - . Вводим с клавиатуры значение координаты X= -38 и значение координаты Y=35. Далее переводим курсор мыши в рабочее окно редактора и нажимаем один раз левую кнопку мыши, тем самым, фиксируя отрезок.

Чертим дугу, используя команду **«Дуга по центру, началу и углу»** . Далее переводим курсор в рабочее окно редактора. В панели инструментов **«Ручной ввод»** вводим первую точку отрезка X=0 Y=35. После этого указываем начало дуги. Для этого переходим к панели инструментов **«Ручной ввод»**, где последовательным нажатием кнопки  добиваемся, активизации режима задания точки по ее координате - . Вводим с клавиатуры значение координаты X= -30 и значение координаты Y=35. Осталось задать конечное положение угла дуги. Для этого переходим к панели инструментов **«Ручной ввод»**, где указываем значение 90. Далее переводим курсор мыши в рабочее окно редактора и нажимаем один раз левую кнопку мыши, тем самым, фиксируя дугу.

Чертим отрезок, используя команду **«Рисовать отрезок»** . Переводим курсор в рабочее окно редактора. Началом вновь создаваемого отрезка будет начало дуги, в связи с чем подводим курсор мыши к началу дуги и нажимаем один раз левую клавишу мыши. После этого переводим курсор мыши к концу шестого отрезка и нажимаем один раз левую клавишу мыши.

Создаем зеркальную копию ранее созданных объектов, с использованием команды **«Зеркальное отображение»** . Прежде чем непосредственно воспользоваться командой необходимо в режиме выбора выделяем все объекты находящиеся в активном Эскизе. После этого выбираем команду **«Зеркальное отображение»**. Далее необходимо указать начало линии симметрии. Для этого подводим курсор мыши к началу первого отрезка и нажимаем один раз левую клавишу мыши, тем самым, фиксируя её задание. После этого указываем вторую точку линии симметрии. Для этого подводим курсор мыши к концу дуги и нажимаем один раз левую клавишу мыши.



Выходим из созданного Эскиза. Для этого достаточно нажать один раз левой кнопкой мыши на команду **«Новый эскиз»** .

2. Используя операцию выталкивания, создаем твердое тело.

Для создания твердого тела выбираем команду **«Выталкивание»** . После чего указываем единственный на экране контур. Параметры выталкивания устанавливаем следующие – выталкивание в обе стороны на 60 с объединением. После чего нажимаем кнопку ОК диалогового окна **Выталкивание**.

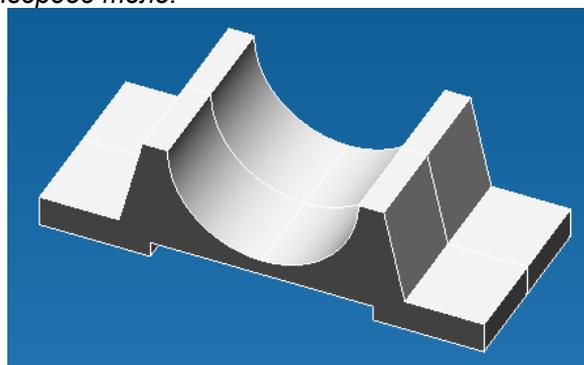
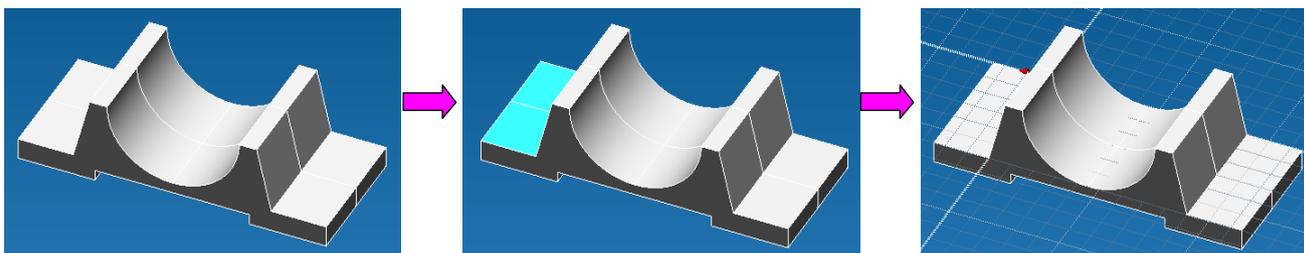


Рис. 4.2.3 Результат команды **Выталкивание**.

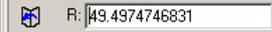
3. Создаем эскиз, совпадающий с плоскостью грани модели, где чертим четыре окружности.

3.1 Создаем **Эскиз**. Для этого нажимаем на кнопку **«Новый эскиз»** , далее переводим курсор мыши к одной из грани ранее созданной модели, и нажимаем один раз левой клавишей мыши.

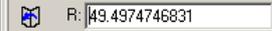


Чертим первую окружность, используя команду **«Рисовать окружность по центру и радиусу»** . Переводим курсор в рабочее окно редактора. В панели инструментов **«Ручной ввод»** вводим центральную точку окружности $X=15$ $Y=10$. Далее указываем радиус окружности величиной $R=5$, для этого переходим к панели инструментов **«Ручной ввод»** последовательным нажатием кнопки  добиваемся активизации следующего режима -  R: [49.4974746831], где и вводим с клавиатуры значения 5. Далее переводим курсор мыши в рабочее окно редактора и нажимаем левую кнопку мыши, тем самым, фиксируя окружность.

Чертим вторую окружность, используя команду **«Рисовать окружность по центру и радиусу»** . Переводим курсор в рабочее окно редактора. В панели инструментов **«Ручной ввод»** вво-

дим центральную точку окружности $X=15$ $Y=50$. Далее указываем радиус окружности величиной $R=5$, для этого переходим к панели инструментов «**Ручной ввод**» последовательным нажатием кнопки  добиваемся активизации следующего режима  -  R: [49.4974746831], где и вводим с клавиатуры значения 5. Далее переводим курсор мыши в рабочее окно редактора и нажимаем левую кнопку мыши, тем самым, фиксируя окружность.

Чертим третью окружность, используя команду «Рисовать окружность по центру и радиусу» . Переводим курсор в рабочее окно редактора. В панели инструментов «**Ручной ввод**» вводим центральную точку окружности $X=-105$ $Y=10$. Далее указываем радиус окружности величиной $R=5$, для этого переходим к панели инструментов «**Ручной ввод**» последовательным нажатием кнопки  добиваемся активизации следующего режима  -  R: [49.4974746831], где и вводим с клавиатуры значения 5. Далее переводим курсор мыши в рабочее окно редактора и нажимаем левую кнопку мыши, тем самым, фиксируя окружность.

Чертим четвертую окружность, используя команду «Рисовать окружность по центру и радиусу» . Переводим курсор в рабочее окно редактора. В панели инструментов «**Ручной ввод**» вводим центральную точку окружности $X=-105$ $Y=50$. Далее указываем радиус окружности величиной $R=5$, для этого переходим к панели инструментов «**Ручной ввод**» последовательным нажатием кнопки  добиваемся активизации следующего режима  -  R: [49.4974746831], где и вводим с клавиатуры значения 5. Далее переводим курсор мыши в рабочее окно редактора и нажимаем левую кнопку мыши, тем самым, фиксируя окружность.

Выходим из созданного Эскиза. Для этого достаточно нажать один раз левой кнопкой мыши на команду «**Новый эскиз**» .

4. Используя операцию выталкивания с вычитанием, создаем четыре присоединительных отверстия.

4.1 Создаем первое присоединительное отверстие. Для этого выбираем команду «**Выталкивание**» . После чего указываем в качестве контура первую окружность. Параметры выталкивания устанавливаем следующие – выталкивание в обе стороны на 60 с вычитанием. После чего нажимаем кнопку ОК диалогового окна **Выталкивание**.

4.2 Создаем второе присоединительное отверстие. Для этого выбираем команду «**Выталкивание**» . После чего указываем в качестве контура вторую окружность. Параметры выталкивания устанавливаем следующие – выталкивание в обе стороны на 60 с вычитанием. После чего нажимаем кнопку ОК диалогового окна **Выталкивание**.

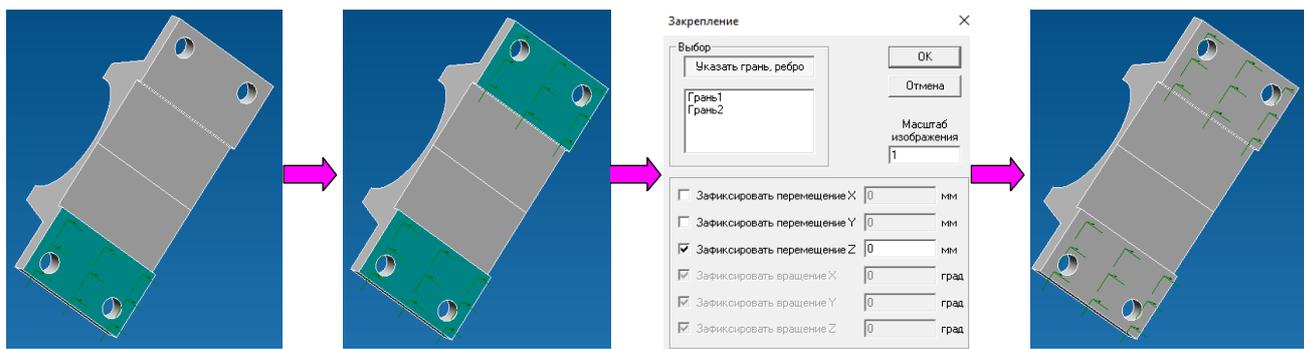
4.3 Создаем третье присоединительное отверстие. Для этого выбираем команду «**Выталкивание**» . После чего указываем в качестве контура третью окружность. Параметры выталкивания устанавливаем следующие – выталкивание в обе стороны на 60 с вычитанием. После чего нажимаем кнопку ОК диалогового окна **Выталкивание**.

4.4 Создаем четвертое присоединительное отверстие. Для этого выбираем команду «**Выталкивание**» . После чего указываем в качестве контура четвертую окружность. Параметры выталкивания устанавливаем следующие – выталкивание в обе стороны на 60 с вычитанием. После чего нажимаем кнопку ОК диалогового окна **Выталкивание**.

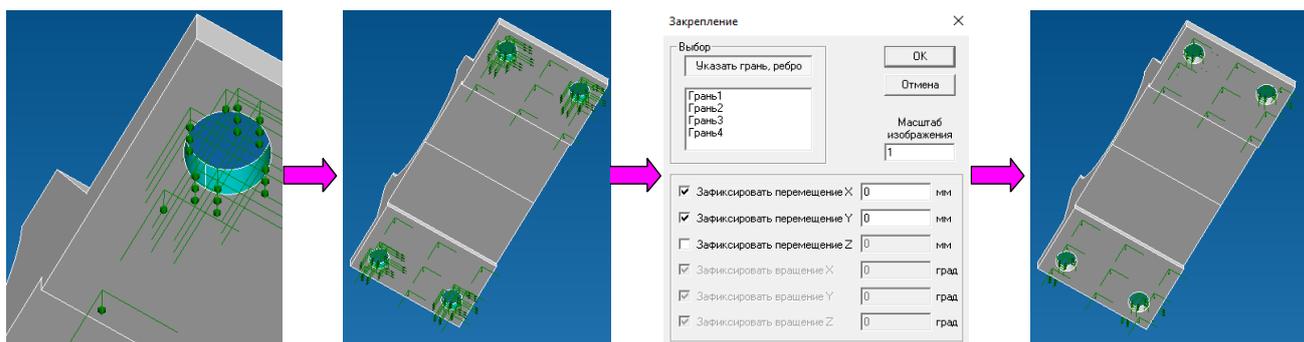
5. В режим конечно-элементного анализа указываем опоры и прикладываем нагрузку.

5.1 Переходим в режим конечно-элементный анализ. Для этого выбираем команду **Создание нового файла конечно-элементного анализа**  (или меню Файл / Конечно-элементный анализ) комбинация клавиш: **Ctrl+O**.

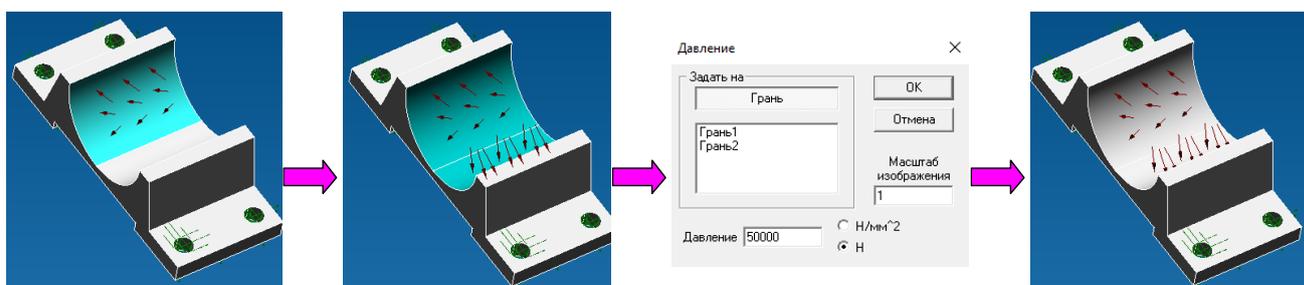
5.2 Устанавливаем опоры. Для этого выбираем команду **Установить закрепление** . Далее переводим курсор мыши в рабочее окно редактора и указываем нижние грани. Чтобы указать первую грань необходимо подвести к нему курсор мыши и нажать один раз левой клавишей, после чего она будет выбрана. Аналогичным образом выбираем и вторую нижнюю грань. После этого в диалоговом окне **Закрепление** фиксируем перемещения по оси Z и нажимаем кнопку ОК.



Далее снова выбираем команду **Установить закрепление**  и переводим курсор мыши к присоединительным отверстиям. Далее указываем внутренние поверхности и фиксируем перемещения по осям X и Y. После чего нажимаем кнопку ОК диалогового окна **Закрепление**.

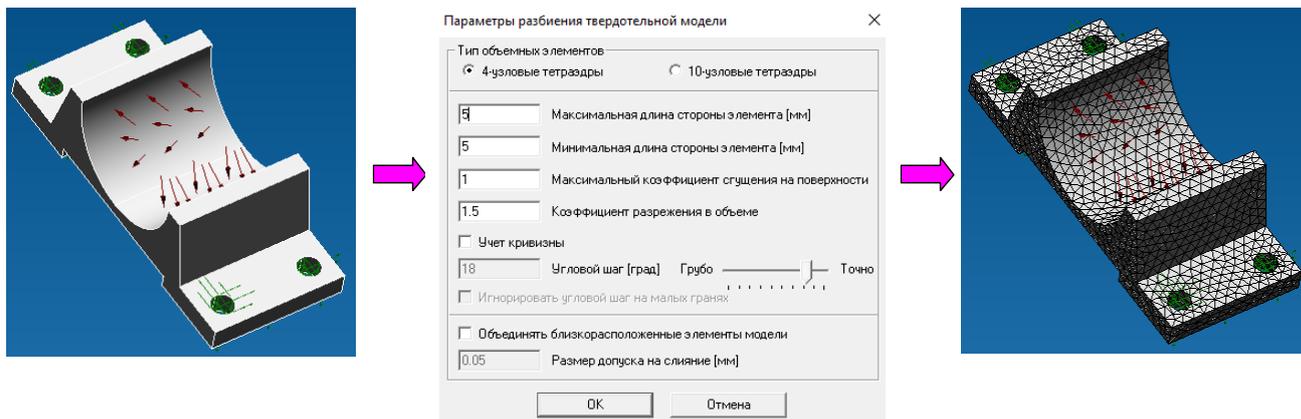


5.3 Прикладываем силы. Для этого выбираем команду **Приложить давление** . После этого переводим курсор мыши в рабочее окно редактора и указываем поверхности образованные дугами. Для этого подводим курсор мыши к поверхности и нажимаем один раз левой кнопкой мыши, после чего будет выбрана первая поверхность. Аналогичным образом выбираем и вторую поверхность. После этого в диалоговом окне **Давление** активизируем режим задание нагрузки в Ньютонах, вводим значение 50 000 и нажимаем кнопку ОК.



6. Полученную модель разбиваем на конечные элементы.

Для генерации конечно-элементной сетки достаточно нажать на кнопку **Создать конечно-элементную сетку** . В появившемся диалоговом окне указываем **Шаг разбивки** равный 5, после чего нажимаем кнопку ОК диалогового окна **Параметры разбивки**.



7. Проведение прочностного расчета в *APM Studio*.

После генерации конечно-элементной сетки выбираем команду **Расчет / Расчет...** В появившемся диалоговом окне выбираем тип расчета: статический. После проведения расчета доступны результаты: команда **Результаты / Карта результатов...** В появившемся диалоговом окне в выпадающем списке выбираем результаты для просмотра: напряжения. Карты результатов доступны для просмотра непосредственно в *APM Studio*.

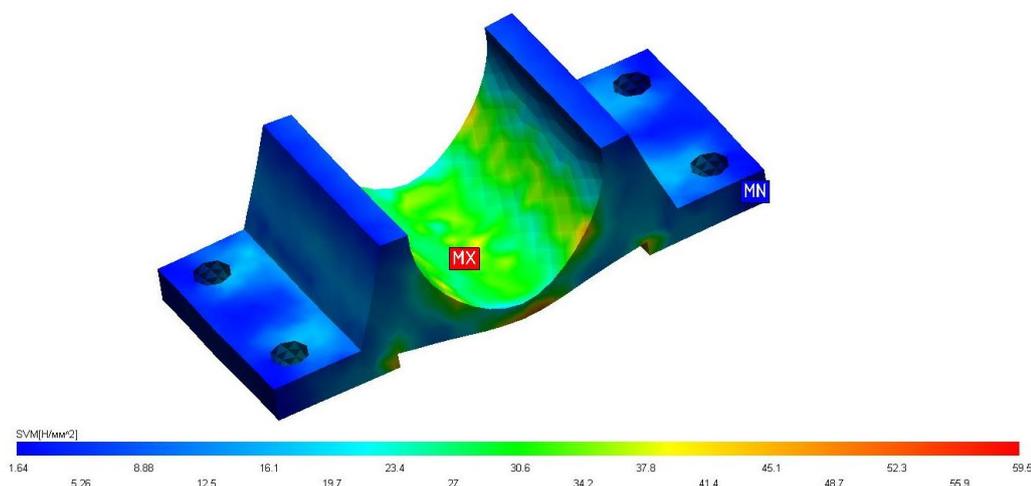


Рис. 4.2.4 Карта напряжений [МПа] в системе *APM Studio*.

8. Передача конечно-элементной сетки в *APM Structure3D*.

APM Structure3D позволяет проводить расчет моделей, включающих комбинацию стержневых, пластинчатых и объемных элементов, конечно-элементная сетка с закреплениями, совместными перемещениями и нагрузками может быть передана для последующего редактирования и расчета в модуль *APM Structure3D*. Передача конечно-элементной сетки осуществляется нажатием кнопки **Передать конечно-элементную сетку в *APM Structure3D***  (или меню Файл/Передать КЭ сетку в *APM Structure3D*). После чего автоматически откроется модуль конечно-элементного анализа *APM Structure3D*, в котором будет находиться ранее созданная модель – рис. 4.2.4.

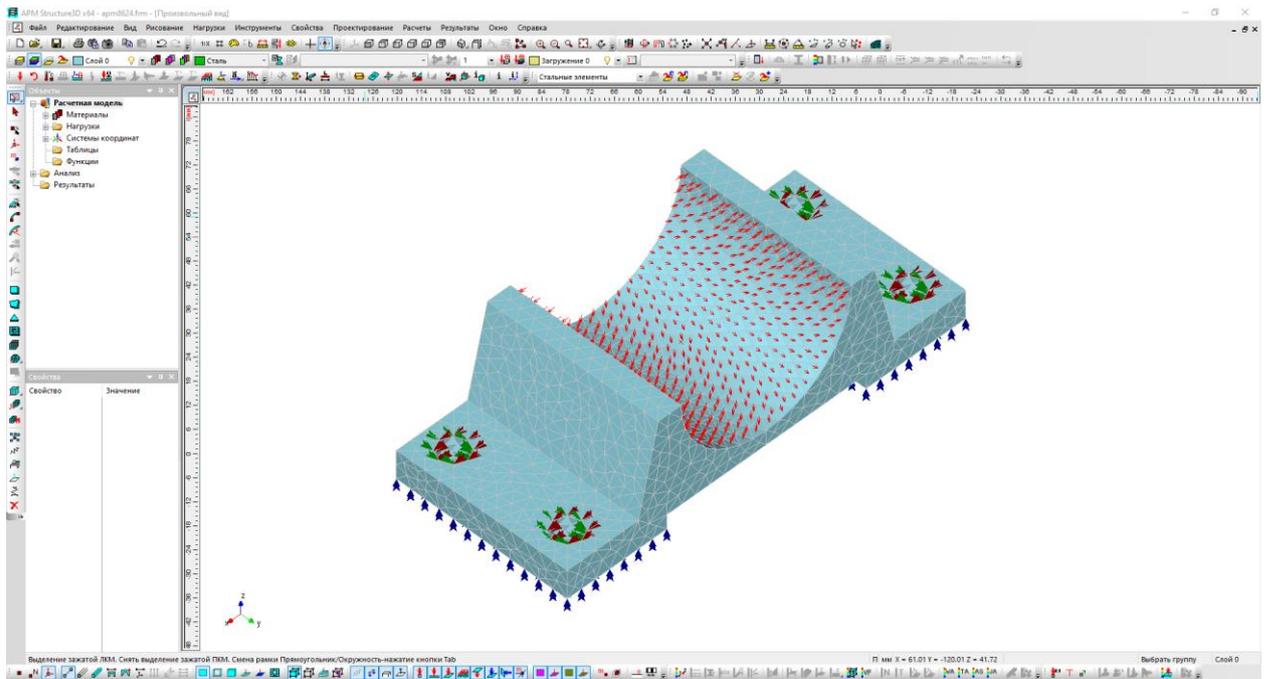


Рис. 4.2.5 Модель опоры подшипника качения в модуле APM Structure3D

4.3 Особенности создания сборок в *APM Studio*

Создание документа конечно-элементного анализа сборки осуществляется с помощью кнопки  панели инструментов Файл или соответствующей команды меню Файл.

4.3.1 Добавление/удаление детали

В новом документе можно добавлять / удалять детали (модели *APM Studio*).

Добавить деталь можно двумя способами:

1) нажать правую клавишу мыши в поле модели и выбрать в контекстном меню команду Добавить деталь... (рис. 4.3.1).

2) выбрать в дереве модели конечно-элементный анализ сборки, нажать правую клавишу мыши и выбрать в контекстном меню соответствующую команду (рис. 4.3.2).

Удалить деталь можно, предварительно выбрав ее в дереве модели, с помощью соответствующей команды контекстного меню (рис. 4.3.3).

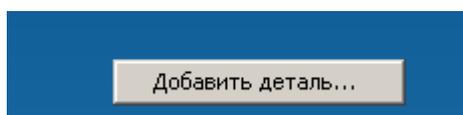


Рис. 4.3.1. Добавление детали в сборку.

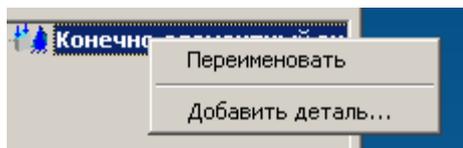


Рис. 4.3.2 Добавление детали в дерево сборки.

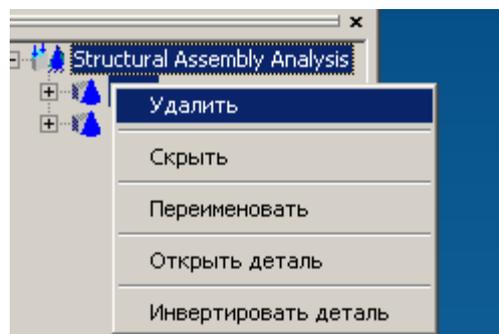


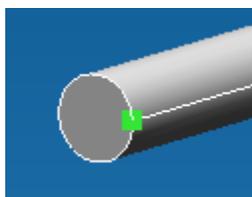
Рис. 4.3.3 Удаление детали из сборки.

4.3.2 Работа с локальной системой координат

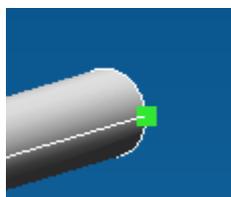
Локальные системы координат (ЛСК) нужны для позиционирования деталей относительно друг друга. Для этого необходимо создать подходящие по смыслу ЛСК на деталях, требующих позиционирования. Возможно создание нескольких ЛСК для одной детали. Дальнейшее позиционирование деталей производится посредством совмещения, перемещения или вращения ЛСК.

Задание локальной системы координат

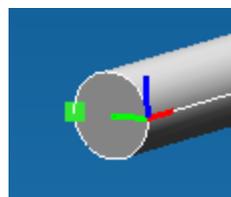
В этом режиме нужно указать деталь, потом, последовательно, точки начала и направления осей X, Y (рис. 4.3.4). Направление оси Z определяется автоматически так, чтобы ЛСК была правой. В созданной ЛСК цветами обозначены оси x (красный), y (зеленый), z (синий). Для справки можно посмотреть на отображение глобальной системы координат в левом нижнем углу экрана.



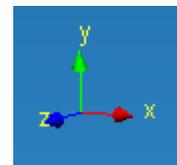
Выбор начала координат



Выбор вектора оси X



Выбор вектора оси Y



Соответствие цвета осям координат.

Рис. 4.3.4 Порядок задания локальной системы координат.

Совмещение локальных систем координат

Указываем первую ЛСК, потом вторую – детали позиционируются так, чтобы их ЛСК были совмещены. Существует также возможность позиционирования не только двух деталей путем совмещения их ЛСК, а подборок целиком, в которые входят эти детали.

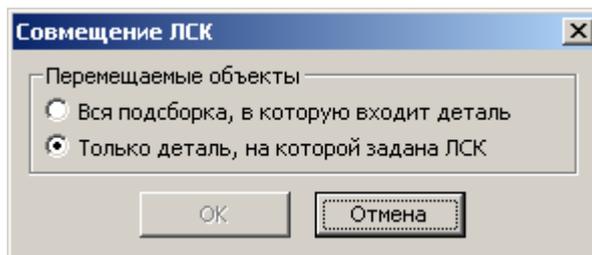


Рис. 4.3.5 Диалоговое окно при совмещении ЛСК.

Перемещение локальной системы координат

Сначала необходимо указать ЛСК, потом задать параметры перемещения.

Основной параметр – вектор смещения. Его можно задать относительно Глобальной Системы Координат или Локальной (рис. 4.3.6 – 4.3.7).

Во втором случае нужно указать ЛСК, относительно которой будет отсчитываться вектор смещения. В качестве ЛСК можно указывать исходную перемещаемую ЛСК. В этом случае перемещение будет производиться в рамках исходной ЛСК, соответственно, относительно нее.

В обоих случаях можно взять вектор с чертежа, путем указания начальной и конечной точки вектора.

В любом режиме правой кнопкой мыши откатываемся на предыдущую стадию.

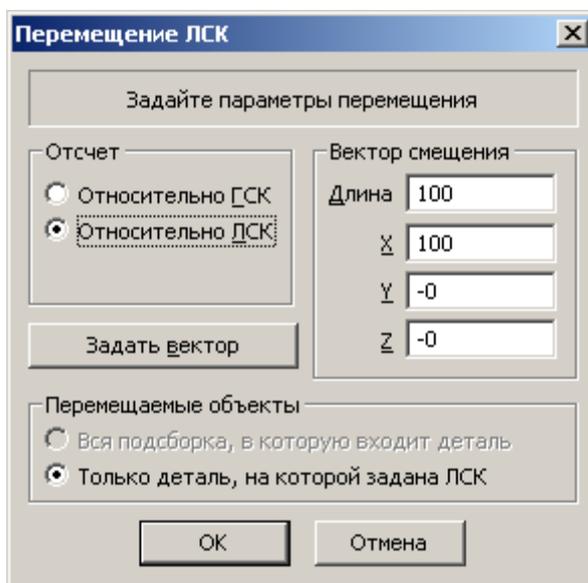


Рис. 4.3.6 Диалоговое окно Перемещение ЛСК.

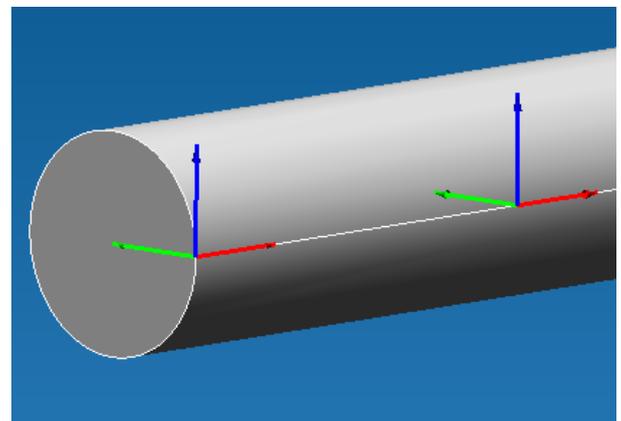


Рис. 4.3.7 Результат перемещения ЛСК.

Существует также возможность переместить всю подборку целиком, а не только отдельную деталь.

Поворот локальной системы координат

Сначала необходимо указать ЛСК, потом задать параметры вращения.

Основной параметр – углы вращения. Если задан не один угол, то вращение производится в порядке: сначала вокруг Z, потом Y, потом X. Угол можно задать относительно Глобальной Системы Координат или Локальной (рис. 4.3.8 – 4.3.9).

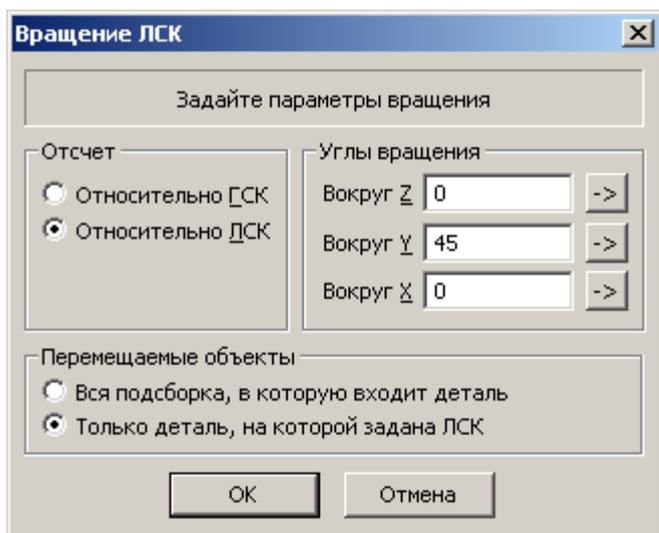


Рис. 4.3.8 Диалоговое окно Вращение ЛСК.

Во втором случае нужно указать ЛСК, относительно которой будет происходить вращение. В качестве ЛСК можно указывать исходную вращаемую ЛСК. В этом случае вращение будет производиться в рамках исходной ЛСК, соответственно, относительно нее.

Существует также возможность повернуть всю подборку целиком, а не только отдельную деталь.

В обоих случаях можно взять углы с чертежа, путем указания начальной и конечной точек первого вектора и начальной и конечной точек второго вектора (рис. 4.3.10). При этом при определении угла точки проецируются на плоскость, нормальную к оси, относительно которой происходит вращение.

В любом режиме правой кнопкой мыши откатываемся на предыдущую стадию

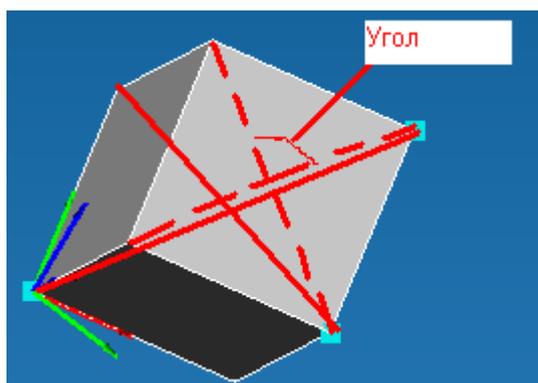


Рис. 4.3.10 Задание угла поворота векторами.

4.3.3 Связывание деталей через контактные зоны

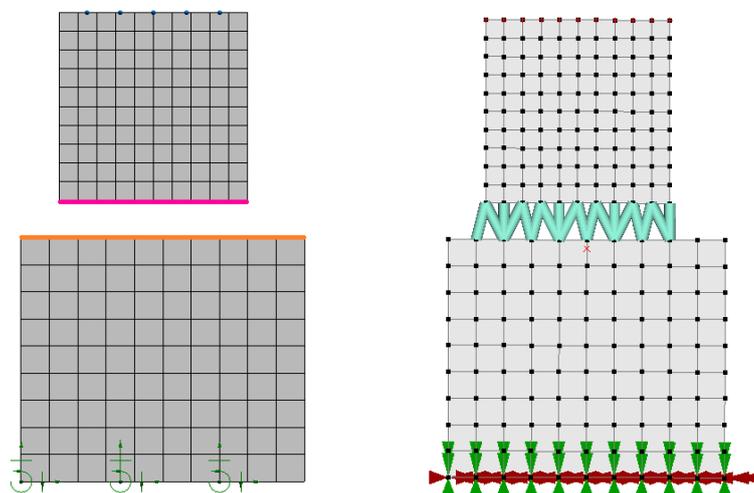
Контактные зоны используются для связывания деталей в сборке и для задания условий контакта в контактных задачах. Контактные зоны могут быть созданы на парах: грань – грань, ребро – грань, ребро – ребро.

Используются следующие типы контакта в контактных зонах:

- **Жесткий** – смещения деталей в контактной зоне друг относительно друга вызывает деформации контактирующих деталей. Определяется нормальной и тангенциальной жесткостями. При расчете жесткости определяются автоматически через жесткости контактирующих элементов;
- **Скользкий** – допускает возможность перемещения одной детали относительно другой в зоне контакта в касательной плоскости. Определяется нормальной жесткостью, которая определяется автоматически через жесткости контактирующих элементов;
- **Вариант пользователя** – определяется нормальной и тангенциальной жесткостями, которые задаются «вручную».
- **Склейка** – тип аналогичный жесткому контакту. Имеет на несколько порядков большую жесткость и в отличие от жесткого контакта в нелинейных расчетах обеспечивает связь деталей независимо от того, есть между ними реальный контакт или нет.
- **Совпадающая сетка** – в контактной зоне на контактных деталях строится совпадающая сетка, при этом детали работают как единое целое. Контактная зона «Совпадающая сетка» накладывает более жесткие ограничения на точность расположения деталей друг относительно дру-

га(допустимый зазор/проникновение). Параметр «Радиус» рекомендуется выставлять значительно меньше размеров минимальных ребер в зоне контакта.

- **Балочный контакт** – каждый узел контактной зоны свяжется с узлами целевой зоны, находящимися на расстоянии не более параметра «Радиус поиска» через стержневой элемент. Радиус сечения стержневого элемента задается параметром «Радиус сечения». Рекомендуется использовать этот тип контактной зоны, если другие типы использовать не представляется возможным. Например, когда детали находятся на существенном расстоянии друг от друга. Пример расчетной модели при использовании балочного контакта представлен ниже (Исходная модель с наложенной сеткой слева, расчетная КЭ модель справа).



Параметры контактных зон

Радиус – участвует в автоматическом поиске контактных граней. Между гранями, находящимися на расстоянии меньшем заданного радиуса создаются контактные зоны при автоматическом поиске (кнопка *Start*). Кроме того этот параметр используется при создании контактных элементов для связывания деталей в сборке. Если расстояние между контактным узлом и целевой площадкой из одной зоны меньше данного параметра, то контактный элемент не создается. Такой алгоритм используется в анализах, не связанных с контактной задачей, например в статике, где контактные зоны используются для связывания деталей в сборке, или для типа «склейка».

Нормальная и Касательная жёсткости – жесткостные характеристики фиктивных элементов, связывающих контактирующие детали. Предпочтительно выбирать жёсткость близкую по величине к жёсткости поверхностного слоя контактирующих деталей.

Максимальный зазор – параметр точности, указывающий максимальный зазор, при котором считать, что детали находятся в контакте. Этот параметр актуален при расчетах, включающих учет реального контакта между деталями. Во многих контактных задачах важно, чтобы на первом шаге расчета/в начальный момент времени детали уже находились в контакте. При моделировании часто детали из-за математических погрешностей находятся на некотором, пусть и небольшом расстоянии друг от друга. Этот параметр позволяет устранить указанную проблему. Рекомендуется задавать его не нулевым, например 0.001, в контактных задачах.

Глава 5. Особенности работы с моделями, импортированными из форматов STEP

5.1 Работа с деталью

Ранее созданную модель в формате STEP необходимо открыть в редакторе *APM Studio*, для этого необходимо обратиться в меню Файл/Импорт и нажать один раз левую клавишу мыши. После этого перед Вами появится стандартное диалоговое окно Открыть. В данном окне в качестве типа файла указываем **STEP файлы (*.stp, *step, *.ste)**, после чего указываете путь к ранее созданному «степовскому» файлу. Далее нажимаете кнопку **Открыть** и перед Вами появится диалоговое окно **Заголовок STEP файла** (рис. 5.1.1).

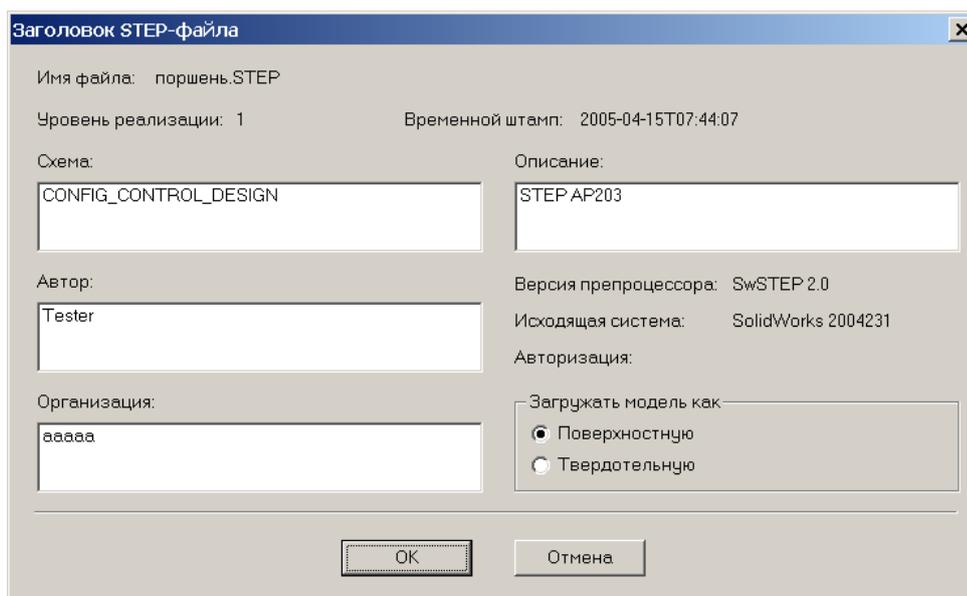


Рис. 5.1.1 Диалоговое окно Заголовок STEP-файла.

В данном диалоговом окне Вы можете ознакомиться по какой схеме, кто, из какой организации и из какого трехмерного редактора сохранили данную модель. После этого Вам необходимо выбрать в каком трехмерном представлении данная модель будет интерпретирована в модуле *APM Studio*. Предполагается два возможных варианта:

- поверхностная модель, в которой исходный объем будет представлен как набор ограничивающих поверхностей без внутреннего заполнения материалом
- твердотельная модель, в которой исходный объем будет представлен как набор ограничивающих поверхностей, внутри заполненный материалом.

После чего необходимо нажать кнопку ОК диалогового окна Заголовок STEP-файла. На экране перед Вами появится диалоговое окно Импорт модели рис. 5.1.2.



Рис. 5.1.2 Диалоговое окно Импорт модели.

Через некоторое время в рабочем окне редактора появится трехмерная модель. После этого Вам необходимо перейти в режим конечно-элементного анализа, где Вы сможете приложить силы и опоры. Далее необходимо разбить модель на конечные элементы и передать полученную конечно-элементную сетку в модуль *APM Structure3D* и провести необходимые виды расчета.

5.2 Работа со сборкой

Ранее созданную модель в формате STEP необходимо открыть в редакторе *APM Studio*, для этого необходимо обратиться в меню Файл/Импорт и нажать один раз левую клавишу мыши. После этого перед Вами появится стандартное диалоговое окно Открыть. В данном окне в качестве типа файла указываем **STEP файлы (*.stp, *step, *.ste)**, после чего указываете путь к ранее созданному «степовскому» файлу. Далее нажимаете кнопку **Открыть** и перед Вами появится диалоговое окно **Заголовок STEP файла** (рис. 5.2.1).

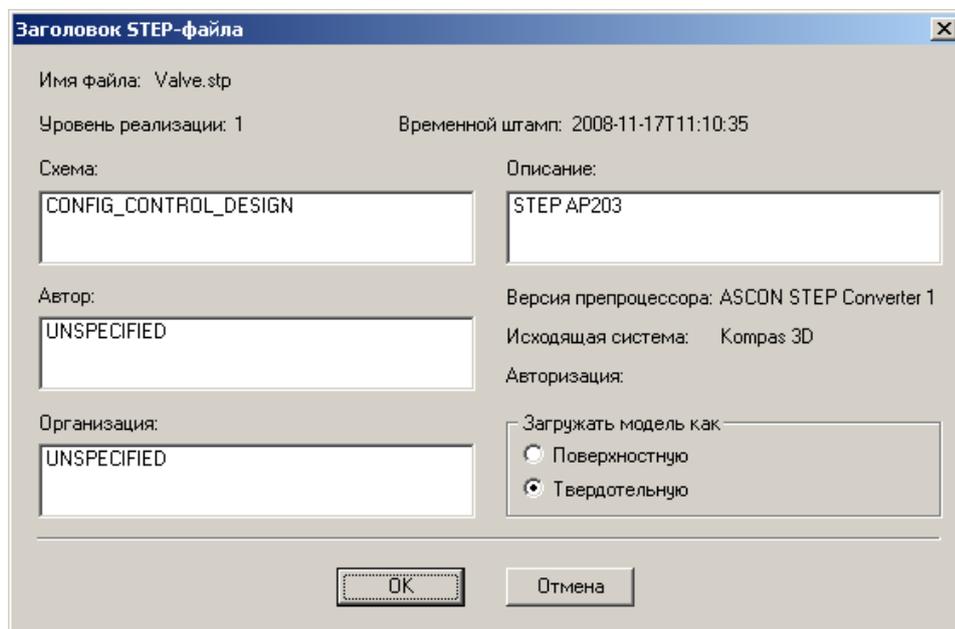


Рис. 5.2.1 Диалоговое окно Заголовок STEP-файла.

В данном диалоговом окне Вы можете ознакомиться по какой схеме, кто, из какой организации и из какого трехмерного редактора сохранили данную модель. После этого Вам необходимо выбрать в каком трехмерном представлении данная модель будет интерпретирована в модуле *APM Studio*. Предполагается два возможных варианта:

- поверхностная модель, в которой исходный объем будет представлен как набор ограничивающих поверхностей без внутреннего заполнения материалом
- твердотельная модель, в которой исходный объем будет представлен как набор ограничивающих поверхностей, внутри заполненный материалом.

После чего необходимо нажать кнопку ОК диалогового окна Заголовок STEP-файла. На экране перед Вами появится диалоговое окно Импорт STEP-модели рис. 5.2.2.

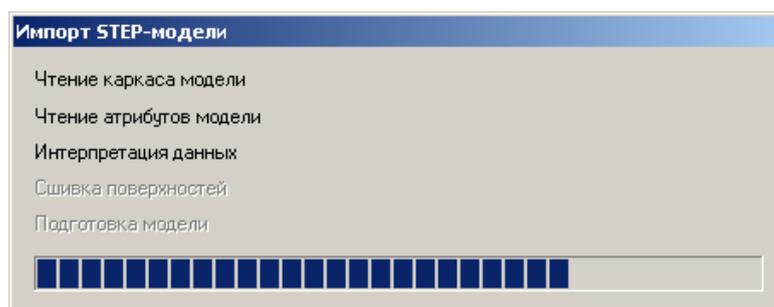


Рис. 5.2.2 Диалоговое окно Импорт STEP-модели.

Через некоторое время в рабочем окне редактора появится трехмерная модель рис. 5.2.3. Далее необходимо указать какие элементы сборки Вы хотите рассмотреть.

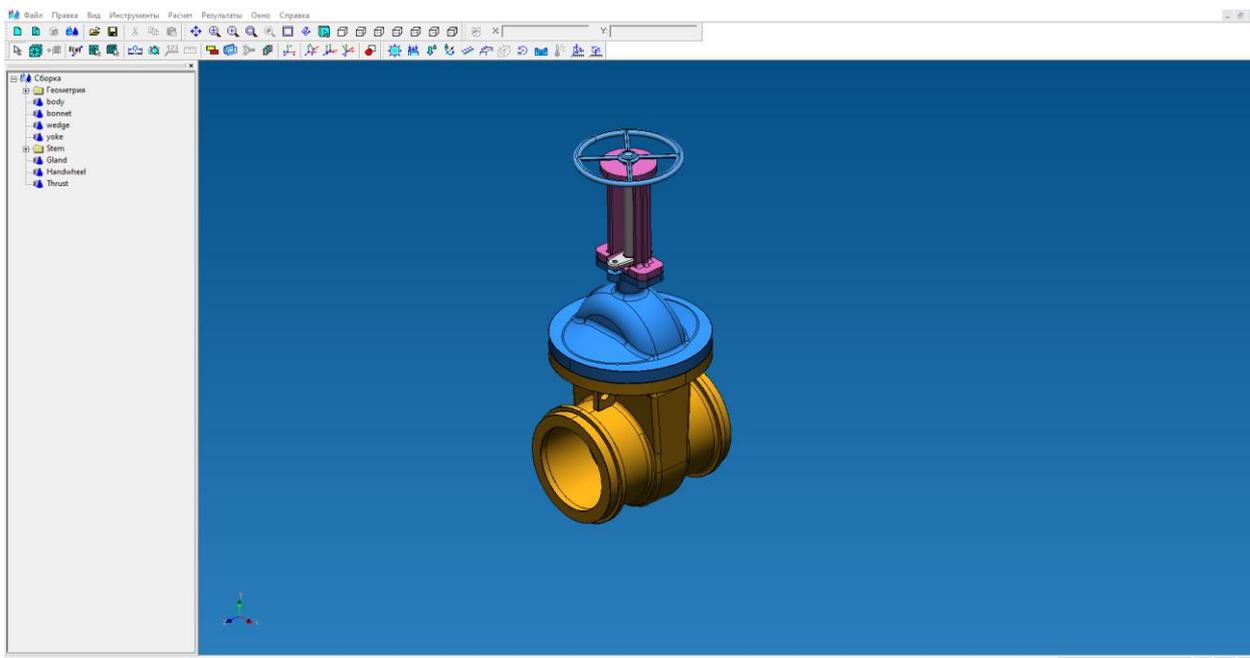


Рис. 5.2.3 Импортированная сборка.

Если интересует какая-то часть, то все не интересующие элементы необходимо Скрыть и тогда они не будут разбиваться на конечные элементы и не будут рассчитываться рис. 5.2.4.

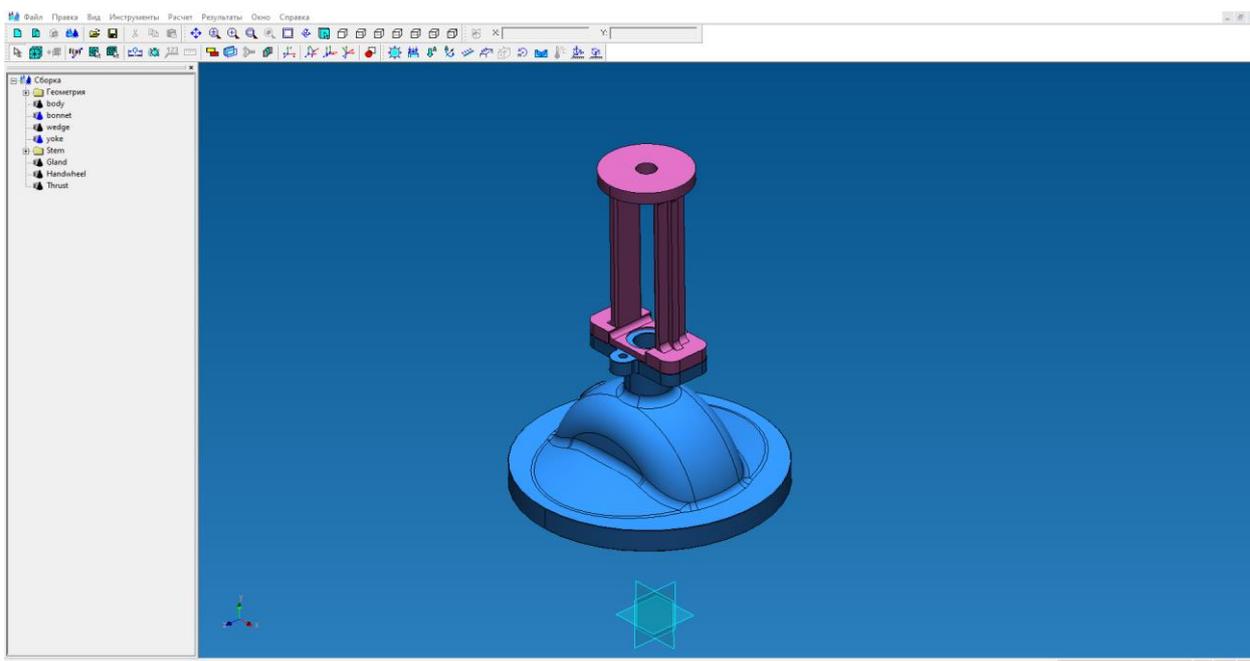


Рис. 5.2.4 Импортированная сборка с некоторыми скрытыми элементами.

На следующем этапе надо указать, каким образом сборочные единицы связаны друг с другом. Для этого достаточно воспользоваться командой «Задать совпадающие грани» нажав на пиктограмму . После нажатия перед Вами появится диалоговое окно Совпадающие грани рис. 5.2.5.

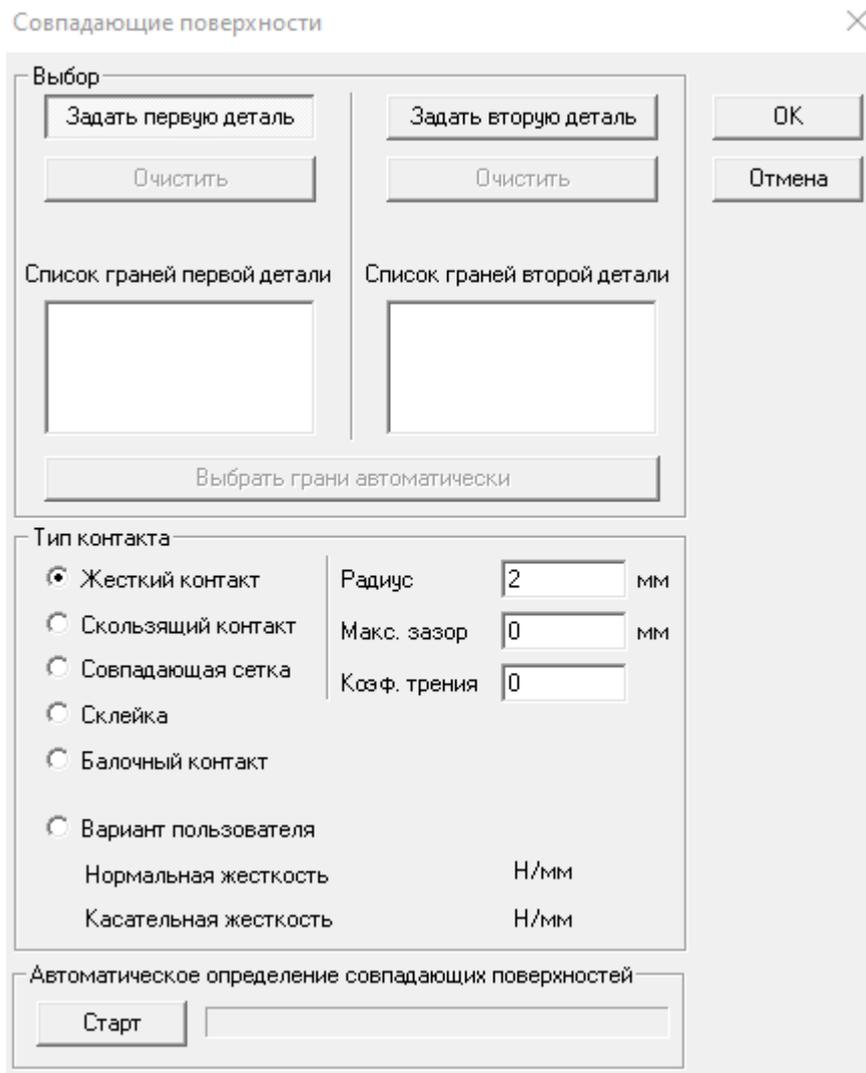


Рис. 5.2.5 Диалоговое окно Совпадающие грани.

Режим задания совпадающих граней может быть автоматический и ручной. Для автоматического поиска всех совпадающих граней нажмите кнопку **Старт**, расположенную в нижней части диалогового окна. После автоматического поиска все совпадающие грани будут размещены в дереве модели. Нажав кнопку **выбрать**, Вы в дереве модели можете указать совпадающие грани. При этом они подсвоятся на самой модели. Таким образом, можно проконтролировать все автоматически созданные совпадающие грани. Для редактирования совпадающих граней нажмите правую клавишу мыши в дереве модели и в контекстном меню выберите команду **Редактировать объект...** В появившемся диалоговом окне Вы можете перезадать совпадающие грани как это описано для ручного режима задания совпадающих граней.

!!! Замечание. При нажатии на кнопку **Старт** программа определяет ВСЕ пары контактирующих деталей и выделяет ВСЕ грани. Т.е. фактически все поверхности одной детали контактируют со всеми поверхностями другой детали, что практически невозможно. Далее необходимо для каждой совпадающей грани удалить не контактирующие поверхности. Для удаления грани выберите ее в списке (грань подсветится на модели) и нажмите клавишу **Delete** на клавиатуре.

Ручной режим задания совпадающих граней проходит в два этапа: 1) задание пары деталей; 2) задание всех совпадающих граней для выбранной пары деталей. Эту операцию необходимо повторить для всех пар контактирующих деталей.

Для выбора пары деталей в данном окне необходимо нажать кнопку **Задать первую деталь** и указать первый элемент сборочной единицы. После этого на экране останется указанная деталь, а все остальные элементы сборки станут полупрозрачными рис. 5.2.6.

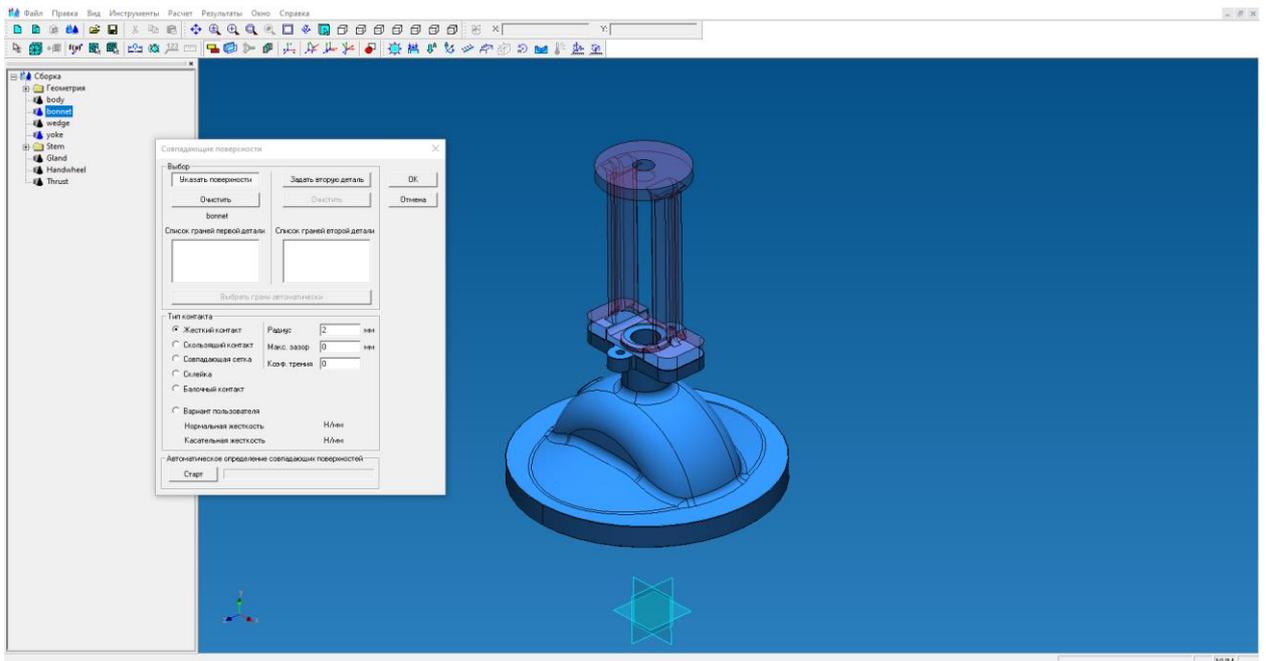


Рис. 5.2.6 Указана первая деталь.

Далее указываем вторую деталь. Для этого нажимаем на кнопку **Задать вторую деталь** в диалоговом окне *Совпадающие грани*. Сразу после активизации кнопки все полупрозрачные детали станут видны в явном виде, и необходимо подвести курсор мыши ко второй детали и нажать один раз левую клавишу мыши рис. 5.2.7.

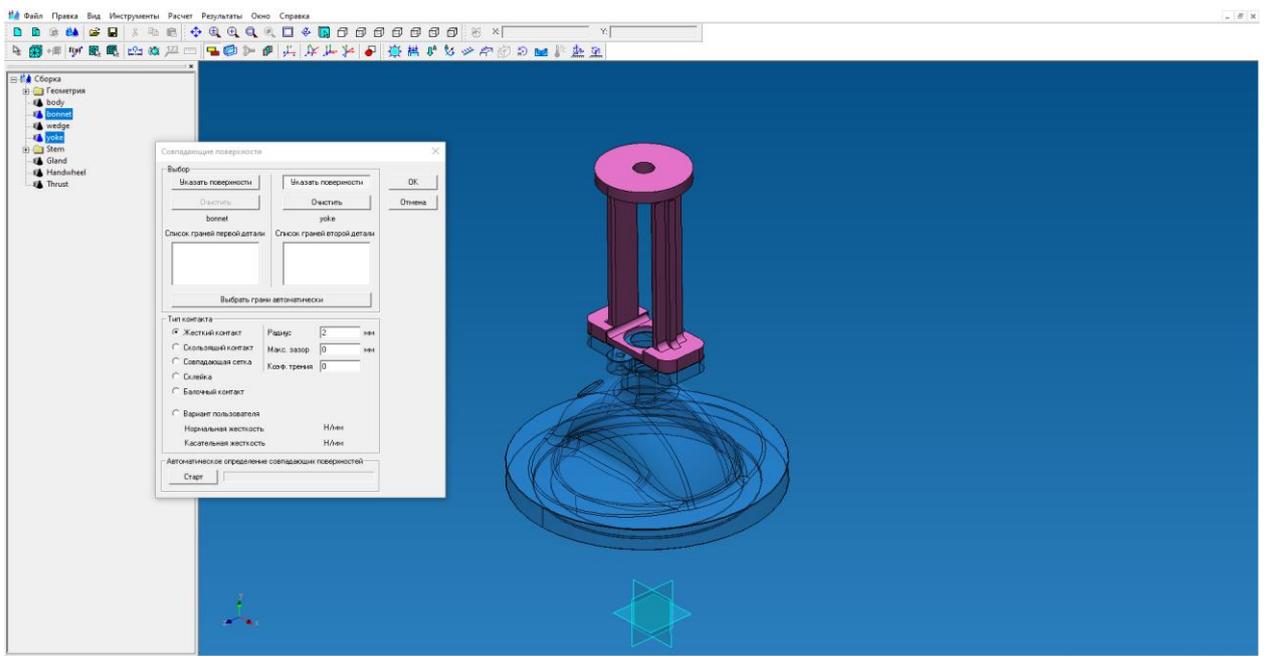


Рис. 5.2.7 Указана вторая деталь.

После указания пары деталей необходимо указать те поверхности, которые находятся в контакте. Для этого необходимо, во-первых, нажать кнопку **Указать поверхности** первой детали. При этом все детали, кроме выбранной, станут полупрозрачными. Далее необходимо указать поверхности на модели. Для этого достаточно подвести курсор к интересующей поверхности, и нажать один раз левой клавишей мыши. Необходимо указать все поверхности находящиеся в контакте рис. 5.2.8.

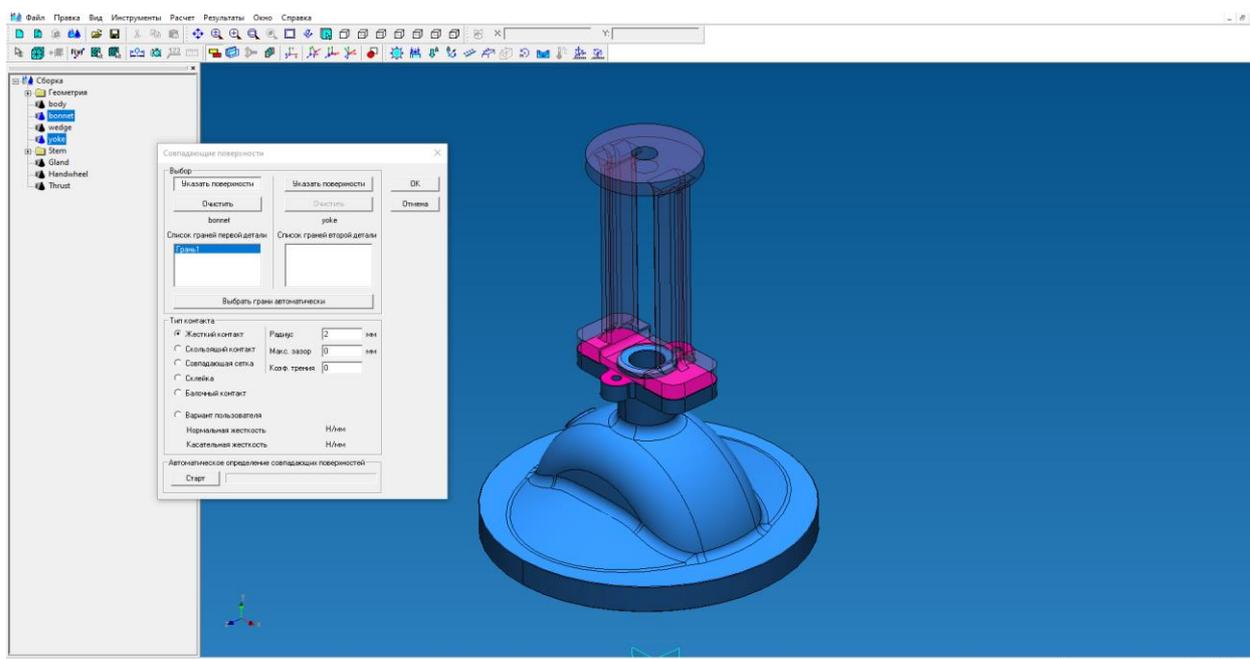


Рис. 5.2.8 Задание граней первой детали.

После необходимо указать те поверхности второй детали, которые находятся в контакте с первой деталью. Для этого необходимо нажать кнопку **Указать поверхности** второй детали. При этом все детали, кроме выбранной, станут полупрозрачными. Далее необходимо указать поверхности на модели. Для этого достаточно подвести курсор к интересующей поверхности, и нажать один раз левой клавишей мыши. Необходимо указать все поверхности находящиеся в контакте рис. 5.2.9.

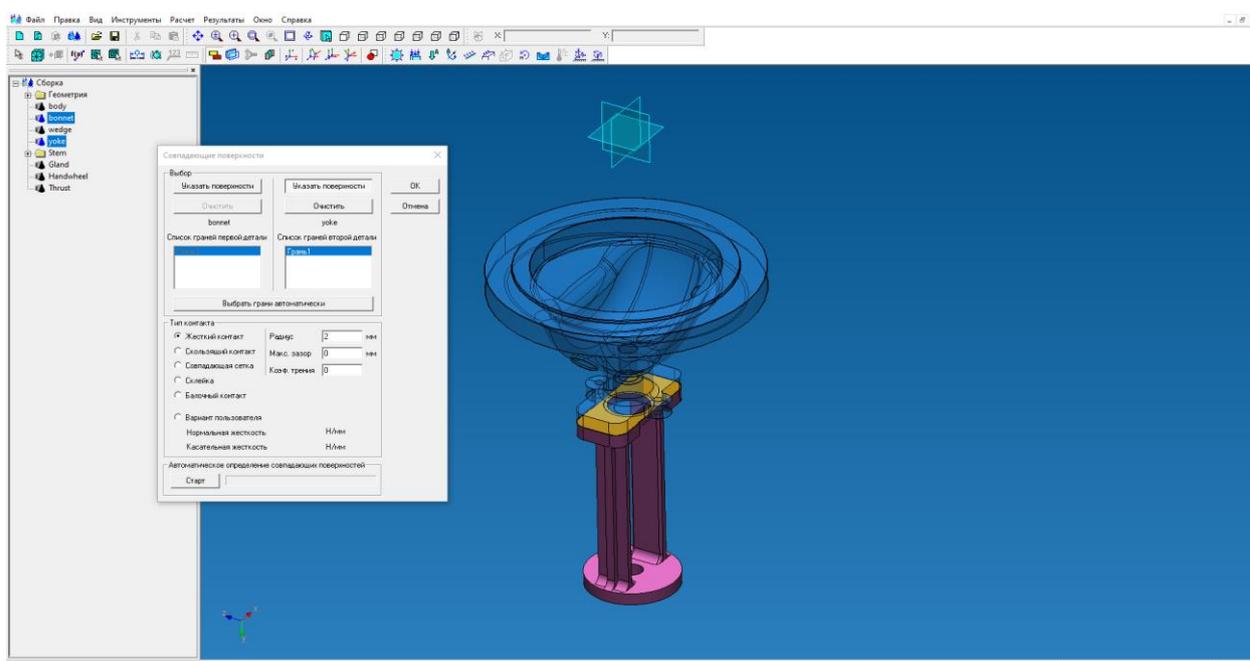


Рис. 5.2.9 Задание граней второй детали.

Для ускорения выбора совпадающих граней можно воспользоваться кнопкой **Выбрать грани автоматически**.

!!! Замечание. При нажатии на кнопку **Выбрать грани автоматически** программа определяет ВСЕ грани. Т.е. фактически все грани одной детали контактируют со всеми гранями другой детали, что практически невозможно. Далее необходимо удалить не контактирующие грани. Для удаления грани выберите ее в списке (грань подсветится на модели) и нажмите клавишу **Delete** на клавиатуре.

Заключительным этапом является указание типа контакта, в каком направлении две выбранные детали перемещаются совместно. В показанном на рисунках примере соединение можно смоделировать как жесткий контакт между двумя поверхностями. Далее нажимаем кнопку *OK* диалогового окна *Совпадающие грани*.

Аналогичным образом необходимо указать совпадающие грани для всех элементов сборки, в противном случае Вы получите не связанную модель.

После этого Вам необходимо перейти в режим конечно-элементного анализа, где Вы сможете задать силы и опоры. Далее необходимо разбить модель на конечные элементы и провести необходимые виды расчетов, используя команды меню *Расчет*, или передать полученную конечно-элементную сетку в модуль *APM Structure3D*.