

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
**Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Лешихина И. Е.**  
**Пирогова М.А.**

**Сборник лабораторных работ**  
**по курсу**  
**ИНЖЕНЕРНАЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА, часть 2**

**Лабораторная работа №6. Трехмерные твердотельные модели в системе  
nanoCAD. Базовые твердотельные модели. Твердотельные модели, построенные  
по кинематическому принципу. Команды общего редактирования твердотельных  
моделей**

## Цель лабораторной работы

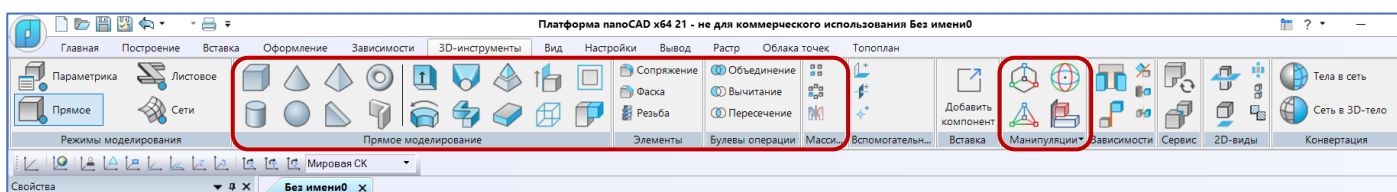
Целью лабораторной работы является освоение команд **nanoCAD**, которые используются при построении твердотельных моделей. В данной лабораторной работе рассматриваются команды построения базовых элементов формы (базовых твердотельных моделей, твердотельных примитивов) - БЭФ; различные способы создания сложных твердотельных моделей на основе БЭФ с помощью команд сочетания тел (логических операций над телами) – объединение, пересечение, вычитание; команды построения твердотельных моделей по кинематическому принципу - выдавливания, перемещения, вращения, построения тела по сечениям; команды общего редактирования: перемещение, поворот, выравнивание, зеркальное отражение, копирование в массив.

### I. Пояснение к заданию

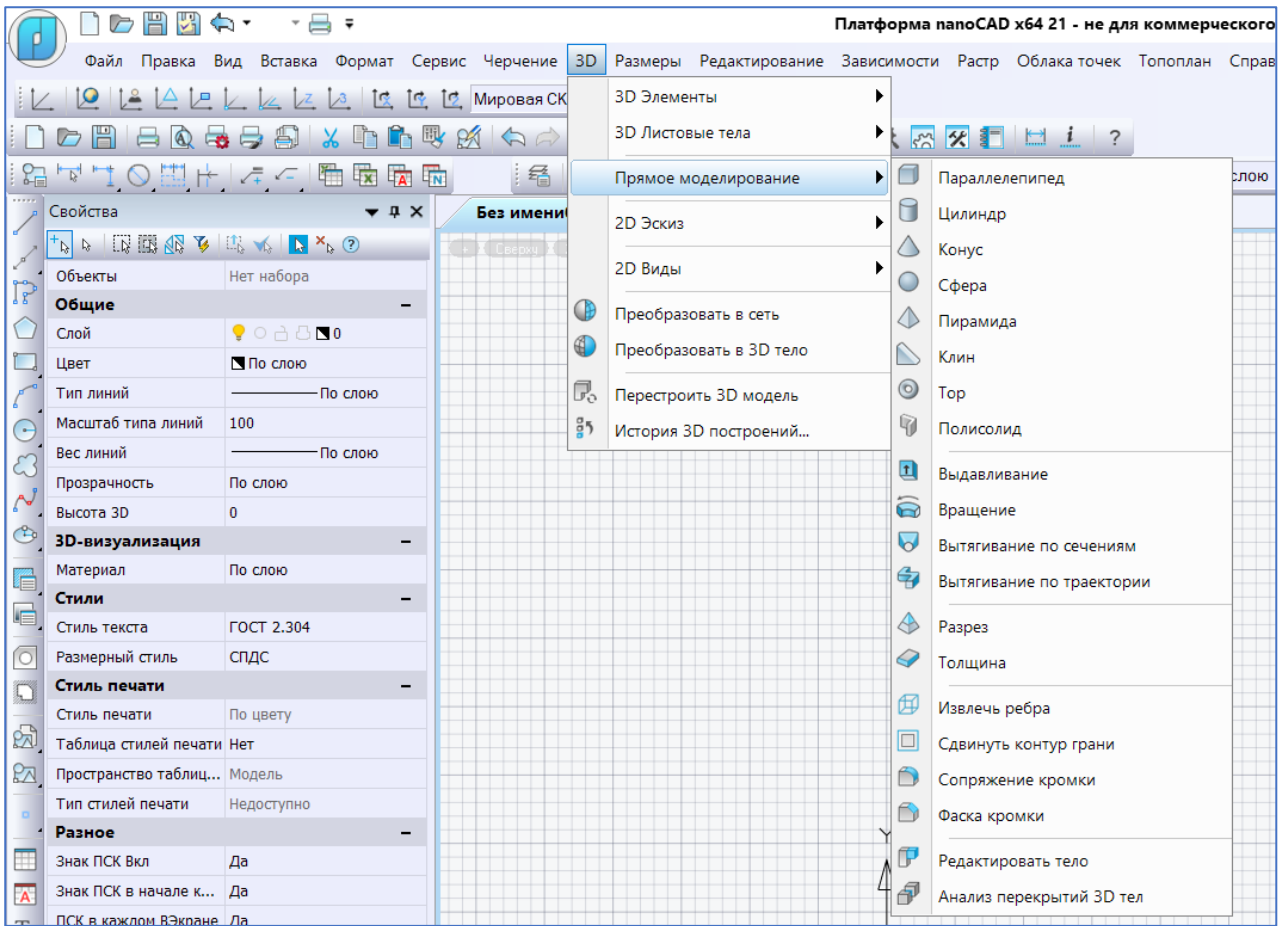
**Твердотельная модель** – основная модель геометрического моделиера САПР – является более сложной, чем поверхностная модель. Главное отличие твердотельной модели от поверхностной – наличие информации о материале, который наполняет оболочку твердого тела (фактически, поверхность, ограничивающую твердое тело). Твердотельная модель является топологическим объектом. Таким образом, твердотельная модель является более сложной по сравнению с поверхностной и по своей структуре и по информационной насыщенности.

**Основные приемы построения базовых твердотельных моделей (твердотельных примитивов)** вам уже хорошо знакомы, т.к. они мало отличаются от принципов построения сетевых примитивов. А вот с командами построения твердых тел по кинематическому принципу, реальными командами редактирования твердых тел с целью получения новых объектов, вам предстоит познакомиться и получить практический опыт использования этих важнейших команд в последней части данного курса.

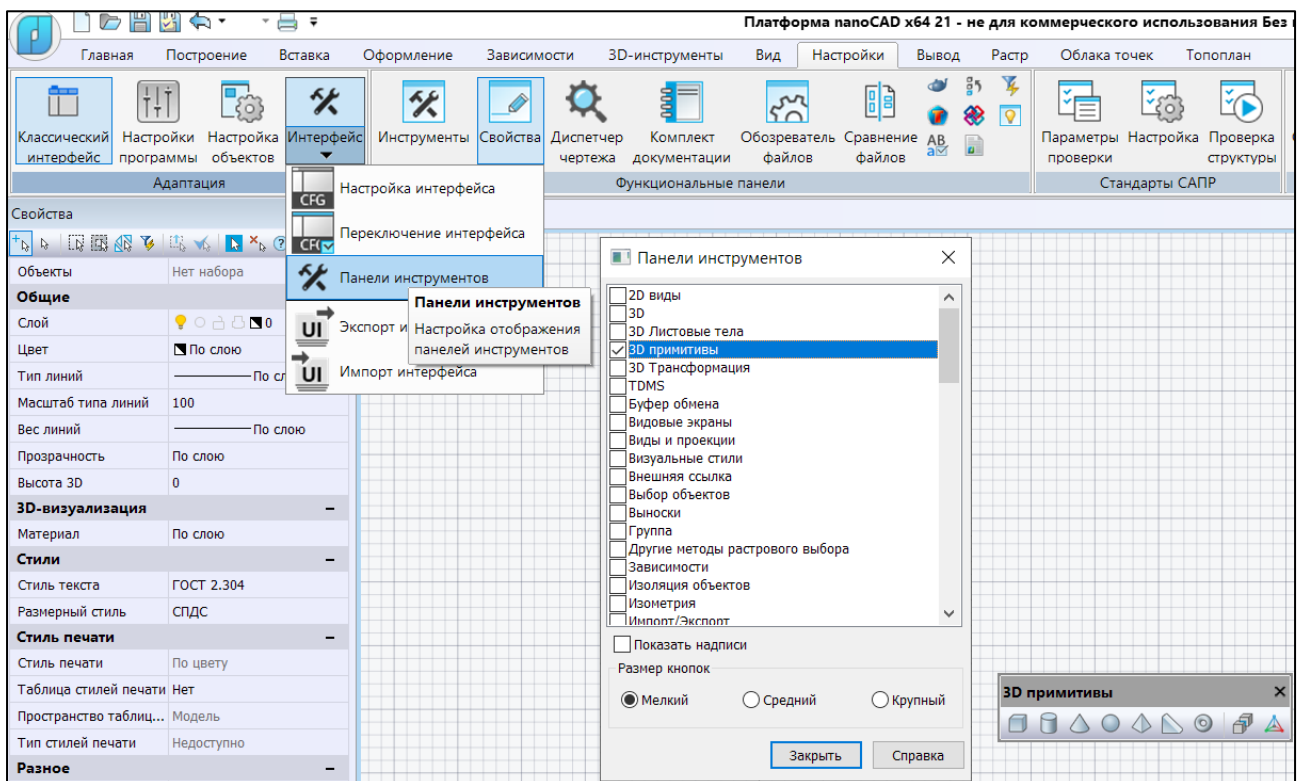
**Соответствующие команды** твердотельного моделирования мы будем рассматривать преимущественно в **ленточном меню**, хотя они могут быть вызваны и из падающего меню: **Вкладка 3D-Инструменты → панели: Режимы моделирования/Прямое → Прямое моделирование/Элементы/Булевы операции/Массивы/Манипуляции: Команды:**



**В падающем меню** – возможно – поиск и вызов необходимой команды может проходить легче, т.к. здесь почти все команды, с помощью которых может быть смоделирована твердотельная геометрическая модель (создание отдельных элементов, манипуляции с ними, редактирование и пр.) в режиме **Прямого моделирования**, находятся в одном списке. Исключение составляют только **Булевы операции (объединение, вычитание и пересечение) и Манипуляции**, которые попали в подгруппу **3D элементы**:

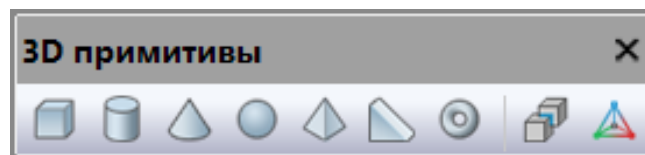
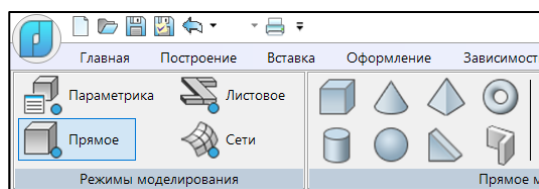


По желанию пользователя все эти команды можно вывести на текущий экран в виде графических панелей инструментов – как это было описано в предыдущей ЛР. Например – для построения твердотельных примитивов:



## 1. Рассмотрим построение базовых твердотельных примитивов – базовых элементов формы (БЭФ)

Для построения твердотельных базовых элементов формы используем соответствующую панель ленточного меню режима **Прямое моделирование**, или выведем следующую панель инструментов – **3D примитивы**:



С помощью этих команд можно построить трехмерную стену – **Polysolid**, прямоугольный параллелепипед/ящик - **Box**, клин – **Wedge**, конус – **Cone** (включая усеченный), сферу – **Sphere**, круговой или эллиптический цилиндр – **Cylinder**, тор – **Torus**, правильную пирамиду – **Pyramid** (включая усеченную).

Каждый базовый твердотельный примитив строится относительно текущей плоскости построения и поэтому ориентируется по плоскости **X<sub>Y</sub>** текущей ПСК.

Построение перечисленных примитивов происходит аналогично (с некоторыми очевидными различиями) выполнению подобных команд при создании сетевых примитивов.

Для самостоятельного изучения перечисленных команд рекомендуется использовать встроенные или он-лайн справочник команд **nanoCAD**, например для построения **прямоугольный параллелепипед/ящика/3dbox**:

**Ящик**

Главное меню: **3D - Прямое моделирование - Ящик**.

Лента: **3D-инструменты - Прямое моделирование - Ящик**.

Панель инструментов: **3D примитивы - Ящик**.

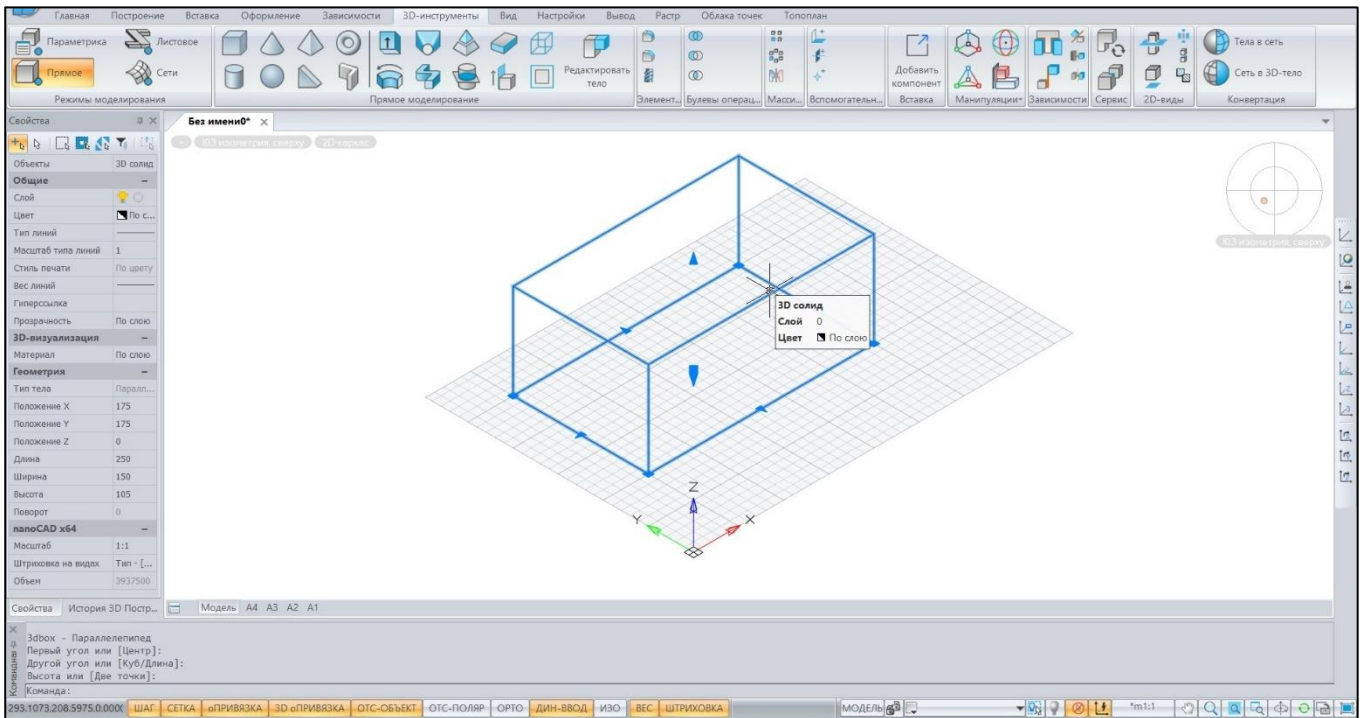
Командная строка: **3DBOX**.

Команда позволяет создать 3D тело - ящик.

**Порядок действий**

- Вызовите команду **"Ящик"**.
- Выберите точку отсчета (через контекстное меню или в командной строке): **"Угол"** (по умолчанию) или **"Центр"**.
  - Угол - отсчет сторон ящика производится от указанной точки.
  - Центр - отсчет сторон производится равномерно от центра.
- Укажите точку отсчета выбранным способом.
- Выберите способ построения основания: **"Угол"** (по умолчанию), **"Куб"** или **"Длина"**.
  - Угол - строится прямоугольник при указании второй точки.
  - Куб - длина, ширина и высота будут одинаковыми и после указания точки ящик будет построен.
  - Длина - поочередно указывается длина и ширина основания.
- Постройте основание выбранным способом.

Ниже показан результат выполнения данной команды (диалог с пользователем в командной строке) для построения параллелепипеда с заданными значениями длины (ориентирована по оси **X**), ширины (ориентирована по оси **Y**) и высоты (ориентирована по оси **Z**).



После выбора построенной модели становятся доступными т.н. **Ручки**, используя которые можно менять размеры тела:

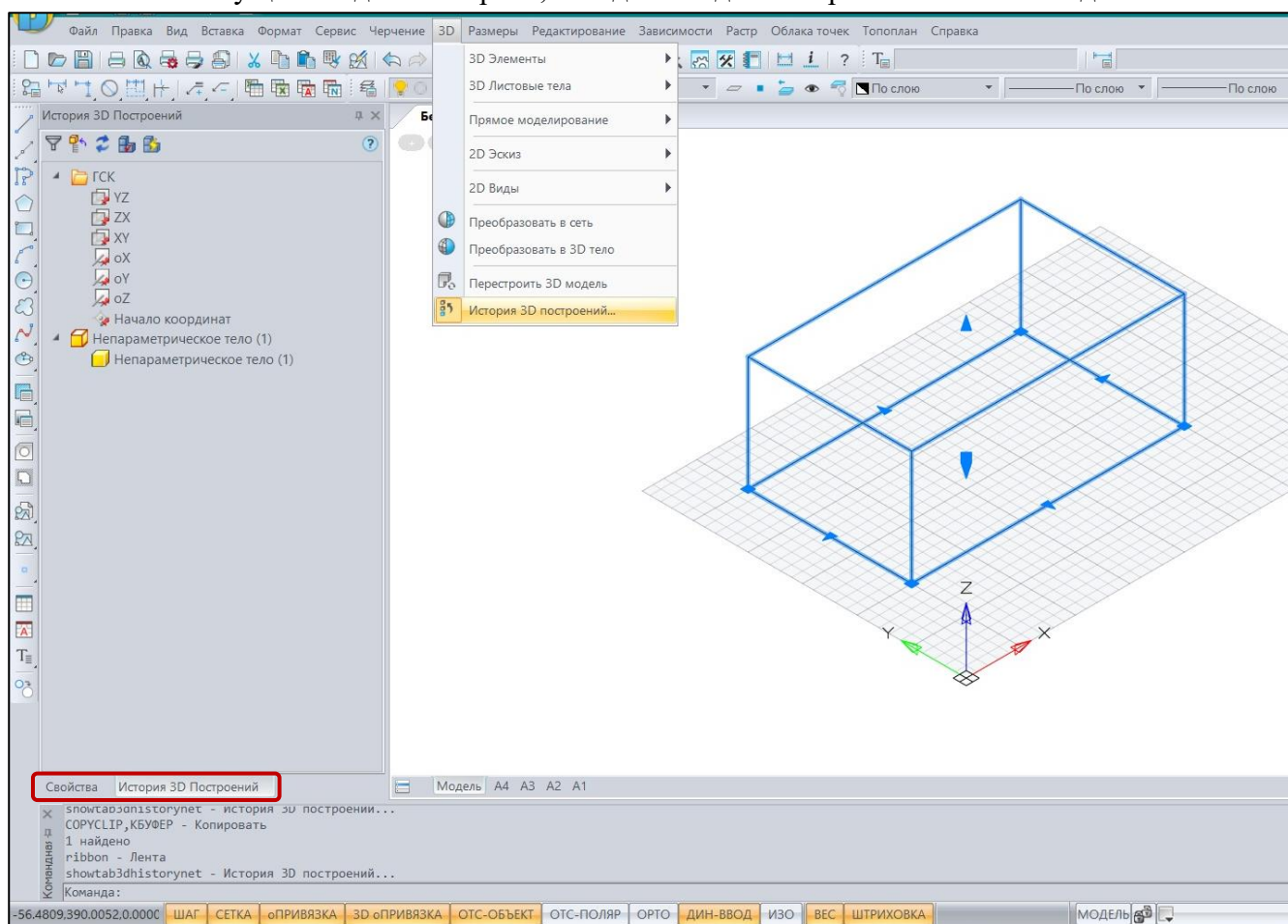
**Ручки**

1. Ручки изменения ширины и длины основания.
2. Ручки изменения ширины или длины основания.
3. Ручки изменения высоты ящика.
4. Ручка перемещения объекта.

Кроме того, обратите внимание – в отличие от сетевых примитивов, для твердотельных доступно редактирование их базовых параметров (длина, ширина, высота, угол поворота, начальная точка – «точка отсчета» в описании) в окне свойств выбранного объекта.

Отметим здесь, что для проектирования твердотельных моделей доступна **История 3D построений**, которая вызывается с помощью соответствующей команды: **showtab3dhistorynet** – **История 3D построений**, которая проще всего обнаруживается в

падающем меню, а соответствующая таблица с историей при этом замещает немодальное окно **Свойства**. К последнему всегда можно вернуться, используя закладки в нижней части области текущего видового экрана, отведенной для отображения этих немодальных окон:



С особенностями использования инструментов, доступных в **Истории 3D построений** рассматриваемых тел, можно ознакомиться в **Справочнике команд nanoCAD** по каждому твердотельному примитиву или команде построения твердых тел с помощью других команд. Например, для рассматриваемой команды **3dbox**:

**История 3D построений**

☑ "Непараметрическое тело".

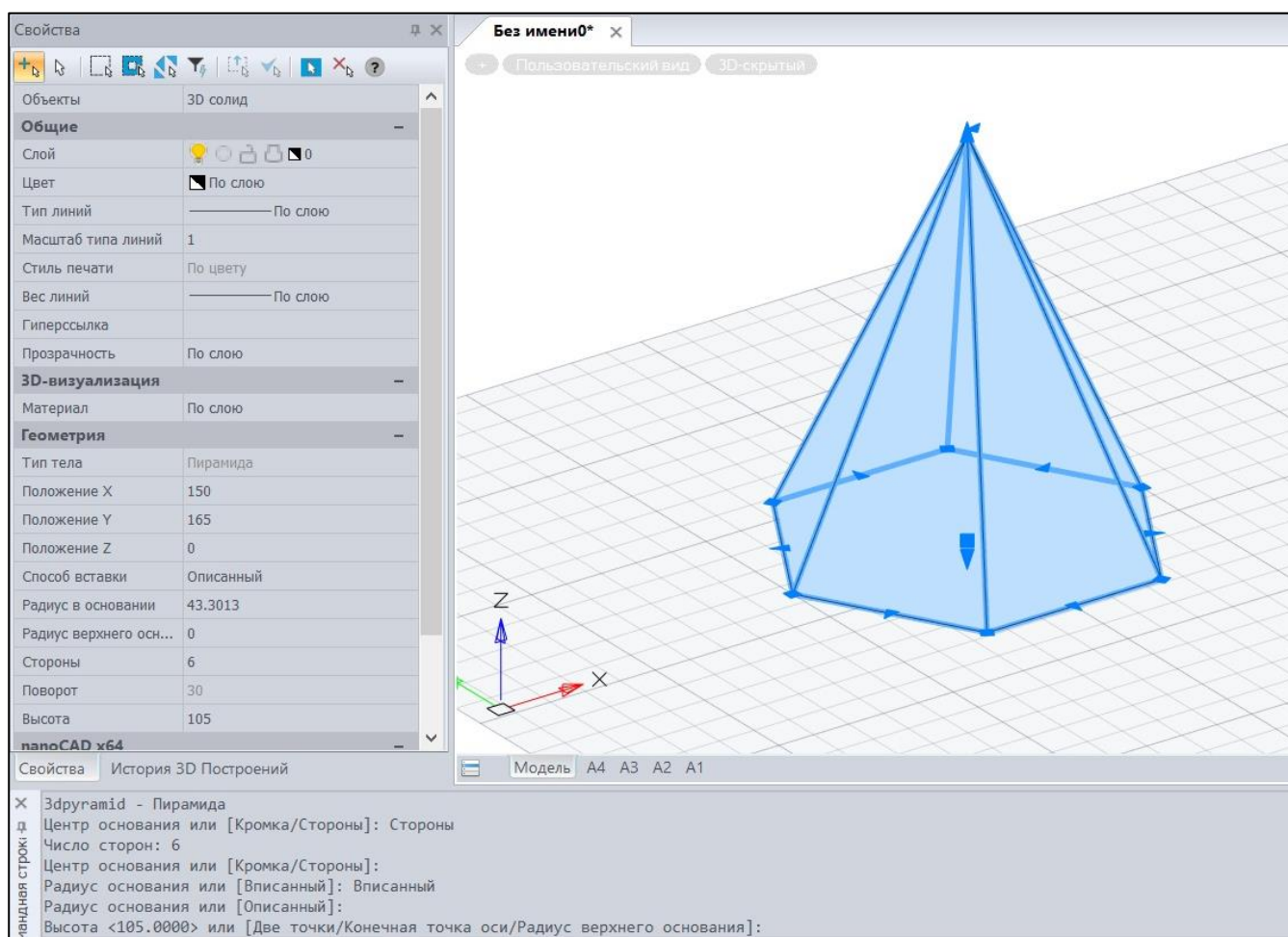
Доступны следующие команды контекстного меню:

- *Переименовать (F2)* - позволяет переименовать объект.
- *Удалить (Del)* - удаляет объект и дочерние объекты из дерева и пространства модели.
- *Показать в документе* - фокусирует и подсвечивает объект в центре пространства модели.
- *Перестроить* - перестраивает объект в пространстве модели.

При выполнении команд построения базовых твердотельных примитивов следует обращать внимание на другие опции команд, в частности – способы задания параметров нижнего основания конуса или пирамиды, способы введения значений длин/высот/радиусов и пр., порядок выбора опций в зависимости от того, строится ли конус/пирамида или усеченные конус/пирамида. Все эти особенности обучающиеся должны изучить самостоятельно с помощью рекомендованного встроенного или он-лайн **Справочника команд nanoCAD**.

## Рассмотрим эти особенности на примере построения **Пирамиды – 3dpyramid**.

С помощью команды **3dpyramid** можно построить правильную пирамиду, т.е. пирамиду, основанием которой является правильный многоугольник. По умолчанию число сторон правильного многоугольника - 4, и он является описанным вокруг окружности заданного радиуса. Если необходимо увеличить число сторон правильного многоугольника, то нужно выбрать опцию **Стороны** и задать число сторон. Если выбрать опцию **Кромка** (что в оригинале означает **Ребро – sic!!**) и изменить длину стороны многоугольника, то радиус окружности будет вычислен автоматически. Для изменения положения многоугольника по отношению к окружности необходимо выбрать опцию **Вписанный** и тем самым задать многоугольник, являющийся основанием пирамиды, как вписанный в окружность. Выбор опции **Конечная точка оси** позволяет наклонить ось пирамиды, **Радиус верхнего основания** – построить усеченную пирамиду.

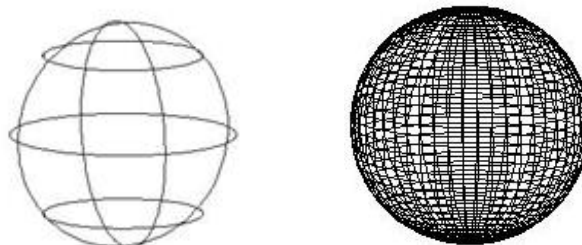


### **ВАЖНО!!** Изменение плотности каркаса изолиний

Важной проблемой при выполнении проектирования твердотельных моделей является организация визуализации результата.

Твердое тело ограничено оболочкой, которая задается с помощью изолиний. Число изолиний определяется с помощью системной переменной **ISOLINES**. Эта переменная может быть изменена непосредственно в командной строке или в цепочке обращений из падающего меню: **группа команд Сервис → Системные переменные → Isolines**.

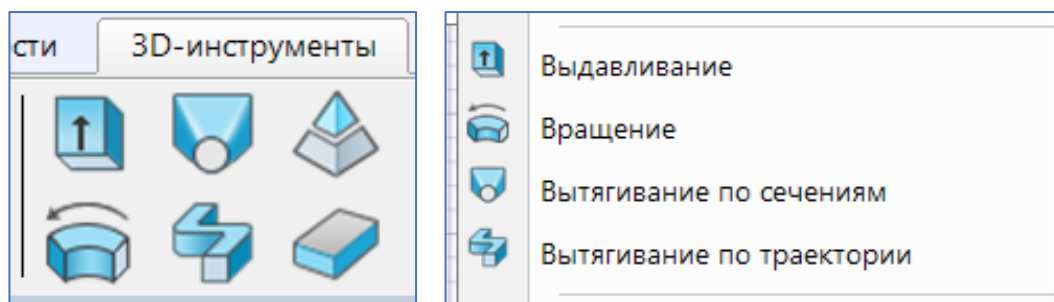
**Влияние** значения системной переменной **ISOLINES** на отображение твердотельной сферы показано ниже: визуализация сферы в стиле **2D-Каркас** при количестве изолиний 4 и 50:



Если какое-либо твердое тело было построено при некотором значении системной переменной **ISOLINES**, а затем значение этой переменной было изменено, то для нового отображения твердого тела необходимо выполнить команду **Regen**.

## 2. Команды построения твердых тел по кинематическому принципу

Команды построения твердотельных моделей по кинематическому принципу можно вызвать из ленточного меню панели **Прямое моделирование** вкладки **3D Инструменты** или из падающего меню – из **группы команд 3D → подгруппа Прямое моделирование**:

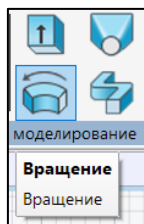


**Основным принципом** формирования таких тел является задание замкнутого контура (**профиля, контура, опорной геометрии**) и метода, основанного на кинематике. Контур может формировать тело вращения, тело перемещения вдоль какой-либо кривой; если в формировании тела участвует несколько контуров – то кинематический принцип позволяет смешивать эти контуры при перемещении вдоль кривой, или просто их смешивать по какому-либо заданному закону (линейный, квадратичный). При выполнении указанных команд по кинематическому принципу с использованием замкнутого контура можно изменить режим и получить в результате не твердое тело, а поверхность. Однако, в случае если контур не замкнутый – **ВСЕГДА** получается поверхность.



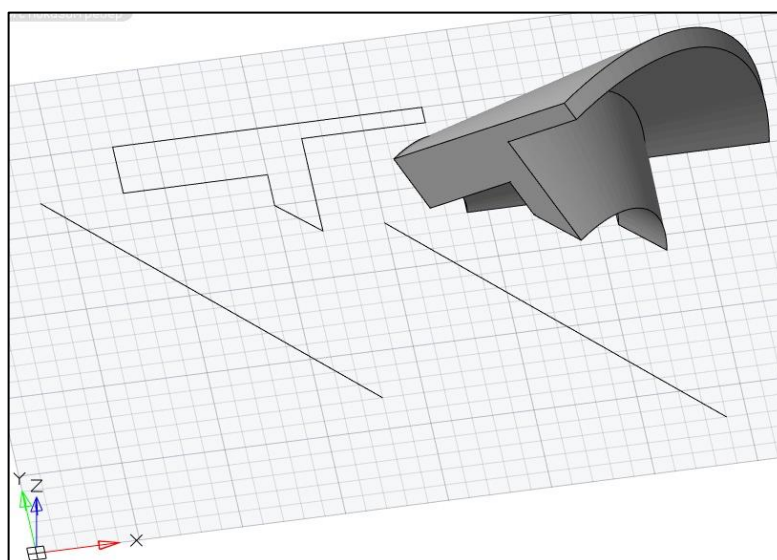
Рассмотрим особенности выполнения перечисленных команд.

➤ Тело вращения



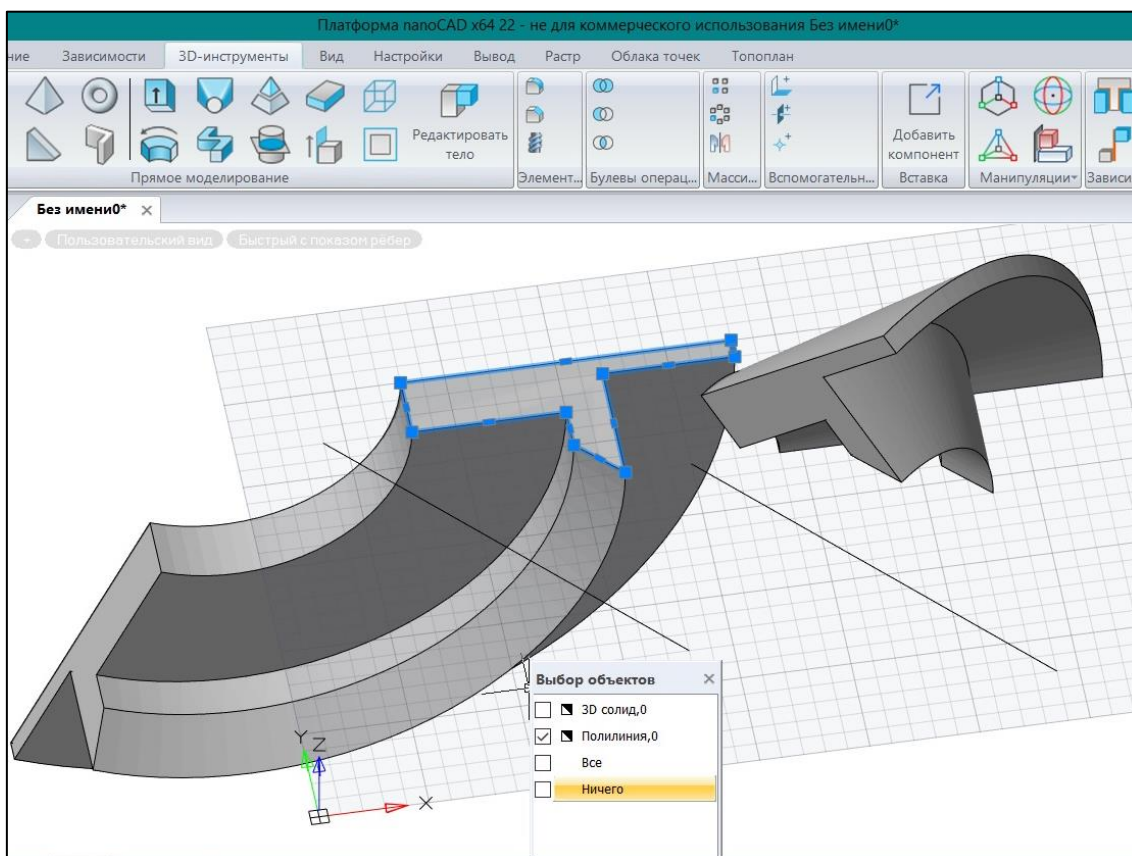
Для создания твердого тела вращения необходимо задать замкнутый контур. Это может быть любой замкнутый графический примитив или последовательность связанных примитивов (линейных, дуговых, криволинейных) полученные/построенные в результате выполнения команды **Полилиния** или других команд двумерного моделирования и приведения их к одному сегменту с помощью команды **Редактирование полилинии**. См. Приложение №1 к ЛР №4 ([http://a0601.narod.ru/Add\\_LR\\_04\\_Surf\\_2023.pdf](http://a0601.narod.ru/Add_LR_04_Surf_2023.pdf)).

Если контур будет не замкнут, то при использовании команды твердотельного моделирования **Вращение**, будет сформирована поверхностная модель. Поверхность можно получить, если при вращении замкнутого контура задать режим **Поверхность**. По умолчанию в команде включен режим **Тело**. При выполнении команды **Вращение** можно одновременно формировать не одно тело, а несколько. Поэтому в выполнении команды могут участвовать несколько контуров. Этот факт отражен непосредственно в диалоге команды. После выбора контуров, участвующих в построении тела вращения, необходимо задать ось вращения. Она задается двумя точками в пространстве или уже имеющимся объектом, а также – одной из осей координат. Затем необходимо указать угол поворота. Результат выполнения команды – твердое тело вращения, которое визуализируется в соответствии с выбранным визуальным стилем и заданной системной переменной **ISOLINES**. Ниже приведен диалог команды и результат моделирования.

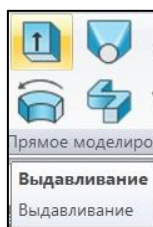


```
X revolve - Вращение
□ Выберите объект для вращения или [?]/РЕжим]:
1 найдено
□ Выберите объект для вращения или [?]/РЕжим]:
□ Укажите начальную точку или [Объект/X/Y/Z]<Объект>:
□ Укажите конечную точку:
□ Укажите угол вращения или [Укажите начальный угол/Противоположное направление]: 90
Команда:
```

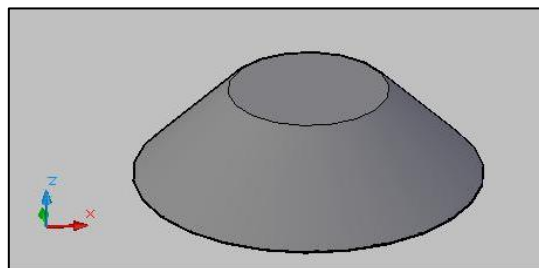
Ниже показан добавленный к первой модели результат **Вращения** в случае, когда в качестве оси выбрана ось **Y**:

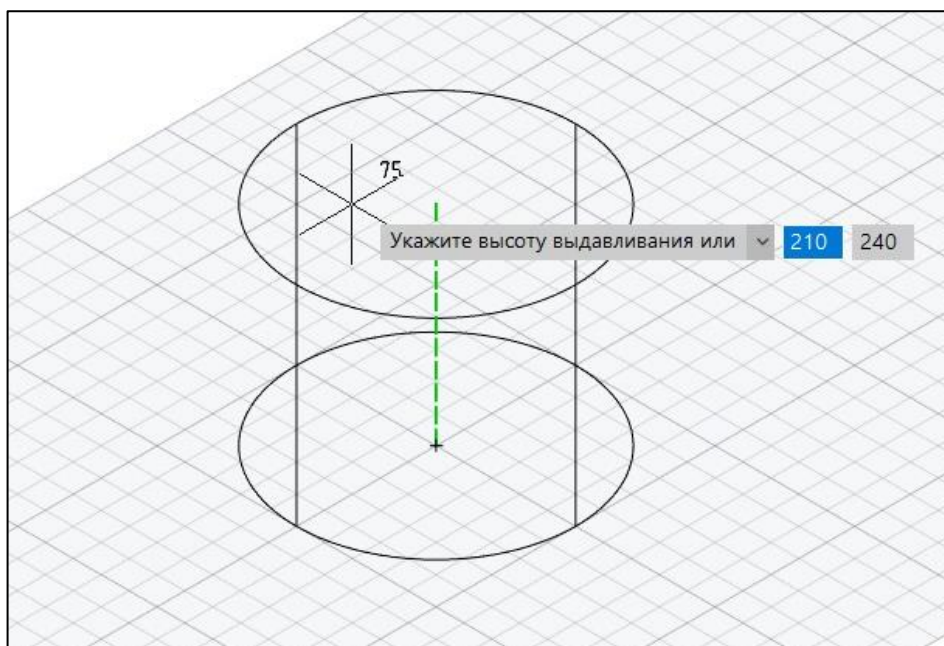


➤ **Простое перемещение – выдавливание**



При выполнении команды выдавливания происходит перемещение профиля вдоль заданной кривой или точно перпендикулярно по отношению к плоскости, в которой находится профиль (т.е. вдоль оси **Z**). При выдавливании профиля перпендикулярно плоскости, в которой расположен профиль, диалог команды выглядит следующим образом. При выполнении перемещения необходимо задать профиль, который выдавливается, в данном примере это – окружность, и высоту, на которую должен быть профиль перемещен. При этом можно задать т.н. **Угол конусности**, который задает угол между образующей тела и плоскостью, в которой находится профиль. В результате использования этой опции можно получить усеченный конус с различным взаимным расположением меньшего и большего оснований, т.е. можно масштабировать профиль при перемещении с помощью изменения угла.





```

extrude - Выдавливание
Выберите объект для выдавливания или [?/Режим]:
1 найдено
Выберите объект для выдавливания или [?/Режим]:
Укажите высоту выдавливания или [Направление/Траектория/Угол конусности]:

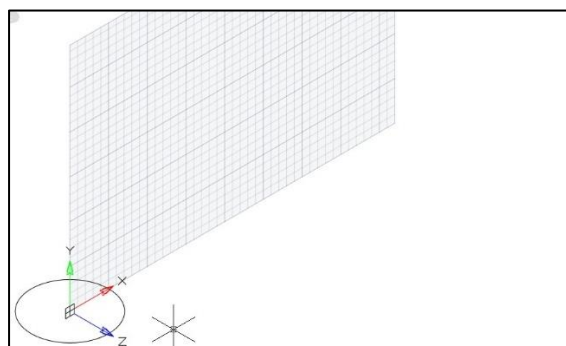
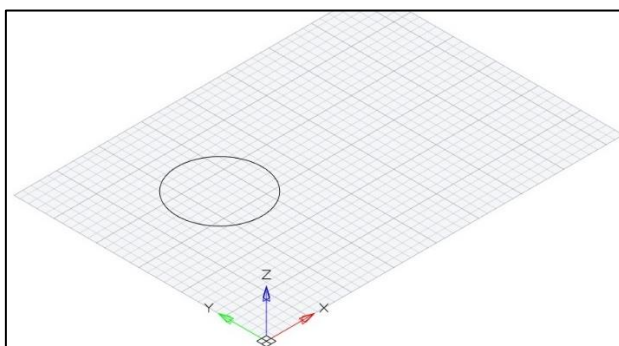
```

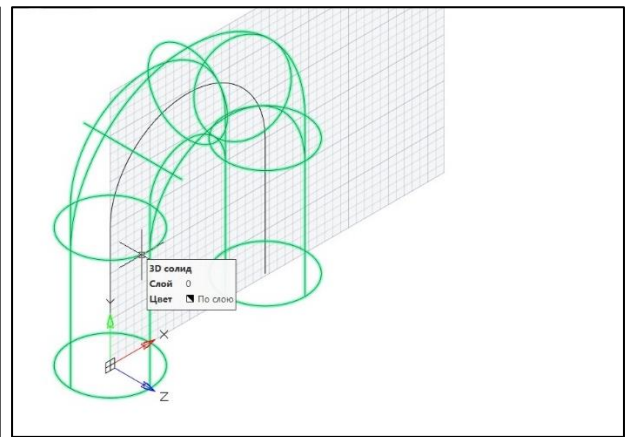
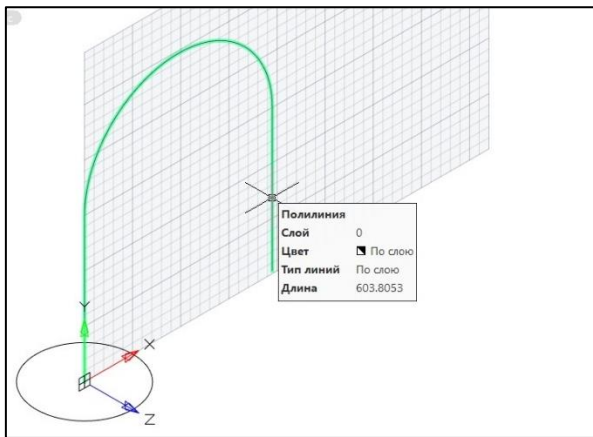
Если необходимо переместить профиль вдоль некоторого пути, то для выполнения такого перемещения необходимо помимо профиля задать кривую (направляющая или образующая кривая – опция **Траектория**), вдоль которой будет происходить перемещение.

**ВАЖНО!!** Кривая не может располагаться с профилем в одной плоскости.

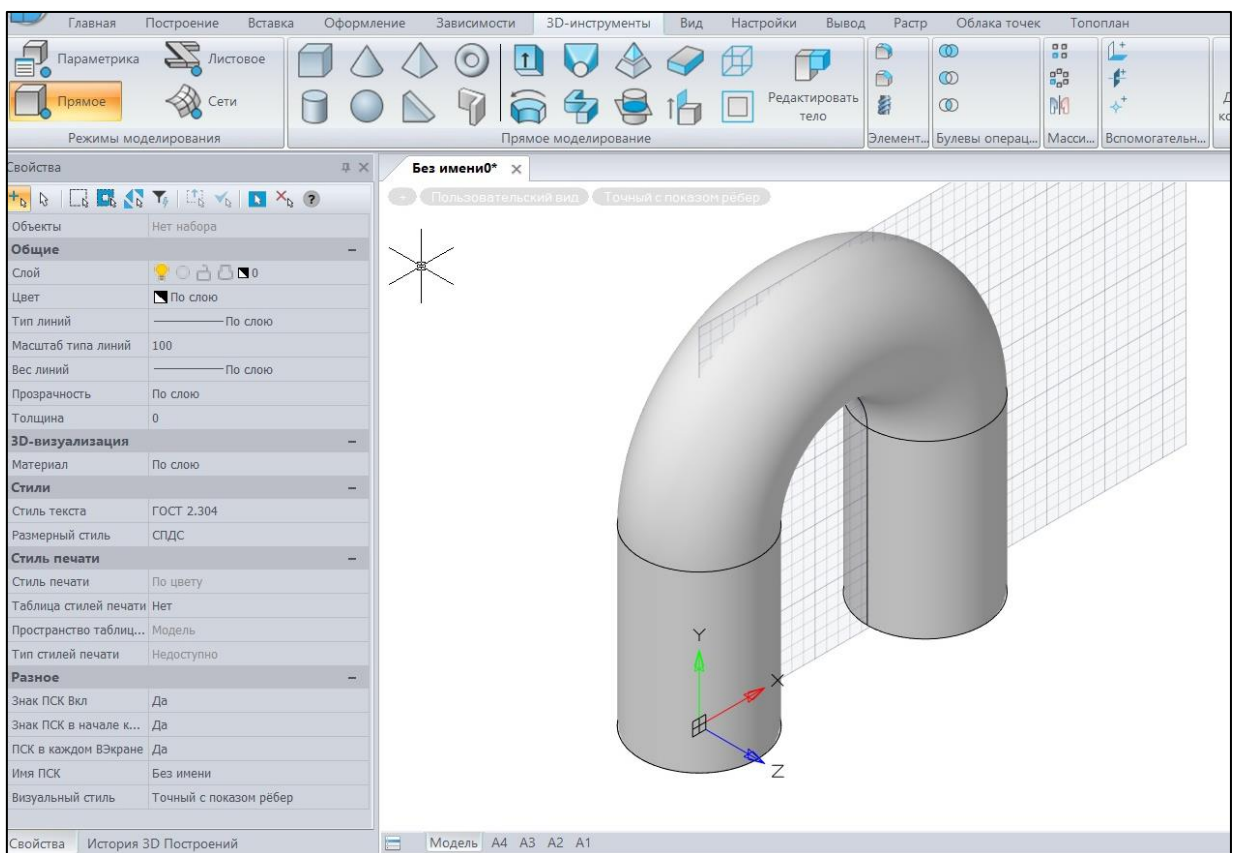
Для того чтобы кривую, вдоль которой будет происходить перемещение, расположить в новой плоскости, необходимо воспользоваться новой ПСК. Пошаговое выполнение команды **Выдавливание по траектории**:

- Подготовка опорной геометрии – профиля для **Выдавливания** – **Окружность**;
- Перенос ПСК в центр **Окружности** и поворот ее вокруг оси **X**;
- Подготовка **Траектории Выдавливания** – **Полилинии** в плоскости **XУ**;
- Выполнение команды **Выдавливание** с опцией **Траектория**;





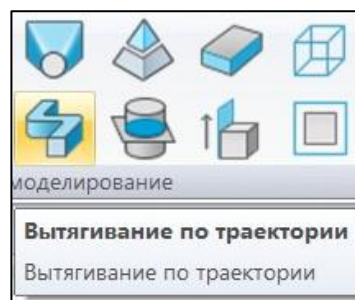
Диалог команды для этого случая выглядит следующим образом:



```

extrude - Выдавливание
Выберите объект для выдавливания или [?/РЕжим]:
1 найдено
Выберите объект для выдавливания или [?/РЕжим]:
Укажите высоту выдавливания или [Направление/Траектория/Угол конусности]: Траектория
Выберите траекторию выдавливания или [Угол конусности]:
  
```

- **Перемещение профиля по траектории (образующей или направляющей кривой) с возможным масштабированием, поворотом профиля - Вытягивание по траектории**



При выполнении команды **Вытягивание по траектории/Sweep**, перемещаясь вдоль образующей кривой, профиль может быть масштабирован в каждой плоскости сечения и/или может быть повернут на заданный угол, и при этом тело будет выглядеть закрученным. Т.е. команда **Вытягивание по траектории** позволяет построить более сложное, по сравнению с командой **Выдавливание**, твердое тело на основе одних и тех же кривых.

После выбора перемещаемого профиля в команде **Вытягивание по траектории** появляется запрос следующего вида:

**Выберите траекторию сдвига или [Выравнивание/Базовая точка/Масштаб/Угол закручивания].**

**Выравнивание** – определяет, нужно ли выравнивать профиль нормально к образующей кривой в начальной точке или нет.

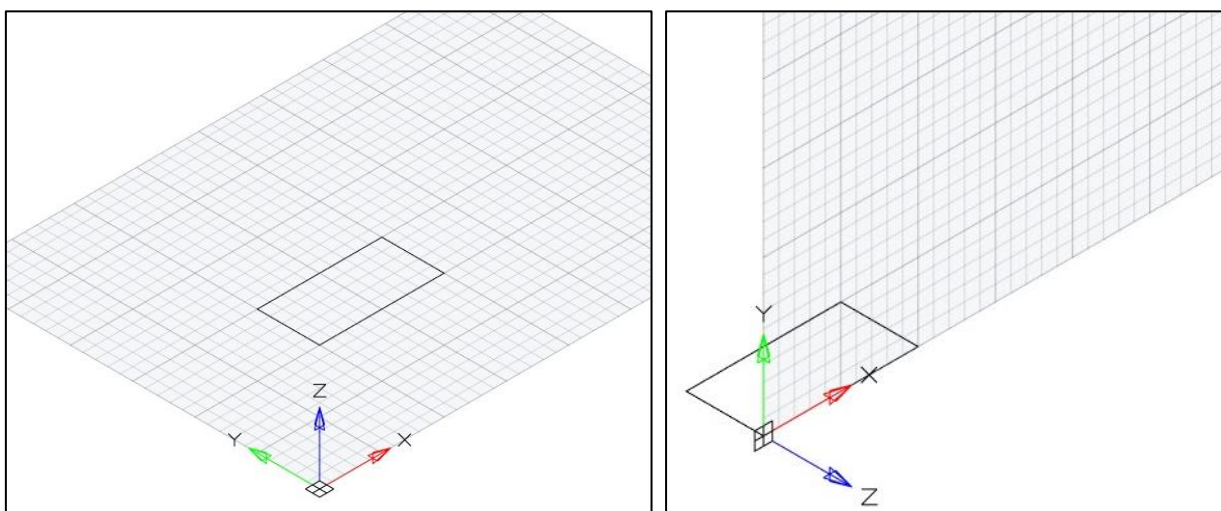
**Базовая точка** – определяет новую базовую точку, относительно которой будет выполнено перемещение.

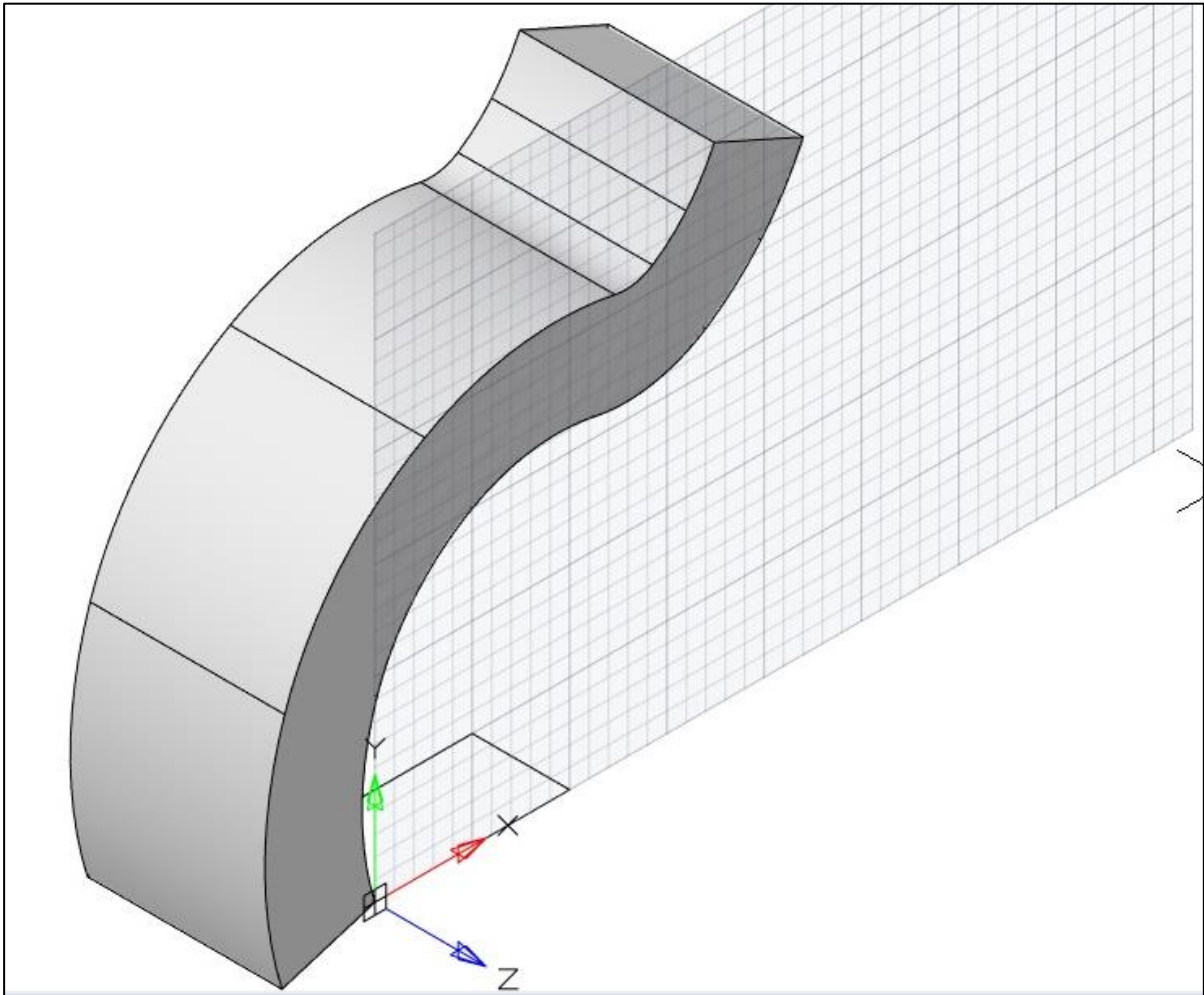
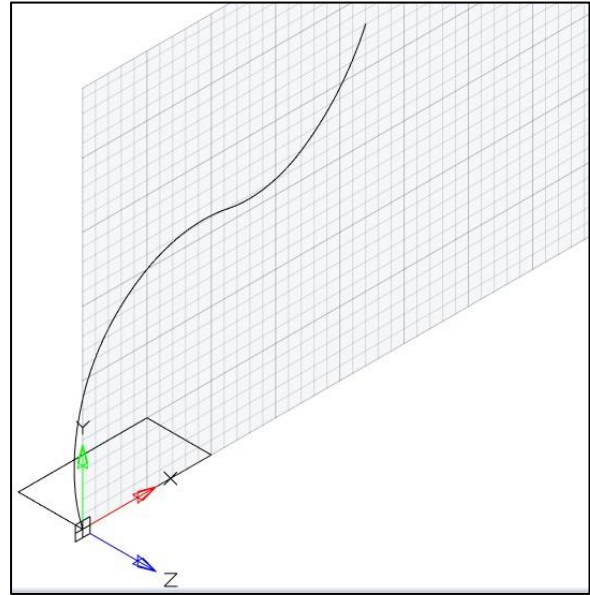
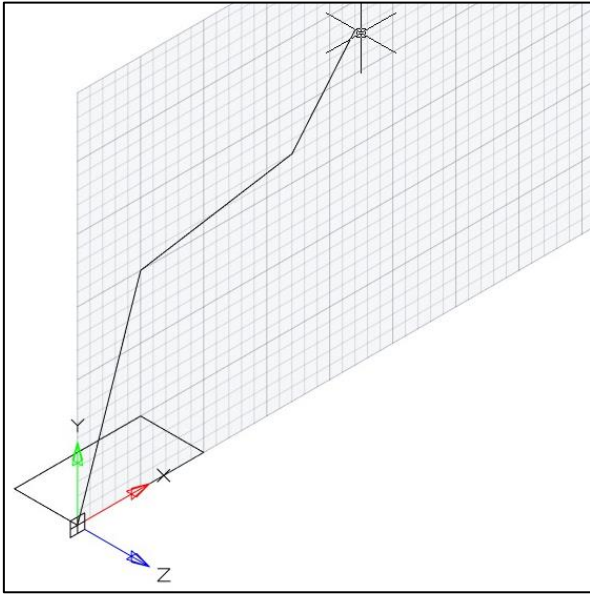
**Масштаб** – задает масштабный коэффициент для масштабирования профиля в каждой плоскости сечения при перемещении вдоль образующей кривой.

**Угол закручивания** – позволяет определить угол закручивания профиля в каждой плоскости сечения при перемещении вдоль образующей кривой.

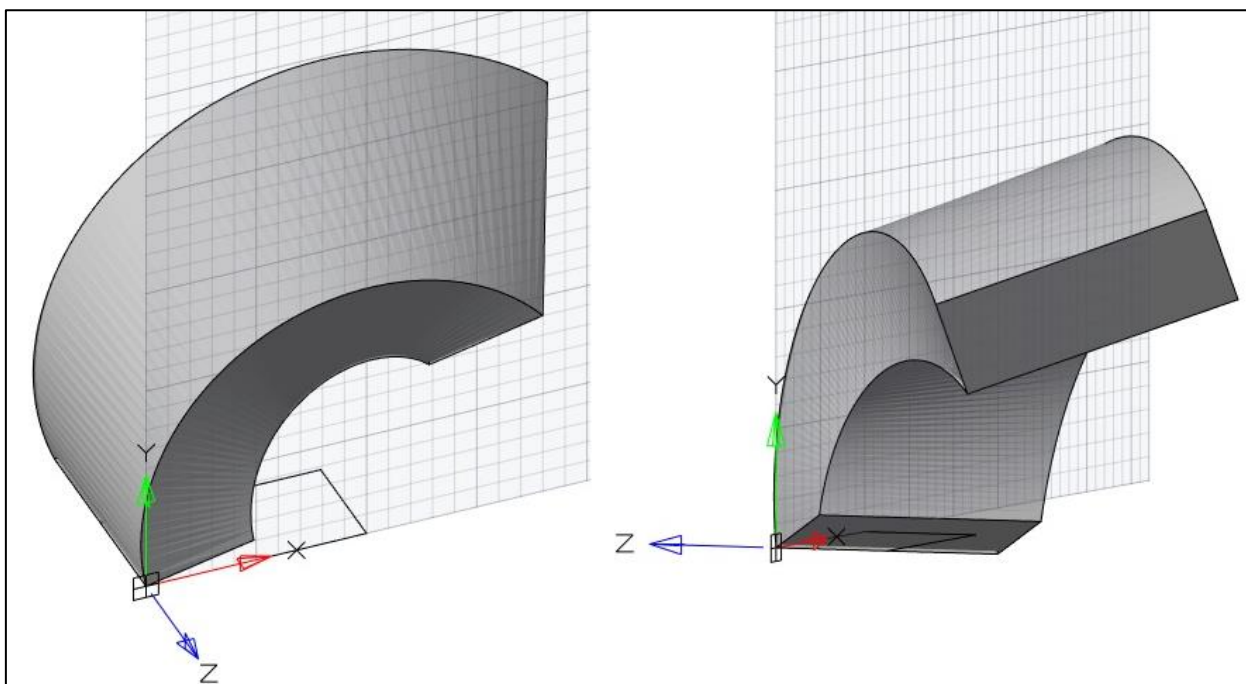
Ниже приведены примеры выполнения команды **Вытягивание по траектории**

- вдоль сглаженной **Полилинии** (от подготовки опорной геометрии до получения результата);

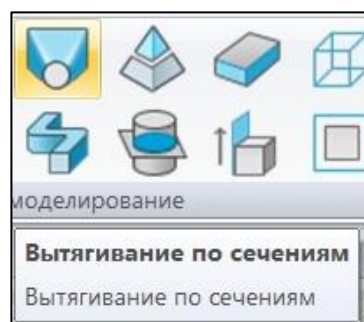




- а также – вдоль дуги окружности с **Масштабом 1,2** и **Углом закручивания 30** градусов.



- **Вытягивание по сечениям**

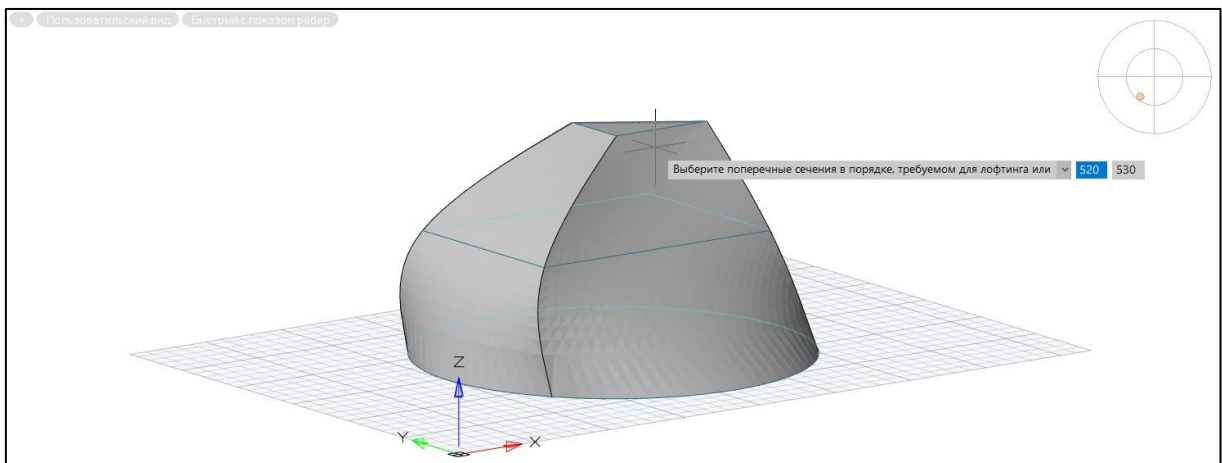
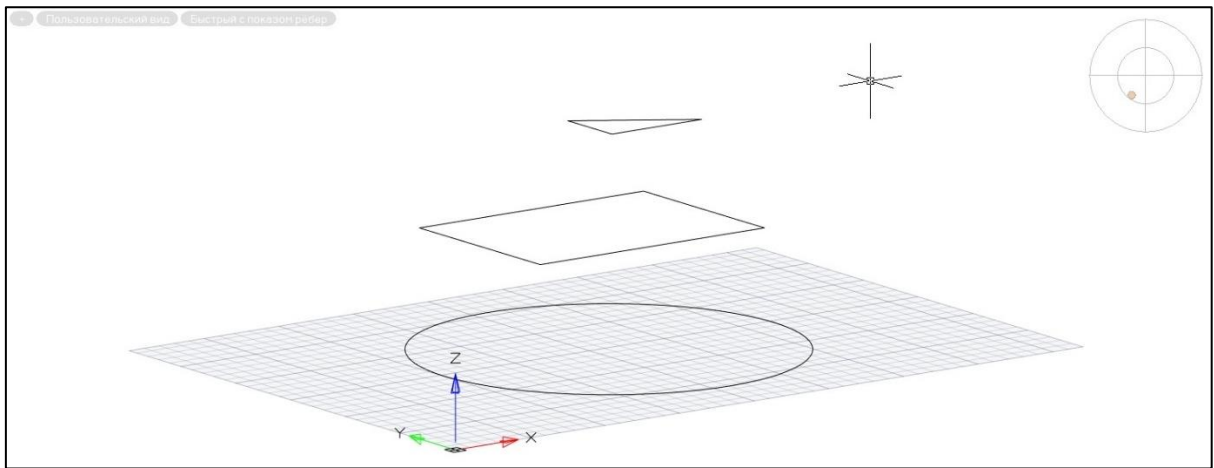


С помощью команды **Вытягивание по сечениям** можно построить твердое тело на основе нескольких профилей. Эта команда позволяет интерполировать внешнюю поверхность оболочки твердого тела по замкнутым профилям – сечениям. Рассмотрим работу команды при задании трех промежуточных сечений. После выбора трех сечений на рабочем поле появляется сообщение команды, которое позволяет выбрать один из трех способов построения твердого тела:

**Задайте параметр или [Направляющие/Траектория/Только поперечные сечения]/<Только поперечные сечения>.**

Опция **Только поперечные сечения** позволяет построить тело только в результате интерполирования внешней поверхности по заданным сечениям.

В результате получаем твердое тело нетривиальной формы по заданным сечениям.



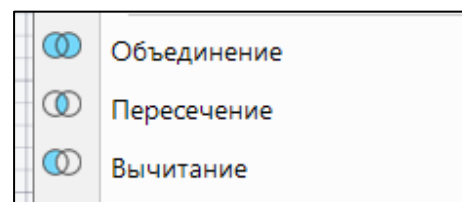
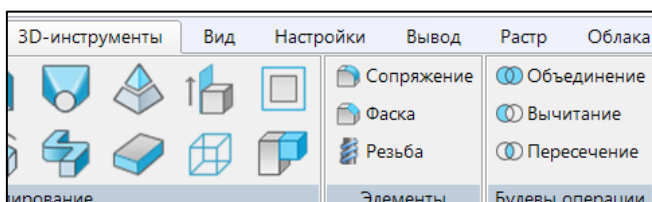
Употребление остальных опций команды **Вытягивание по сечениям** предлагается изучить самостоятельно с помощью **Справочника команд nanoCAD**.

**ВАЖНО!!!** Обратите внимание на состояние системной переменной **DELOBJ**:

- Системная переменная **DELOBJ** должна быть равна 0, если есть намерение сохранить и многократно использовать определяющую геометрию (геометрические объекты, использованные для создания других объектов – траектория, профиль и пр.).

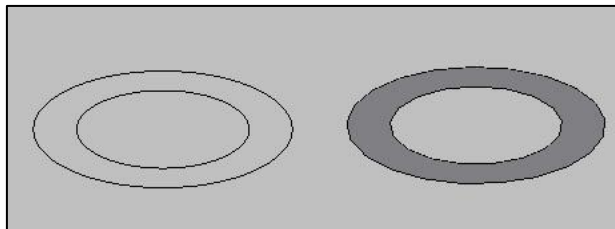
### 3. Проектирование твердых тел с помощью логических операций

Для формирования сложных твердотельных моделей необходимо использовать логические операции – **UNION/Объединение**, **SUBTRACT/Вычитание**, **INTERSECT/Пересечение**. Логические операции могут быть вызваны из панели **Прямое моделирование** вкладки **3D Инструменты** или из выпадающего меню из группы команд **3D** → подгруппы **3D Элементы**:

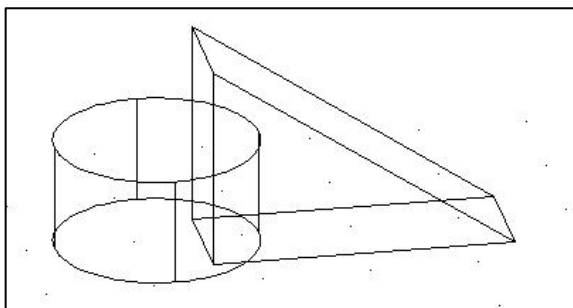




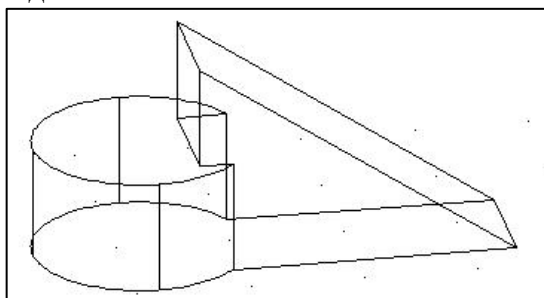
**Логические операции** используются и при работе с командой **Область**. Рассмотрим использование операции вычитания для создания поверхностной модели кольца. Нарисуем две concentric окружности, применим к ним команду **Область**, а затем выполним команду вычитания. Результат моделирования будет выглядеть следующим образом. Следует отметить, что при выдавливании такой области сразу получится труба с известной толщиной стенок.



Рассмотрим результат выполнения логических операций на примере. Построим с помощью команд создания базовых элементов формы две пересекающиеся фигуры – цилиндр и клин.

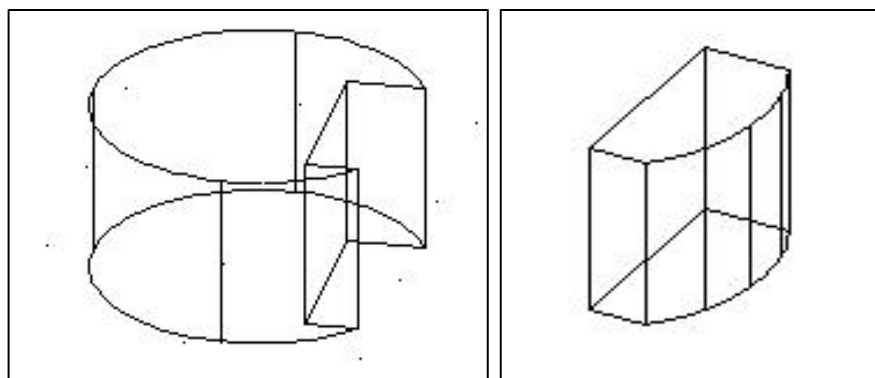


В результате выполнения операции **Объединения (UNION)** результирующая модель будет иметь следующий вид:



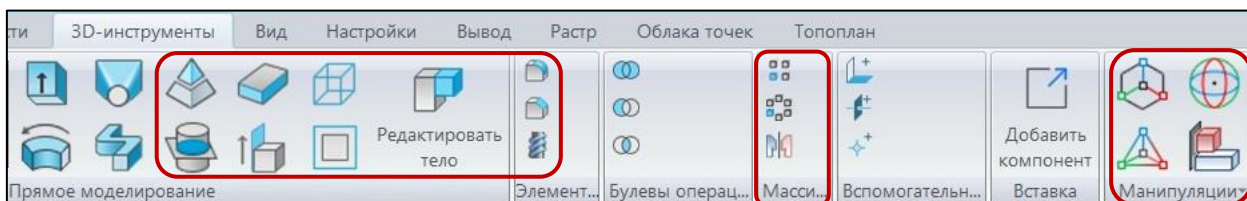
Результат выполнения операций **Вычитания** одного БЭФ из другого (**SUBTRACT**) и **Пересечения** двух исходных твердотельных примитивов (**INTERSECT**):

:

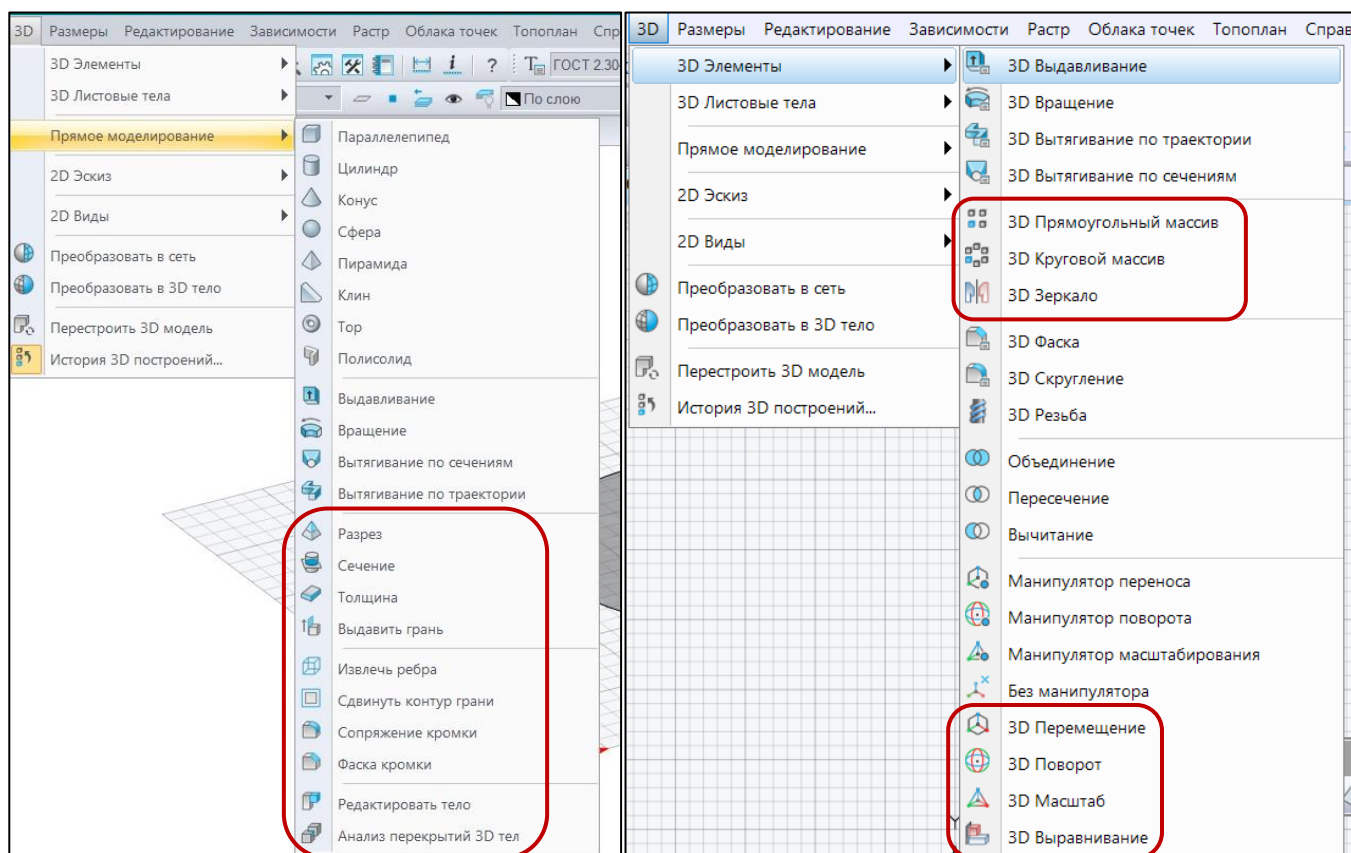



#### 4. Команды общего редактирования твердотельных моделей

Данные команды выполняются при трехмерных построениях. Эти операции могут быть вызваны в ленточном меню из панели **Прямое моделирование** вкладки **3D Инструменты**;



или из падающего меню из группы команд **3D** → подгруппы **Прямое моделирование** и подгруппы **3D Элементы**:



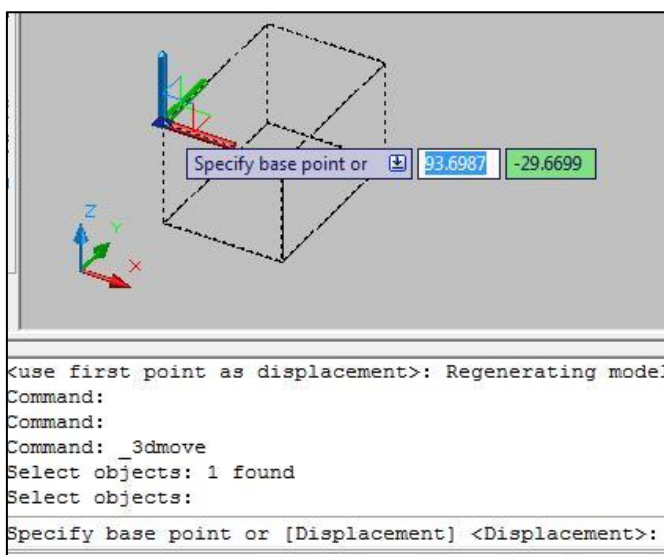
**ВАЖНО!!** С группой команд  (**Массивы и Зеркальное отражение**), хотя они и доступны из **Прямого моделирования**, нужно при проектировании в этом режим быть осторожными. При выполнении этих команд результирующие тела попадают в категорию параметрические и не могут быть, например, использованы в командах булевых операций в сочетании с непараметрическими телами.

Далее приводятся пояснения для наиболее часто используемых при проектировании команд общего редактирования. В тех случаях, когда отличия синтаксиса команд

**nanoCAD**'а не отличаются от соответствующих команд **AutoCAD**, сохранены примеры, выполненные в этой системе.

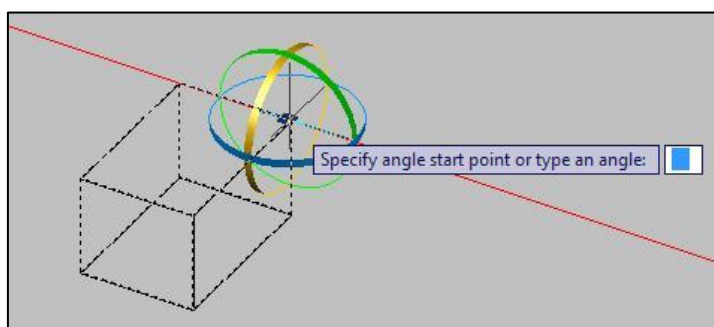
➤ **Команда перемещения**  **3D Перемещение**

С помощью этой команды можно выполнить перенос в трехмерном пространстве модели с помощью специального инструмента – **интерактивного символа системы координат Gismo**. Внешний вид инструмента – **Gismo** и диалог команды приведены ниже.



➤ **Команда трехмерного поворота** -  **3D Поворот**

С помощью этой команды можно повернуть трехмерный объект вокруг оси в трехмерном пространстве. Здесь также используется инструмент **Gismo**, имеющий отличный от предыдущей команды вид. Инструмент **Gismo** помогает выбрать ось вращения, если она совпадает с текущей **UCS**. Выбор оси осуществляется по цвету кольца/экватора ручки. Ниже показано, как выглядит инструмент – ручка в рассматриваемой команде.

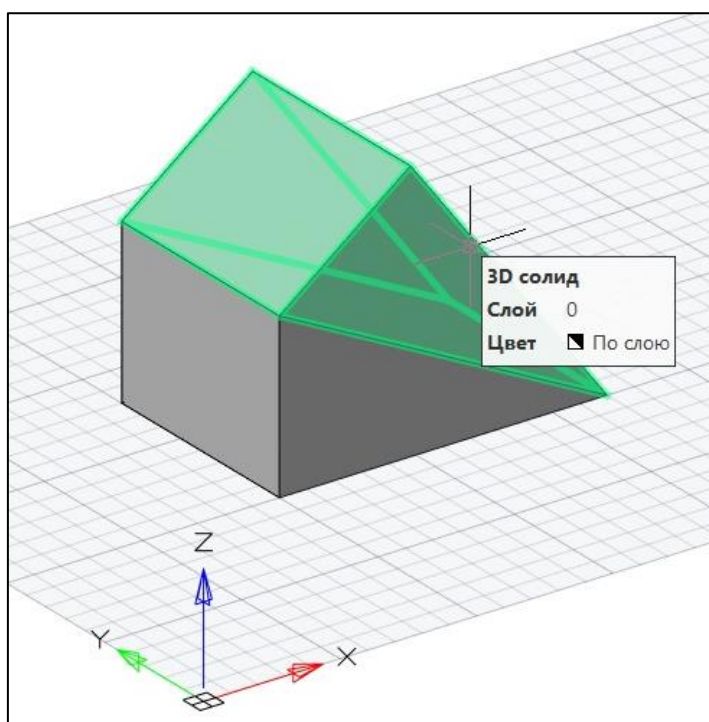


➤ **Команда зеркального отражения**  **3D Зеркало**

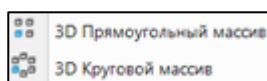
Как уже отмечалось выше, команда зеркального отражения, приведенная в панели **Массивы** вкладки **3D-Инструменты**, приводит к получению параметрических тел, даже

если используется в режиме **Прямого моделирования**. В такой организации интерфейса есть определенная логика – новые тела формируются на основе и в зависимости от уже существующих тел, а значит – могут быть определены, как параметрические. Интерфейс соответствующих команд обучающимся предлагается изучить самостоятельно с помощью **Справочника команд nanoCAD**.

Здесь рассмотрим способ получения непараметрических тел путем зеркального отражения с использованием инструментария **2D Построений**.



Приведенный на рисунке результат получен путем применения к твердотельному примитиву **Клин** команды **Зеркало** из панели **Редактирование** закладки **Построение**



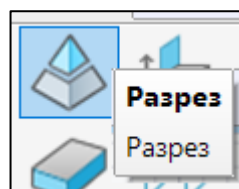
➤ **Команда копирования в массив**

Как отмечалось выше использование данной команды в режиме **Прямого моделирования** приведет к появлению параметрических тел.

**ВАЖНО!!** При вызове команды из ленточного меню при выполнении лабораторной работы студентам предлагается разобраться самостоятельно с этапами выполнения команды создания трехмерного массива с помощью **Справочника команд nanoCAD**.

Если такой задачи – получения параметрических тел - при проектировании не стоит, можно воспользоваться инструментарием **2D Построений**. **Полученные при таком копировании тела будут не параметрическими.**

Для приведенного выше примера, объединив предварительно два полученных тела (оригинал и его зеркальное отражение) в одно, построим не ассоциативный круговой массив из 6 не параметрических тел.



➤ **Команда выполнения разреза –**

Данная команда позволяет разрезать тело плоскостью на два тела и, при необходимости, одно из них удалить.

**После выбора тела** необходимо указать плоскость, по которой будет проходить сечение. Приведенные опции дают возможность различными способами выбрать секущую плоскость.

```
slice - Разрез
Выберите объекты для разрезания или [?]:
1 найдено
Выберите объекты для разрезания или [?]:
Начальная точка режущей плоскости или [плоский Объект/Зось/Вид/XY/YZ/ZX/3точки]<3точки>: 3точки
Укажите первую точку на плоскости:
Укажите вторую точку на плоскости:
Укажите третью точку на плоскости:
Выберите сторону, которую необходимо оставить или [Обе]:
```

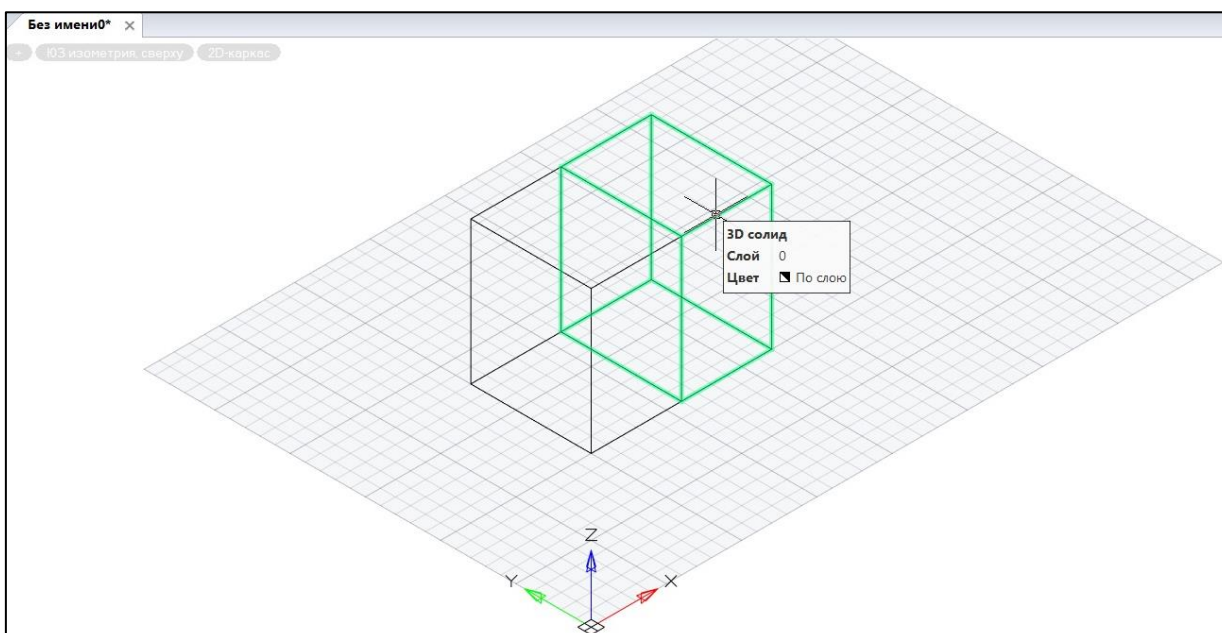
Способ задания секущей плоскости (кроме очевидных, задаваемых **Зосью, видом и плоскостями СК**):

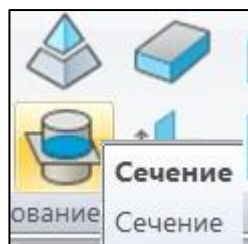
**2 точки (по умолчанию)** - строится секущая плоскость по двум точкам перпендикулярно плоскости XY.

**3 точки** - секущая плоскость задается тремя точками.

**Плоский объект** - секущая плоскость определяется плоским объектом.

Ниже рассмотрен пример разрезания твердотельного примитива **Ящик** на два плоскостью, проходящей через три точки – середины трех параллельных ребер:

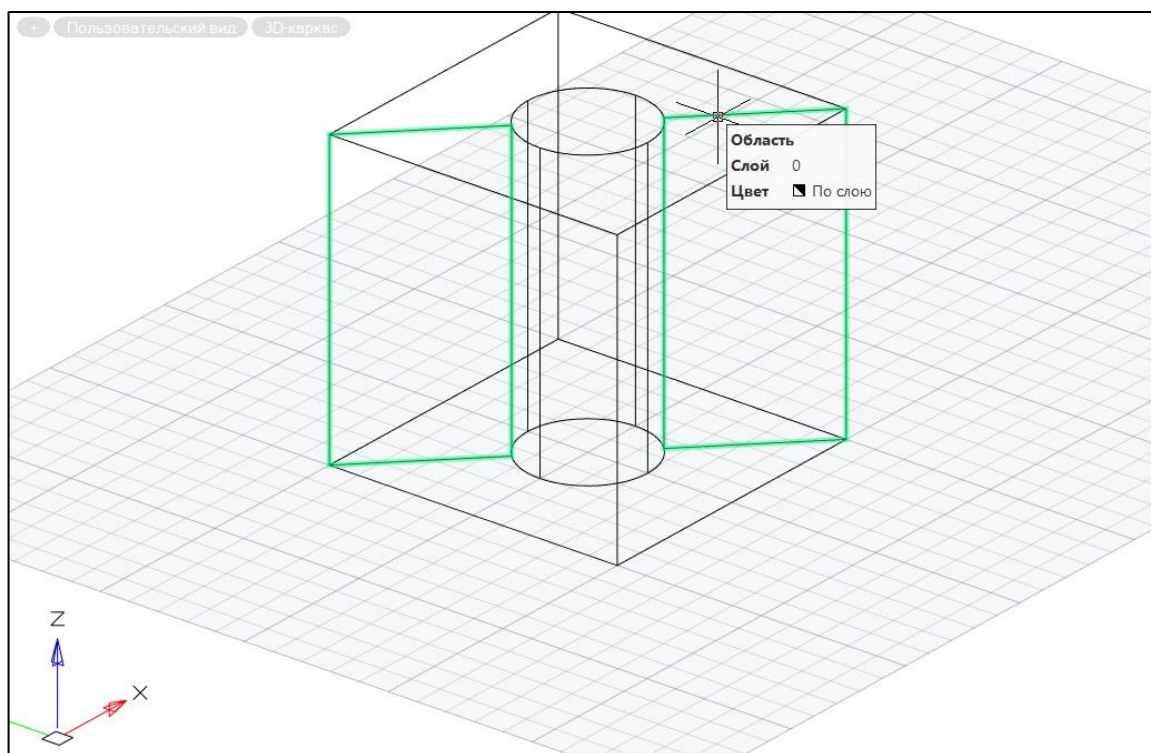




➤ **Команда выполнения сечения -**

Выполнение данной команды аналогично выполнению команды **Разрез**, но с гораздо более предсказуемым результатом и логичными реакциями системы на выбор опций команды. Обучающимся предлагается самостоятельно изучить особенности выполнения данной команды (**Справочник команд nanoCAD**) на примере простейшей модели – куба с цилиндрическим отверстием, проходящим через выбранную грань.

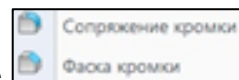
**Выбираем способ задания секущей плоскости по умолчанию – по трем точкам.** Остальные опции аналогичны рассмотренным в команде **Разрез**.



```

section - Сечение
Выберите объекты или [?]:
1 найдено
Выберите объекты или [?]:
Первая точка на секущей плоскости или [Объект/Зось/Вид/XY/YZ/ZX/3точки]<3точки>:
Вторая точка на плоскости:
Третья точка на плоскости:
  
```


В результате выполнения команды **Сечение** (задание секущей плоскости произведено по трем точкам – вершинам куба) получен плоский объект – графический примитив **Область**, представляющий **2D** поперченное сечение данного **3D** объекта – твердого тела.



## ➤ Команды Снятие фаски и Выполнение сопряжения на ребре

Данные команды могут быть используются в **Прямом моделировании** для сопряжения ребер (добавление или снятие материала) и снятия симметричных и несимметричных фасок на ребре (кромке).

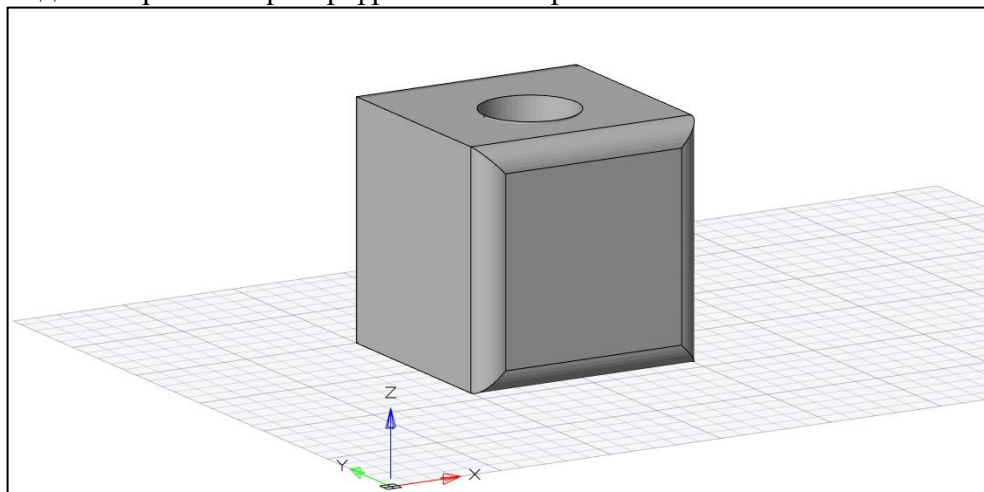
Диалог команды **Сопряжение кромки** очевиден:

- 1) Вызовите команду  **Сопряжение кромки**.
- 2) Задайте радиус сопряжения. Вызовите из контекстного меню или из командной строки опцию **Радиус** и укажите значение радиуса.
- 3) Выберите способ задания ребер, опции:
- 4) **Ребро** (по умолчанию) - ребра выбираются последовательным выбором.
- 5) **Контур** - сначала выбирается одно ребро нужной грани, затем грань. Все ребра нужной грани добавляются в набор.
- 6) Укажите ребра выбранным способом. Все ребра должны иметь смежную грань. Для завершения выбора нажмите клавишу **Enter**.

**Фаска кромки** строится аналогично.

Диалог этих команд практически одинаковый. Отличие состоит только в том, что в случае выполнения команды **Фаска кромки** необходимо задать два расстояния, при выполнении команды **Сопряжение кромки** задают радиус.

Ниже показан диалог команды **Сопряжение кромки** и результат ее выполнения на кубе с отверстием для сопряжения ребер фронтальной грани **R = 10**.

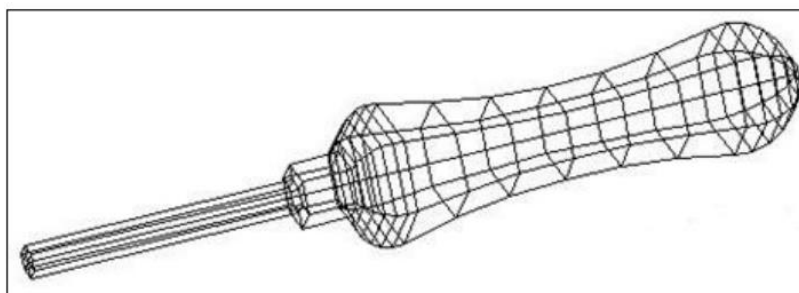
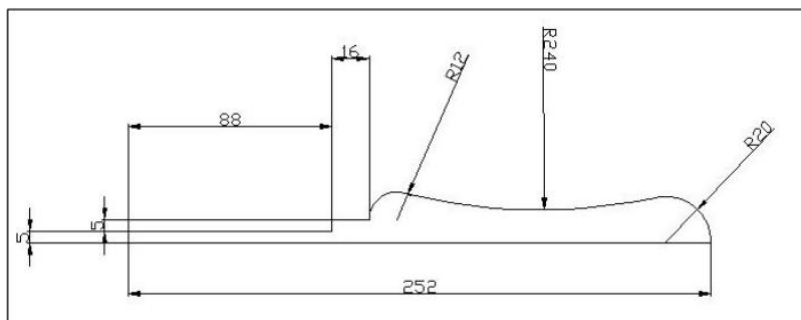


```
filletedge - Сопряжение кромки
Выберите ребро или [Контур/Радиус]:
найдено: 1, всего: 1
Выберите ребро или [Контур/Радиус]:
найдено: 1, всего: 2
Выберите ребро или [Контур/Радиус]:
найдено: 1, всего: 3
Выберите ребро или [Контур/Радиус]:
найдено: 1, всего: 4
Выберите ребро или [Контур/Радиус]: Радиус
Введите радиус сопряжения <1>: 10
Выберите ребро или [Контур/Радиус]:
Нажмите Ввод, чтобы принять сопряжение или [Радиус]:
```

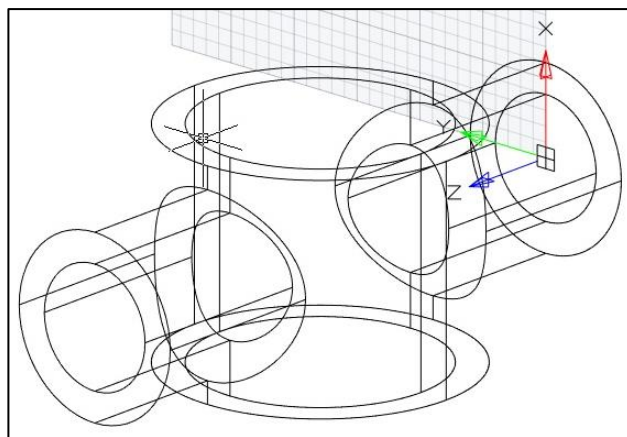
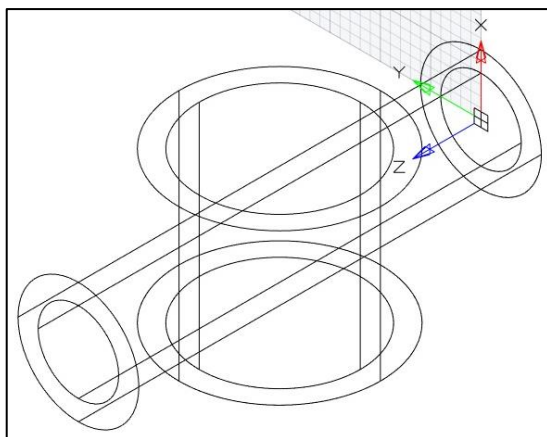
5. **Лабораторное задание.** При выполнении задания рекомендуется самостоятельно изучать особенности команд с помощью встроенного **Справочника команд paпoCAD**

1. Освоить команды построения базовых твердых тел. Изменяя системную переменную **ISOLINES**, оценить ее влияние на визуализацию моделей твердых тел при задании разных визуальных стилей.
2. Изучить особенности построения тел вращения. Повторить построение тела вращения с предварительным созданием замкнутого контура по заданию преподавателя – см. Лабораторная работа №4. Приложение №1.

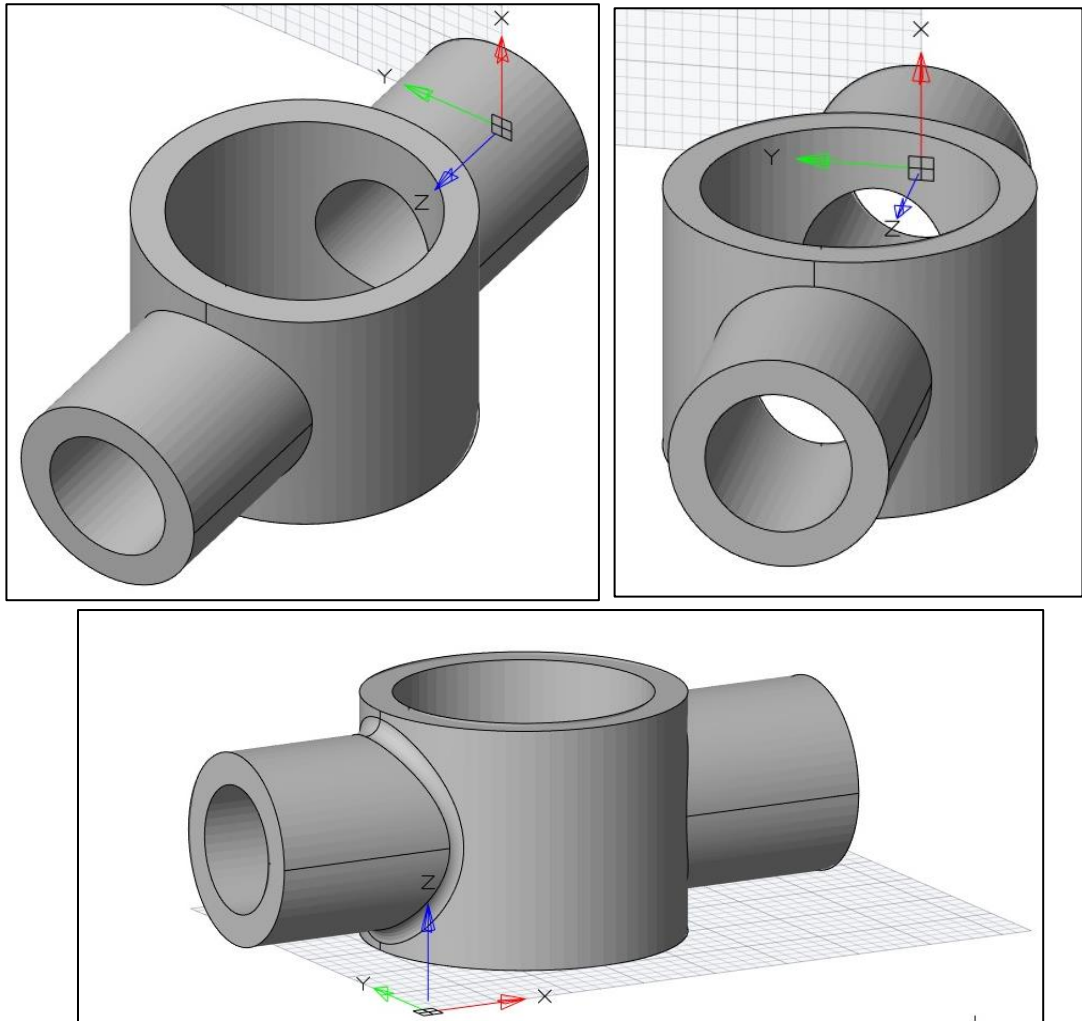
([http://a0601.narod.ru/Add\\_LR\\_04\\_Surf\\_2023.pdf](http://a0601.narod.ru/Add_LR_04_Surf_2023.pdf))



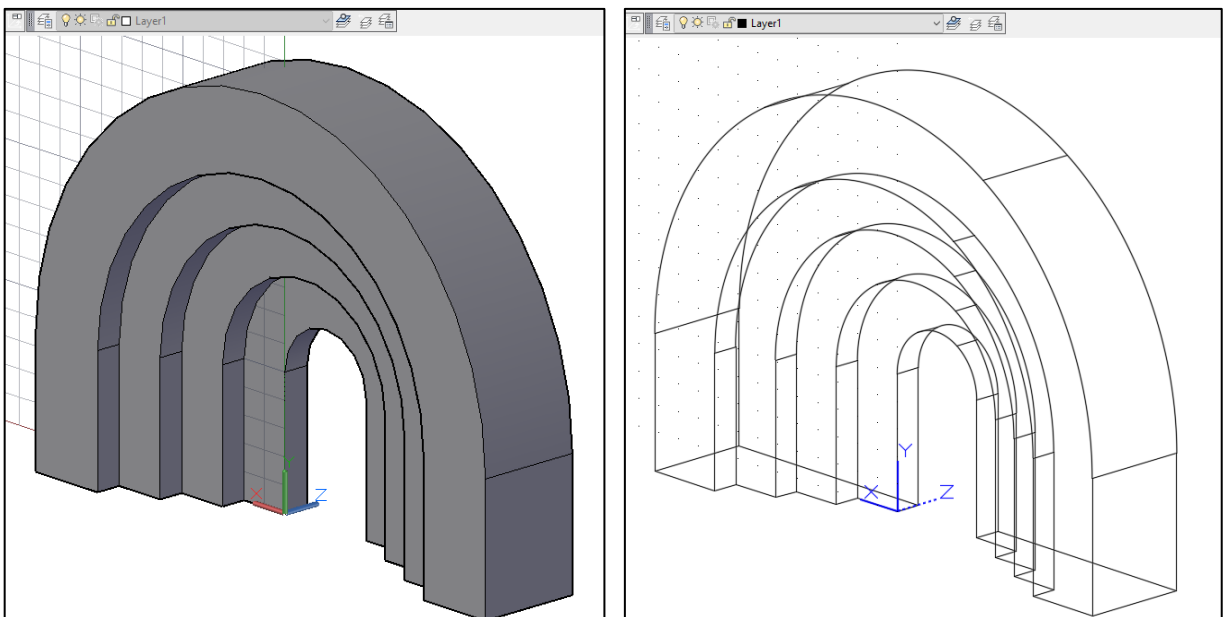
3. Используя изученные команды твердотельных примитивов или команды построения твердых тел по кинематическому принципу построить модель двух пересекающихся труб по аналогии с примером на псевдоповерхности из ЛР№4 ([http://a0601.narod.ru/CG\\_LR\\_04\\_Surf\\_2023.pdf](http://a0601.narod.ru/CG_LR_04_Surf_2023.pdf) стр. 8) Какова оптимальная последовательность выполнения булевых операций (команды **Объединение** и **Вычитание**) для получения требуемого результата? По заданию преподавателя выполните сопряжения ребер, например – выполнение внешних сварочных швов.



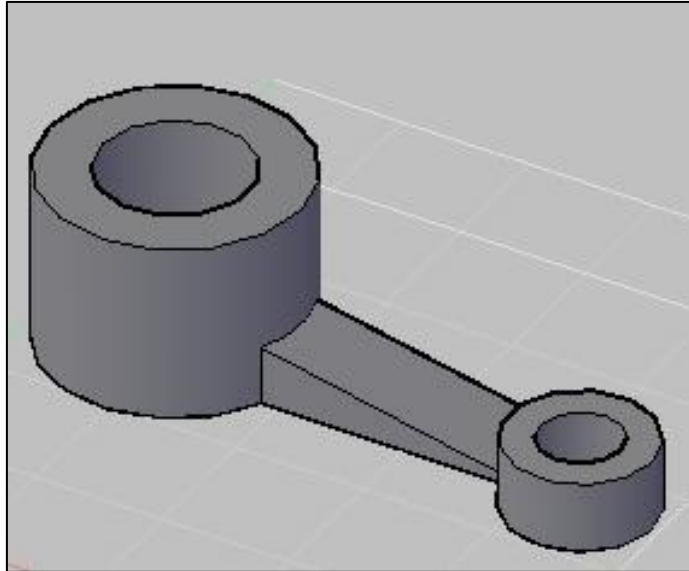




4. Используя команды **Выдавливание** (опция **Траектория**) или **Вытягивание по траектории**, постройте элемент архитектурного оформления ст. **Метро Добрынинская Кольцевая**, правильно построив опорную геометрию - профиль и траекторию его перемещения.

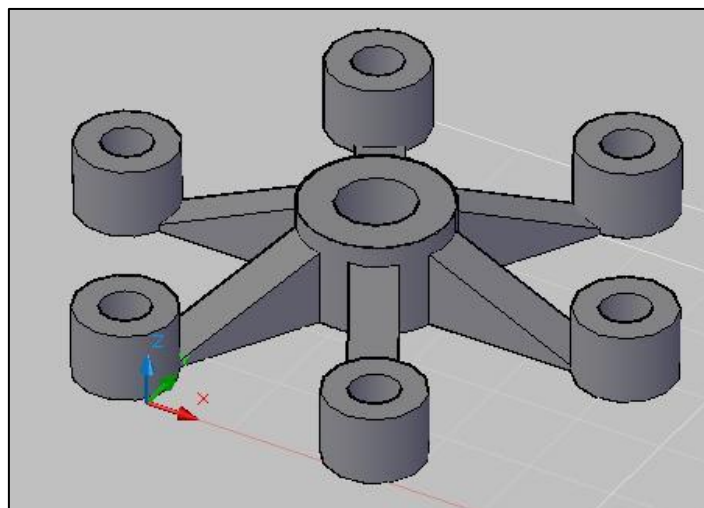


5. Изучить возможности команды **Вытягивание по сечениям/Loft**. Постройте с помощью этой команды **усеченный конус** заданной высоты и радиусами основания и **усеченную пирамиду** с заданными длинами ребер верхнего и нижнего основания и высотой.
6. Создать модель твердого тела, показанную на рисунке:

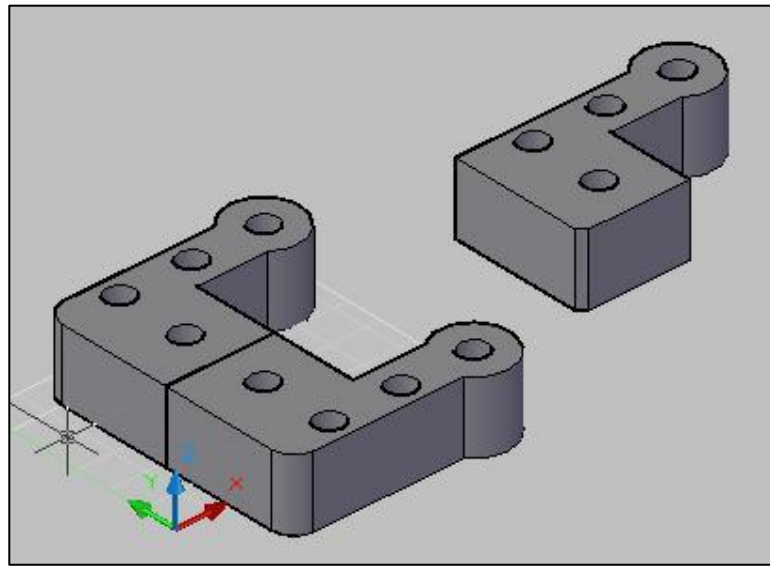


Выполнить с помощью команды **3D Rotate** поворот тела относительно оси, проходящей через центр верхнего и нижнего оснований большего цилиндра.

7. Выполнить копирование в массив по окружности. Результат выполнения команды **Круговой массив** должен выглядеть следующим образом:



8. Создать трехмерную модель, выполнить зеркальное отражение, снять фаску и выполнить скругления.



9. Выполнить задание с использованием освоенных команд построения твердотельных моделей: **твердотельные примитивы, Выдавливание и Вытягивание, Тела вращения, Разрезы, Булевы операции.**

