

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 №7. Команды редактирования твердых тел в системе nanoCAD.  
Редактирование граней. Редактирование ребер. Создание разрезов и сечений твердого  
тела. Пример построения твердотельной детали в системе nanoCAD.**

Москва

2023

## Цель лабораторной работы

Целью данной лабораторной является изучение команд редактирования твердого тела, как топологического объекта, т.е. редактирование отдельных топологических составляющих объектов твердого тела – оболочки, граней, ребер, вершин. Указанные функции рассматриваются с учетом ограниченных возможностей системы **NanoCAD**. В ходе выполнения работы на конкретном примере детали изучаются основные принципы разработки сложных твердотельных деталей на основе более простых твердотельных объектов.

## Пояснения к заданию

**При построении твердого тела** основой алгоритмов, реализованных в геометрическом моделиере конкретной САПР, является информация о связности поверхностей, составляющих оболочку твердого тела.

Все геометрические объекты, определяющие оболочку твердого тела, должны обладать топологическими свойствами (например, связность различных точек оболочки). Свойство непрерывности последовательности точек оболочки является топологическим свойством – **оболочка является топологическим объектом. Топологические объекты несут одновременно и геометрическую, и топологическую информацию.**

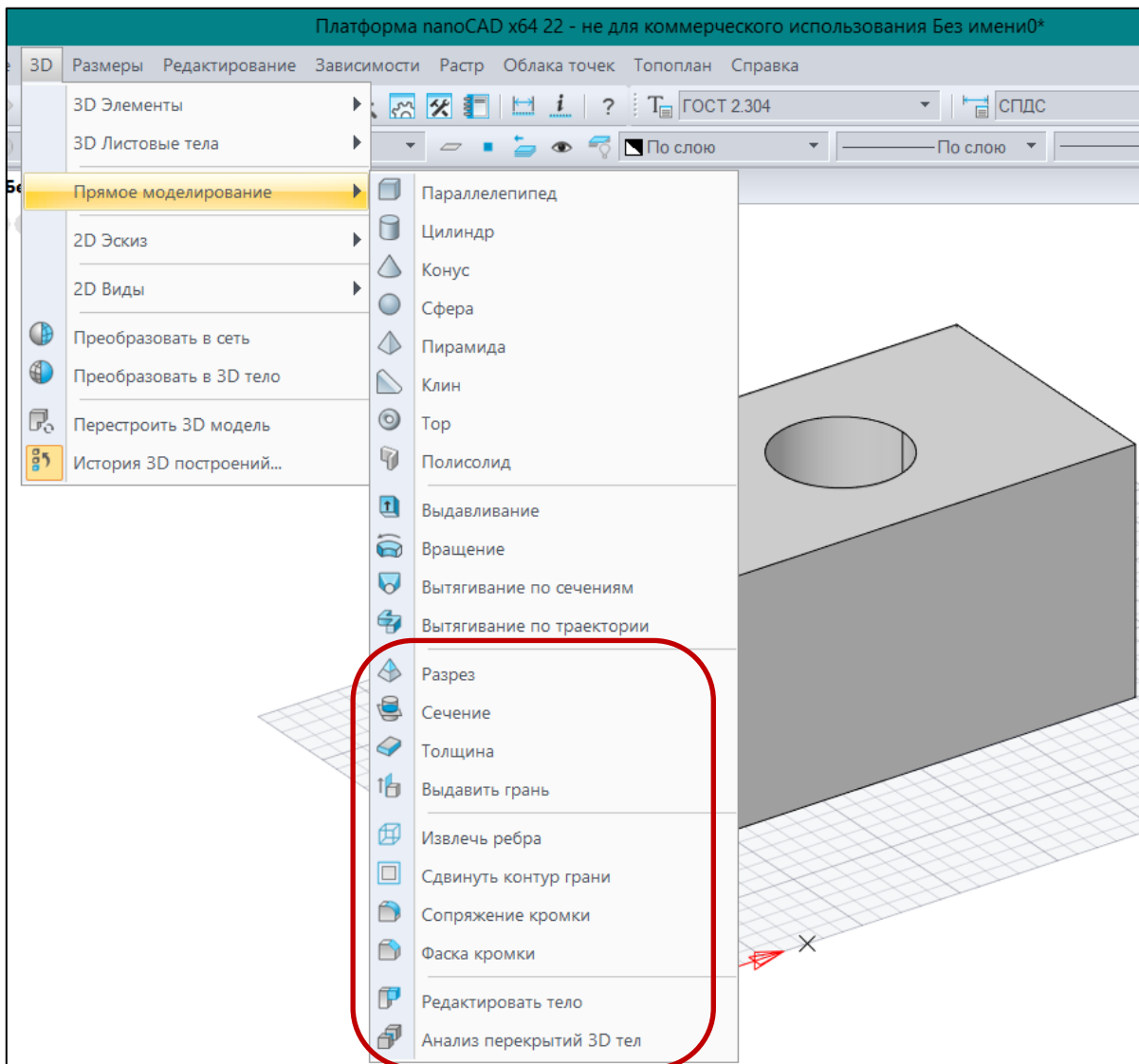
При создании оболочки используются такие топологические объекты, как **грань, ребро, вершина, цикл, оболочка.**

В **nanoCAD** используется так называемое **прямое редактирование**, которое предполагает работу с границей твердого тела, т.е. с его оболочкой и другими топологическими объектами, из которых состоит твердое тело. В данной ЛР рассмотрены основные функции, с помощью которых может быть отредактировано формируемое твердое тело, в том числе и за счет изменения положения его граней (команды выдавливания граней), разрезания твердого тела плоскостями на части, получение различных плоских сечений, скругление/сопряжение выбранных ребер, снятие фаски по ребру, получение твердого тела за счет использования булевых операций и пр. В **nanoCAD** существует команда, объединяющая несколько вариантов редактирования граней, ребер и тела целиком – речь идет о копировании ребер или граней, задании для ребер и граней новых цветов, разделении тела, имеющего несколько перегибов на разные тела. Часть этих команд были рассмотрены в предыдущей ЛР, хотя по формальным признакам они должны относиться к редактированию твердого тела. В данной Лабораторной работе будут рассмотрены команды редактирования тел, позволяющие построить целевую деталь оптимальным образом.

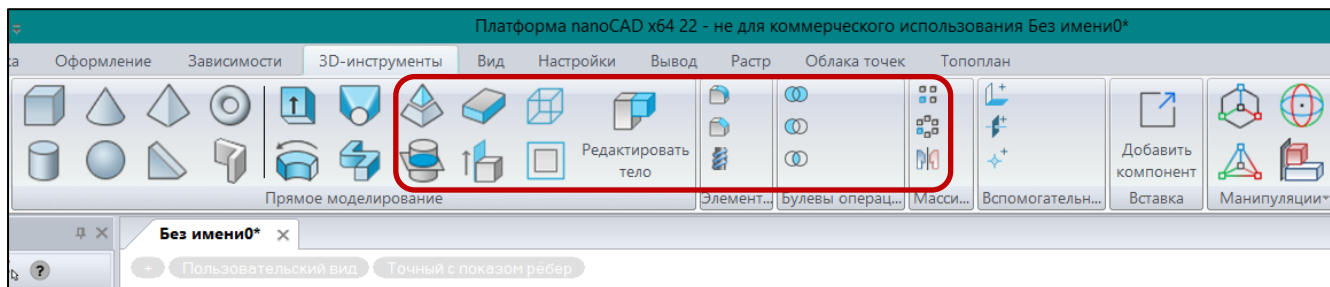
Команды редактирования твердого тела могут быть вызваны как из ленточного, так и из падающего меню. При выборе необходимой команды следует помнить, что мы рассматриваем **режим моделирования – Прямое моделирование**. Кроме того, как было описано в предыдущей ЛР, ряд команд редактирования, вызванные в подразделе **3D Элементы (массивы, зеркальное отражение)** приводят к появлению т.н. **параметрических тел**, которые не могут быть использованы для совместной обработки с **непараметрическими телами**. С другой стороны, размножение непараметрических тел по функционалу **Массивы и Зеркало**

может быть реализовано с помощью команд из Раздела **Построения** в ранее изученном **2D моделировании**.

Рассмотрим способы получения доступа к командам редактирования твердых тел с помощью падающего меню:

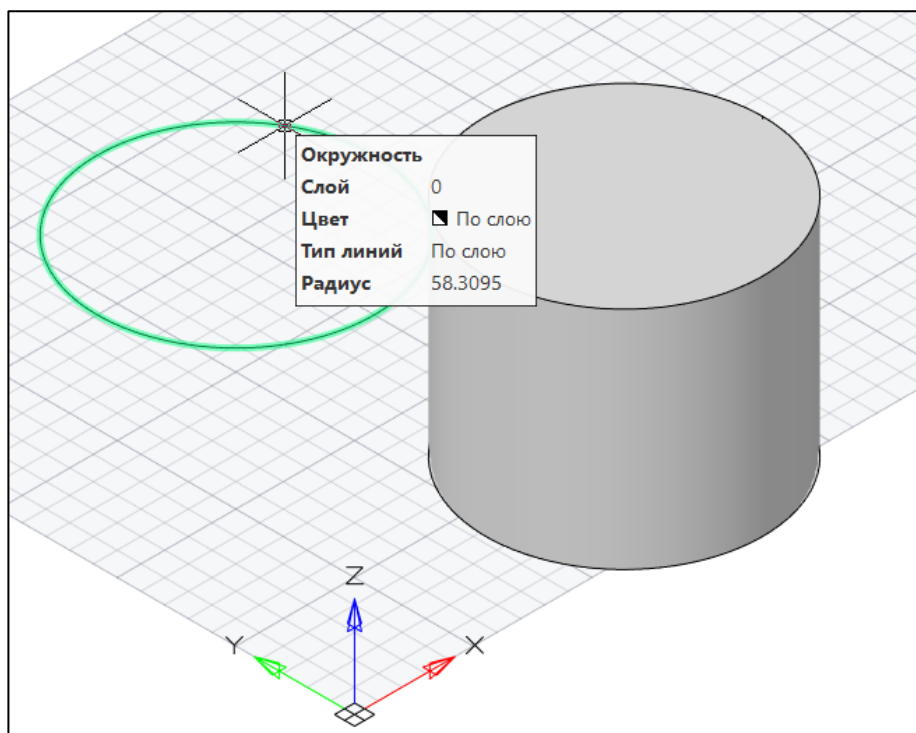
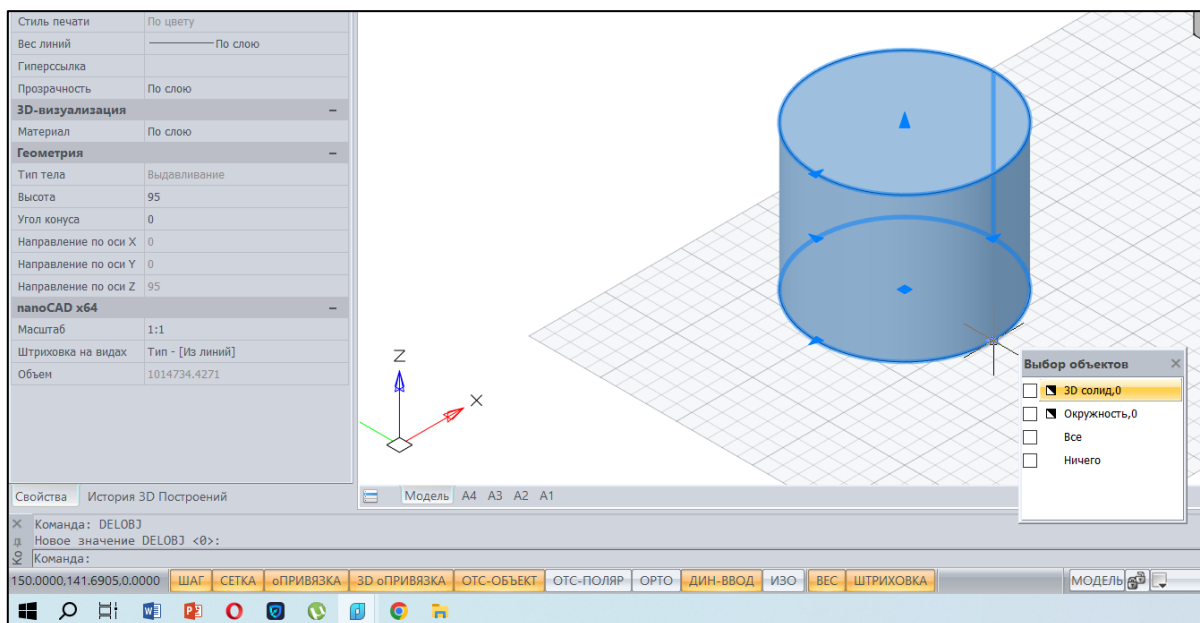


**Кроме того, команды** редактирования топологических объектов твердого тела могут быть вызваны из ленточного меню:




## Остановимся подробнее на наиболее часто используемых командах редактирования твердых тел.

**ВАЖНО!!!** Прежде чем переходить к редактированию твердого тела, следует позаботиться о том, чтобы исходная опорная геометрия, в первую очередь – профили (контура, сечения, области), которые использовались в командах получения тел по кинематическому принципу, оставались доступными для повторного использования. За это в системе отвечает специальная системная переменная **DELOBJ**. Ее значение по умолчанию соответствует **3**, однако для того, чтобы контура были доступны для выбора в командах **nanoCAD**, значение нужно изменить на **0**. Например, приведенный ниже цилиндр построен с помощью команды **Выдавливание окружности**, построенной в плоскости **XY**. Опорная геометрия – окружность – остается доступной после построения солида, что особенно заметно после его перемещения по плоскости построения:

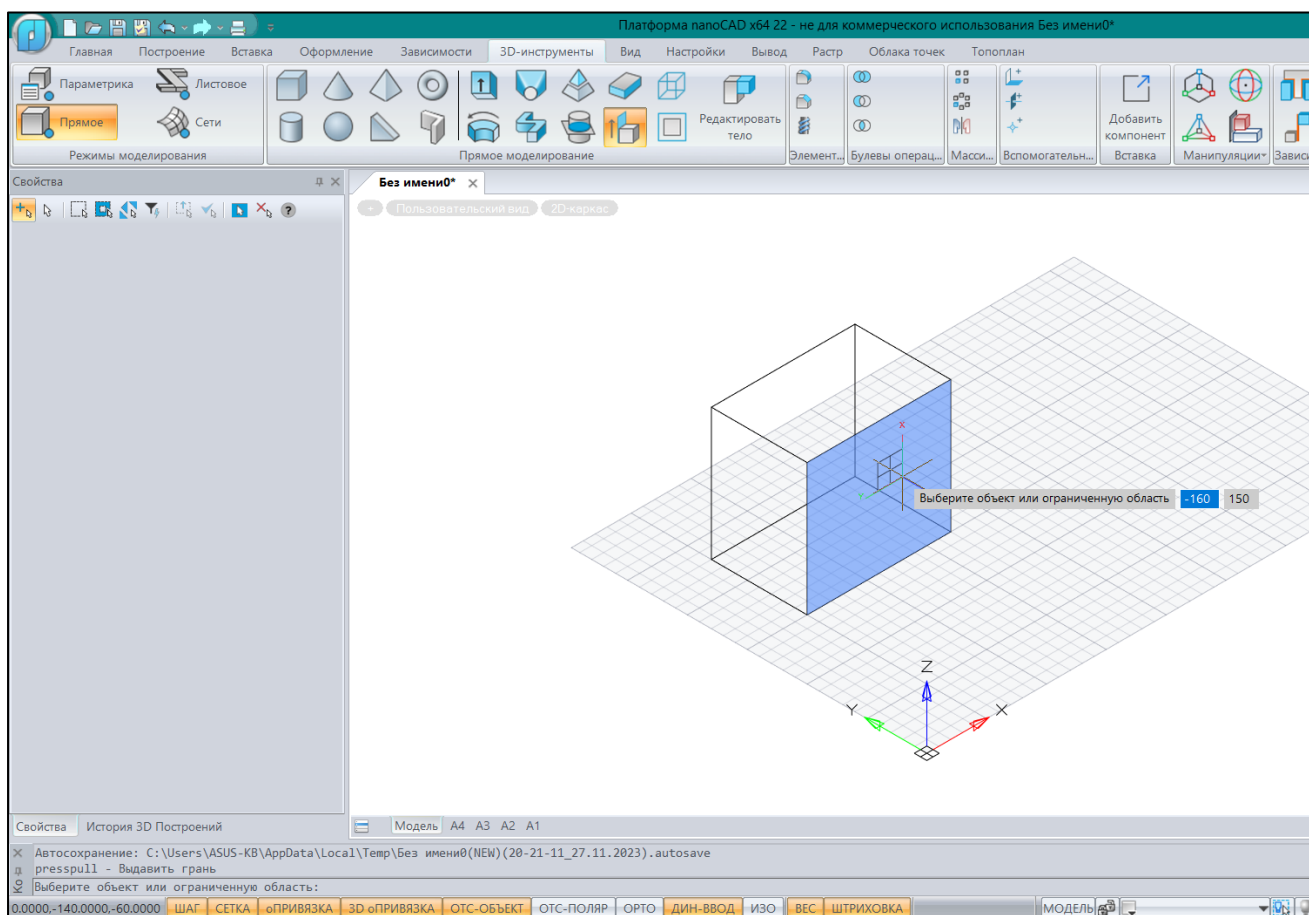


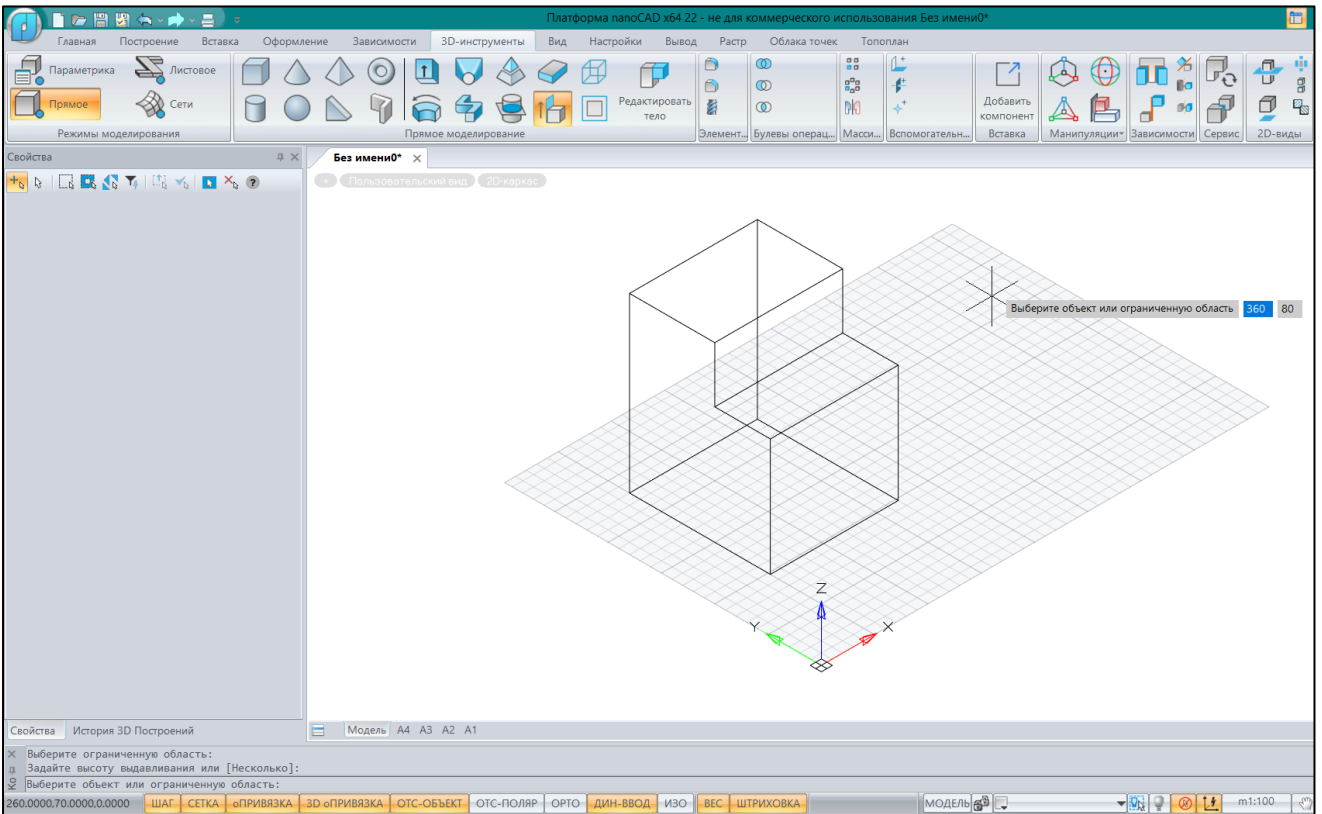
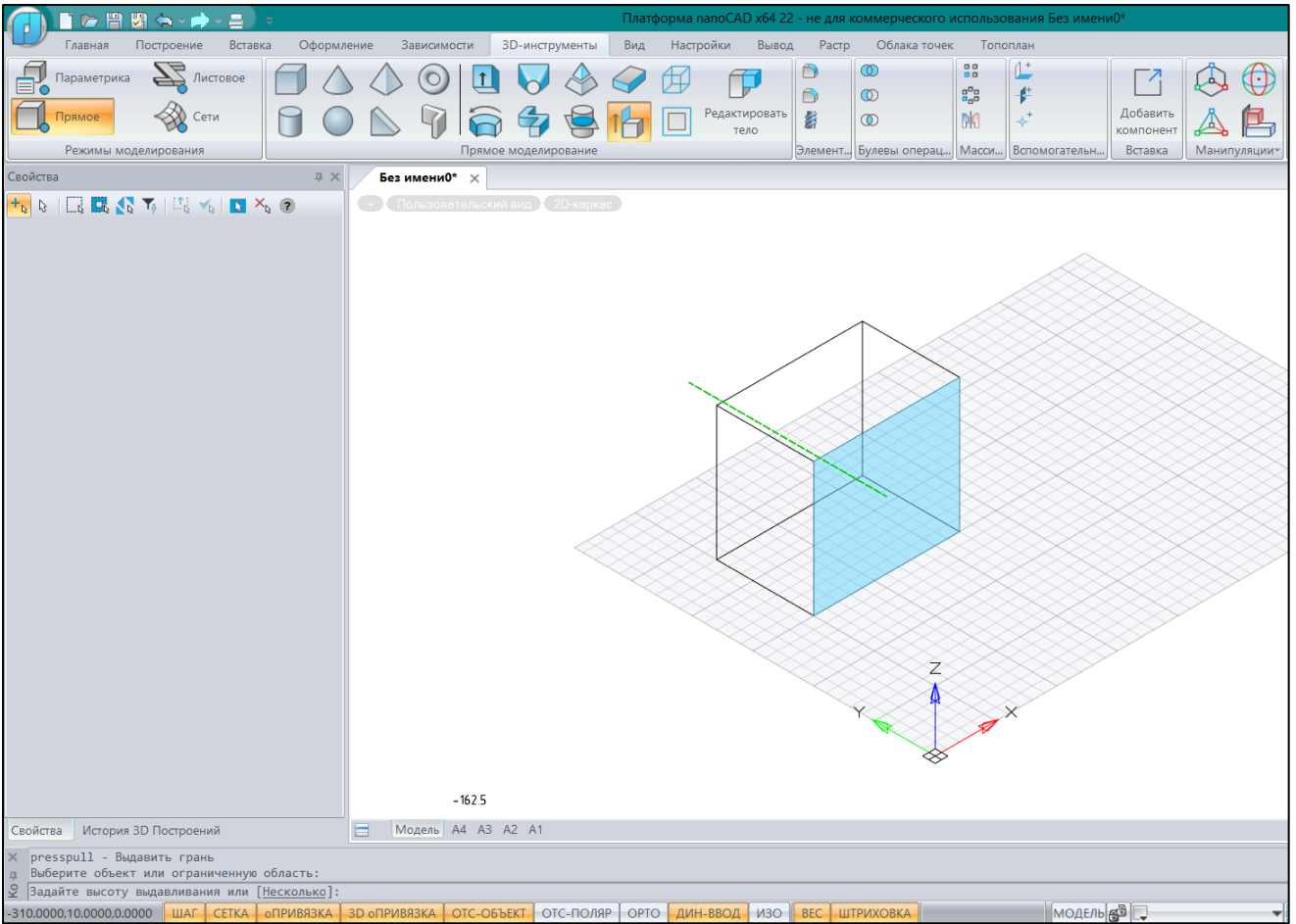
## I. Команды редактирования граней. К командам редактирования граней в

**paпoCAD** в первую очередь относится команда 

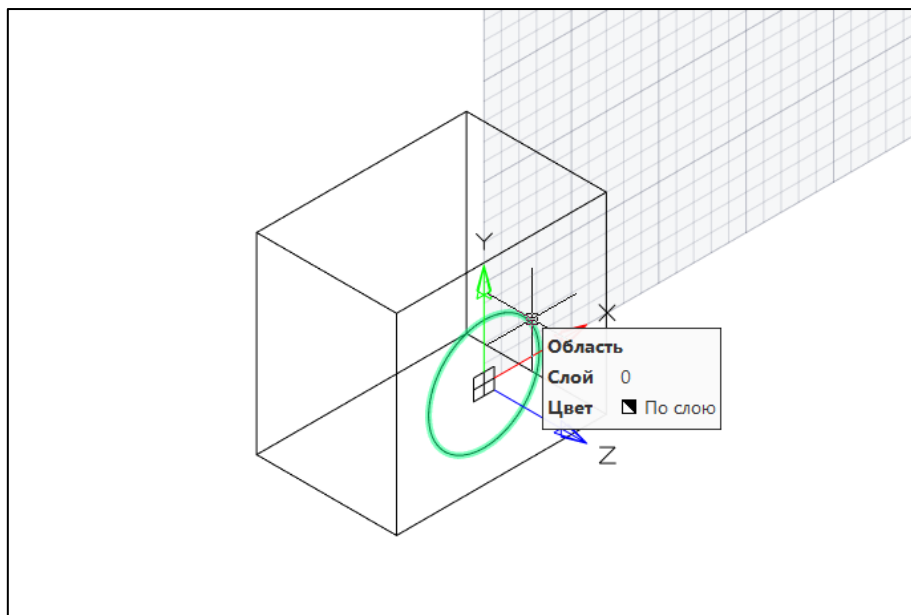
Дальнейший диалог в команде предполагает выбор либо объекта (**грани**, которая должна быть выдавлена), либо графического примитива на **грани** – **Область**, который также может быть выдавлен.

Ниже приведен пример выполнения команды **Выдавить грань** в режиме выбора объекта (**грани**), опции **Несколько** (выбираются передняя и верхние грани) и задания высоты выдавливания:

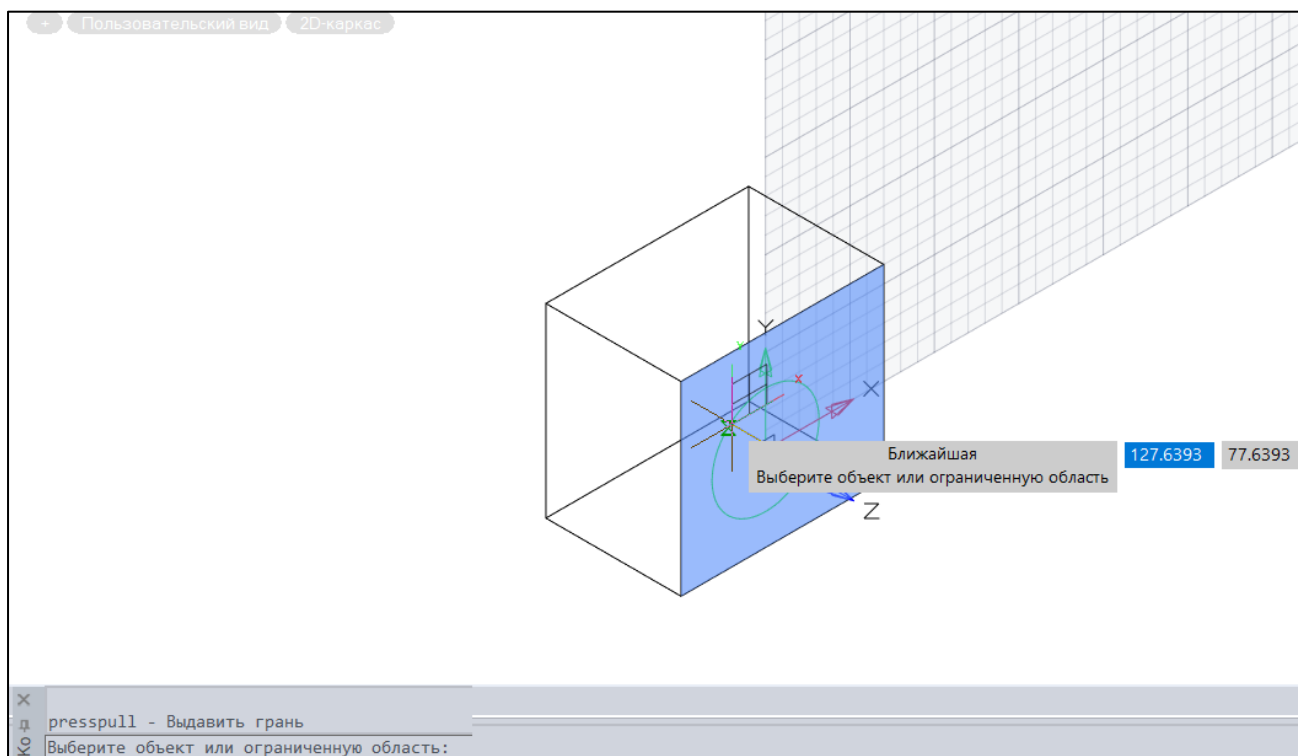


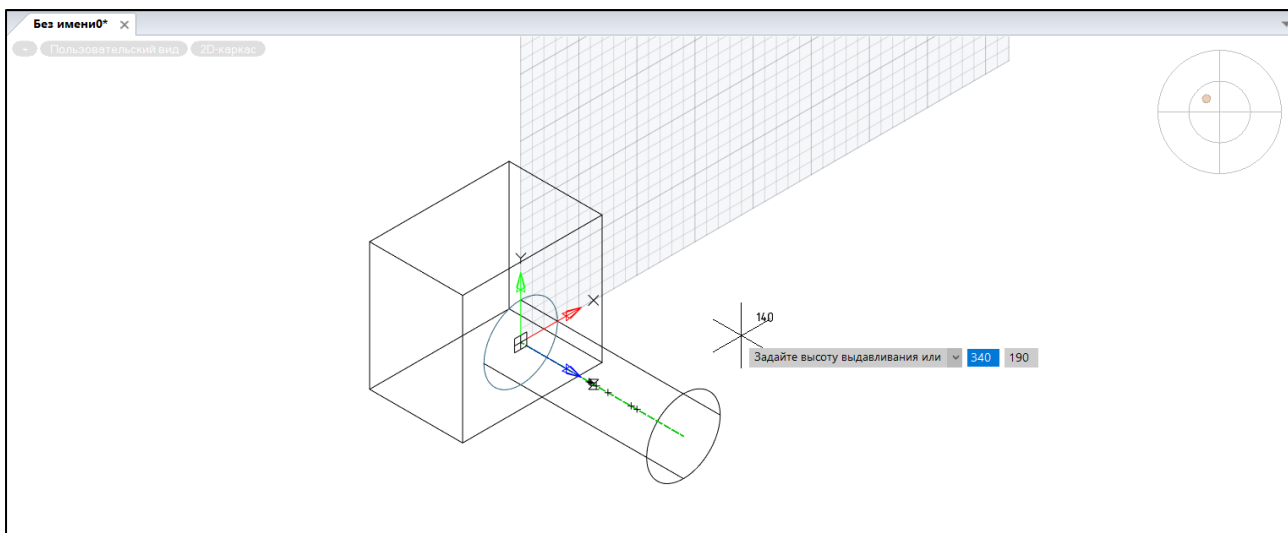


В команде можно выбрать не только грань, но, например, объект **Область**, если он построен на одной из граней. Например, в данном примере создадим такую **ограниченную область** на передней грани нашего солида с помощью соответствующей команды из раздела **Черчение** (удобнее всего найти эту команду в падающем меню).

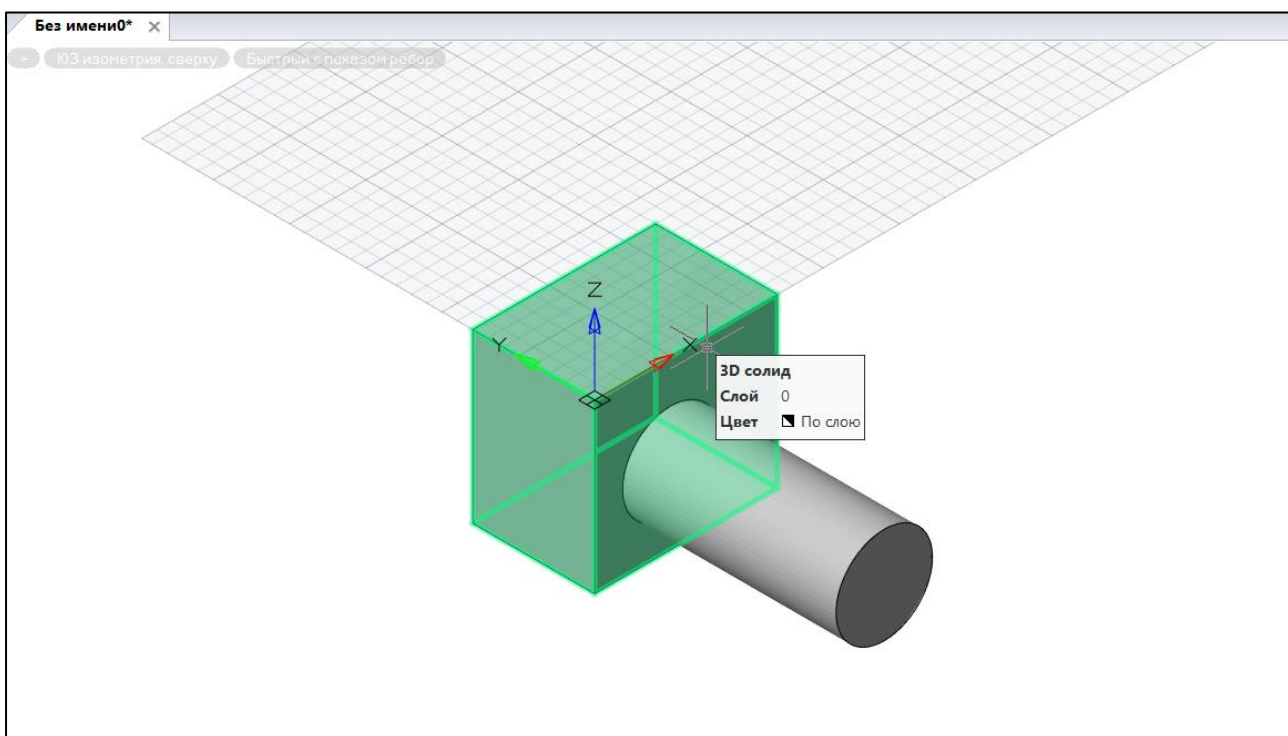



В команде **Выдавить грань** выбираем построенную **ограниченную область** и задаем высоту выдавливания





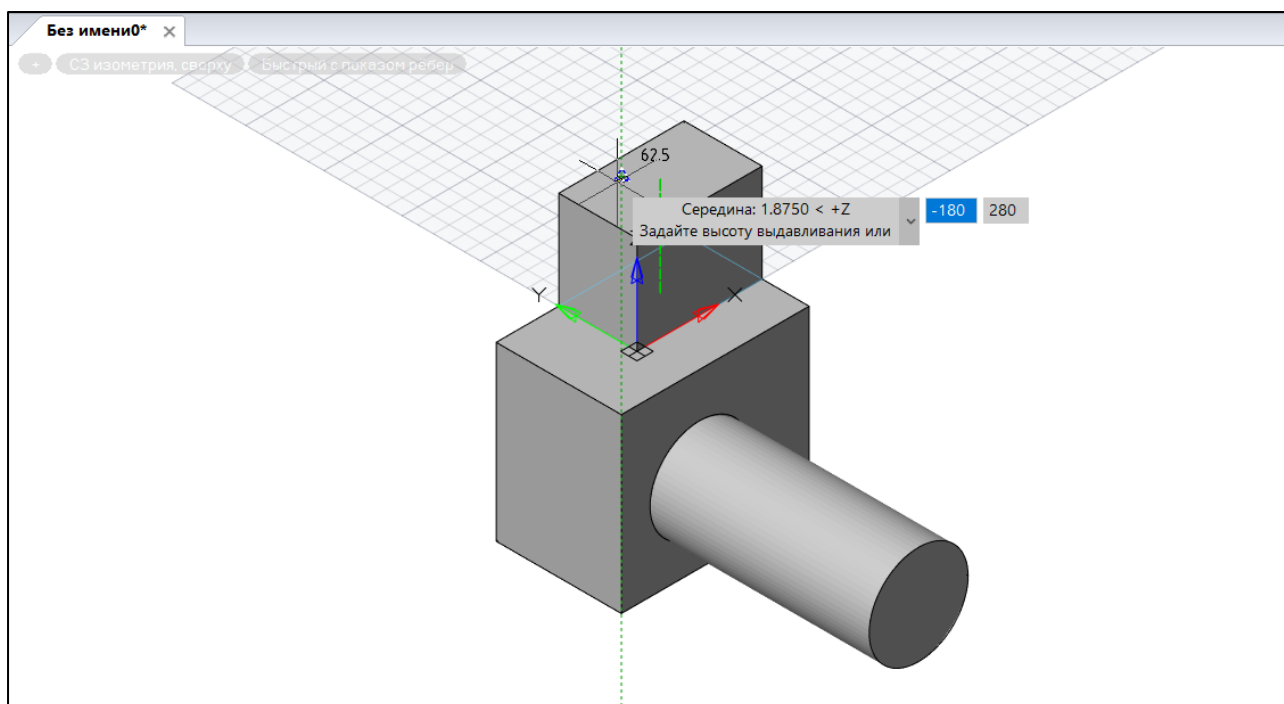
Результат приведен ниже:



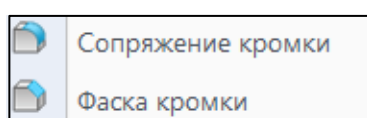
**ВАЖНО!!** Результатом проектирования детали должно стать единое твердое тело, вне зависимости от количества выполненных промежуточных построений и полученных твердых тел. Для данного примера необходимо выполнить команду  **Объединение**, чтобы получить единое твердое тело.

В качестве выдавливаемого объекта на грани может быть выбран любой замкнутый контур – **окружность, эллипс, полилиния, прямоугольник** – как в приведенном ниже примере:







## II. Команды редактирования ребер



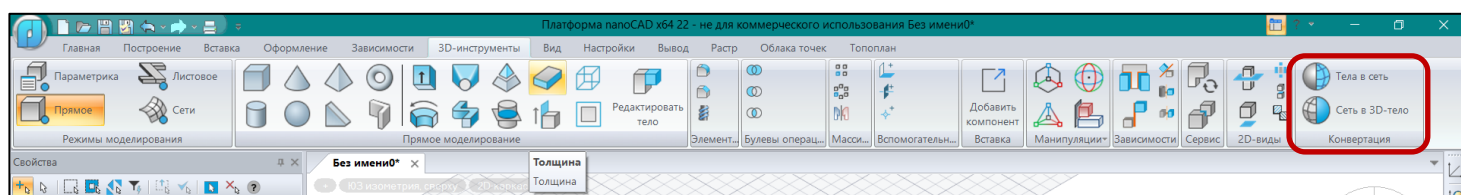
**Скругление – Сопряжение кромки. Рассмотрена в ЛР №6. Построение скоса (Фаска кромки) для ребер 3D тел выполняется по аналогии с командой Сопряжение кромки.**

Команды  **Извлечь ребра** и  **Редактировать тело** работают в учебных версиях системы не стабильно. При желании обучающиеся могут попытаться выполнить эти команды самостоятельно, пользуясь описанием из **Справочника команд nanoCAD**.

## III. Команды редактирования тела и его оболочки

В **nanoCAD** есть команды, которые можно использовать для преобразования оболочек в твердые тела и наоборот. Например, преобразовывать замкнутые сетевые примитивы или поверхности, полученные в результате применения команд построения твердых тел по кинематическому принципу, выполненных в режиме **Поверхность**, в твердые тела, а твердые тела – в поверхности. Эффект от выполнения этих команд напоминает функции редактирования оболочек твердых тел, имеющих в системе **AutoCAD**, которая была взята за образец при разработке **nanoCAD**.


Данные команды находятся в закладке **3D Инструменты** в панелях **Прямое моделирование** и **Конвертация**.



Данные команды предлагаются обучающимся для самостоятельного изучения.

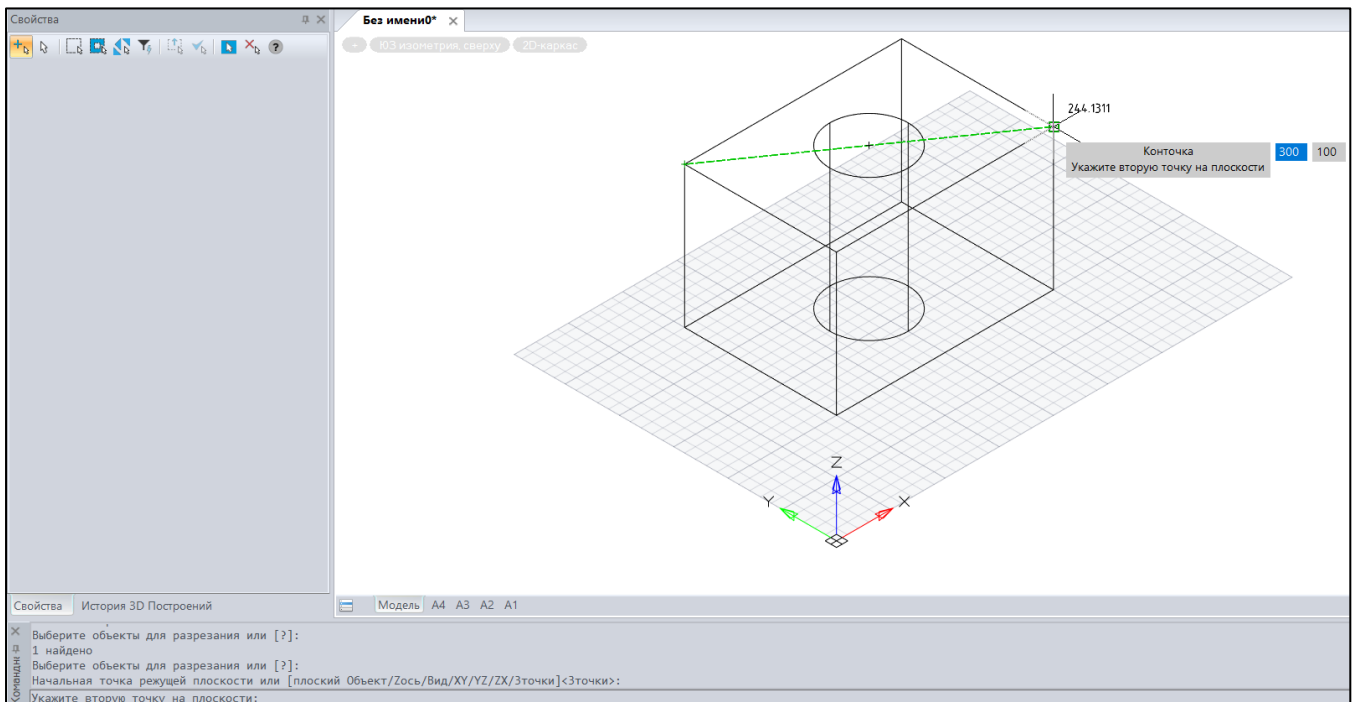
#### IV. Особенности выполнения команд Разрез и Сечение.

Эти команды были описаны в предыдущей Лабораторной работе. В данном описании рассмотрим более подробно особенности выполнения этих команд и дадим рекомендации по их выполнению.

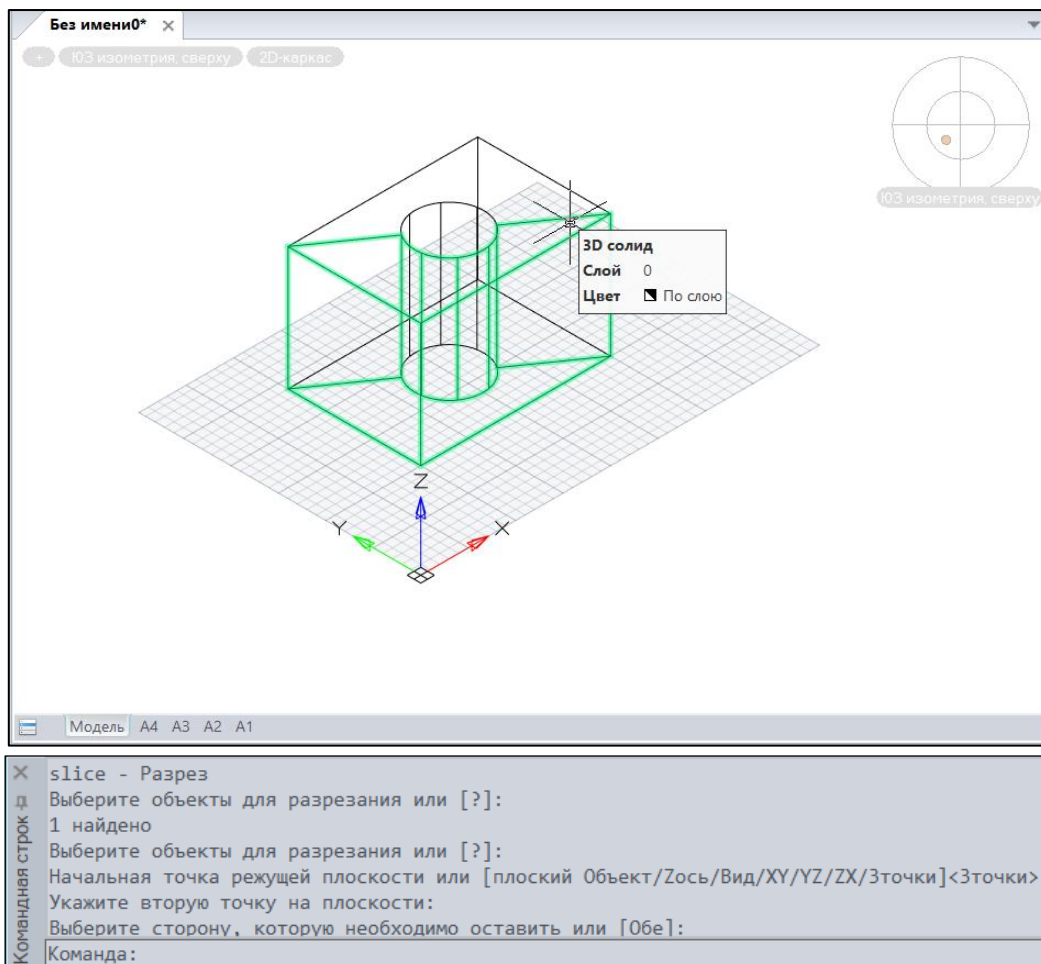
1. Команда Разрез  Разрез имеет очевидный диалог, включающий в себя формирование списка разрезаемых тел (должен заканчиваться нажатием клавиши **Enter**, даже если список состоит из одного объекта), и выбор способа задания режущей плоскости:

```
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>:
```

**Обратите внимание**, что несмотря на привычную форму записи запроса команды (имеется в виду - значение по умолчанию в косых скобках перед двоеточием **<3точки>**), в данном случае выбор по умолчанию означает не указание трех точек (для этого способа задания режущей плоскости необходимо выбрать опцию **3 точки** из списка опций принудительно), определяющих плоскость, а выбор двух точек, через которые может пройти режущая плоскость **перпендикулярно плоскости XY**:

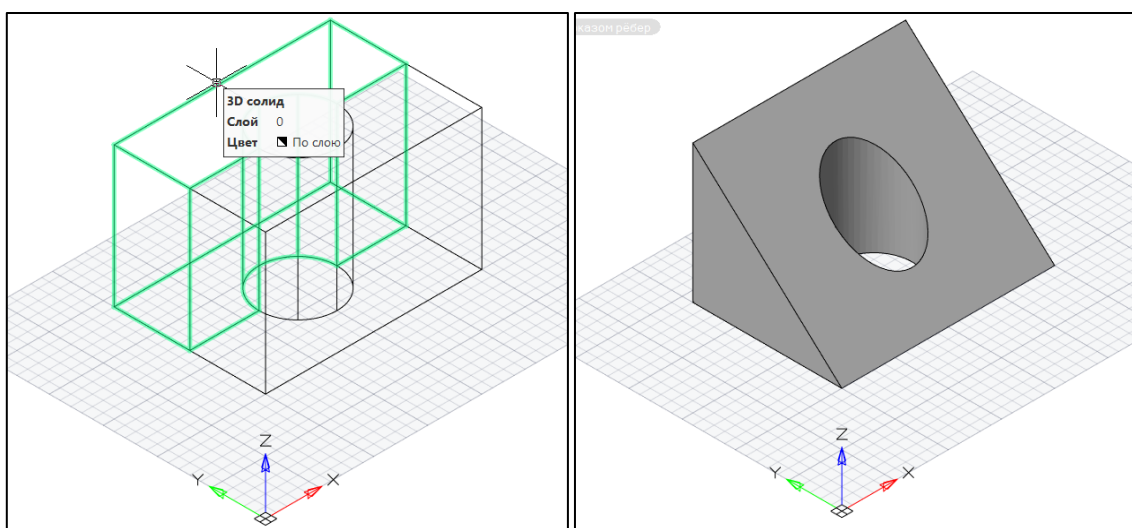



В результате выбора **двух противоположных вершин** на верхней грани выбранного для разрезания твердого тела, формируется режущая плоскость, рассекающая тело на две части – см. рисунок ниже. При этом последний запрос системы относится к выбору той части, которая должна остаться в проекте, или – обеих частей.

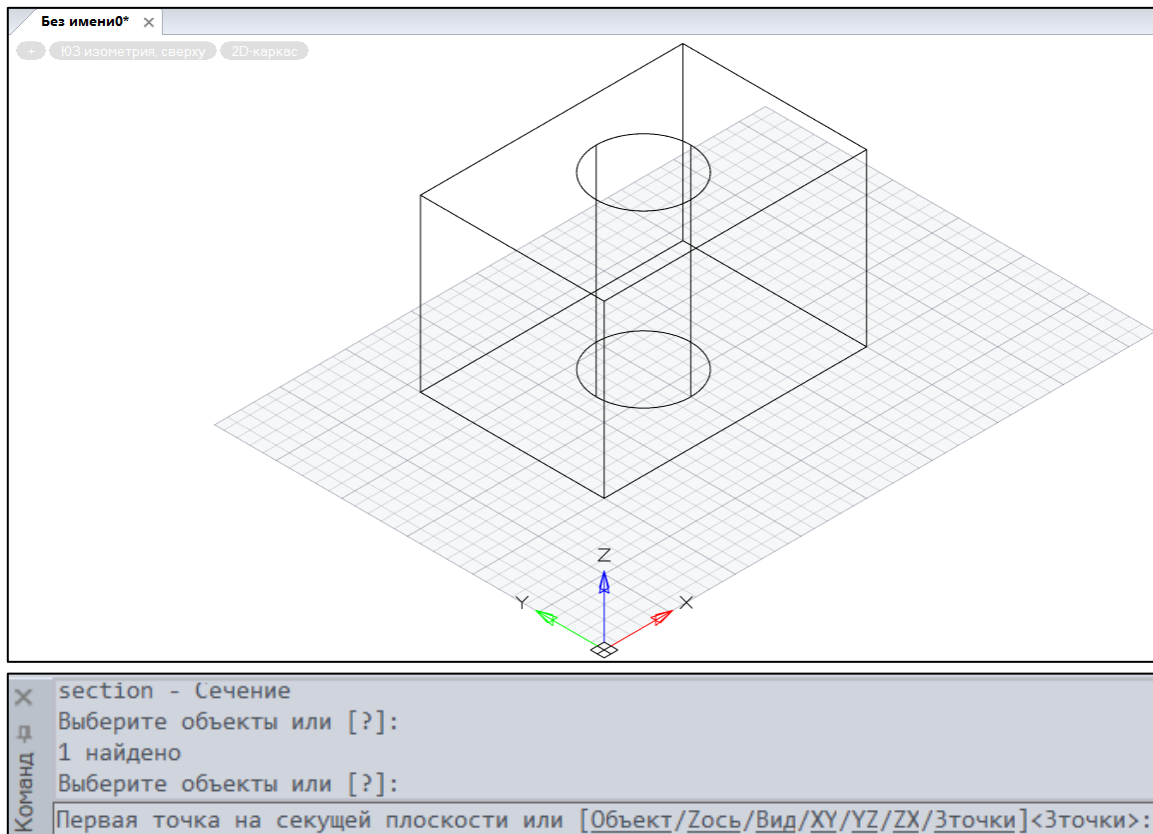


При выполнении данной команды рекомендуется задавать режущую плоскость по трем точкам, или по двум точкам – с выбором первой и второй точек наиболее очевидным образом, как например в приведенном примере.

Остальные опции команды для выбора режущей плоскости предлагаются обучающимся для самостоятельного обучения. Например, ниже приведен пример разрезания тела координатной плоскостью **ZX**, проходящей через середину ребра вдоль оси **Y**, а также плоскостью, заданной по трем точкам, проходящим через вершины одного ребра и середину противоположного на нижней грани (оставлена задняя часть):

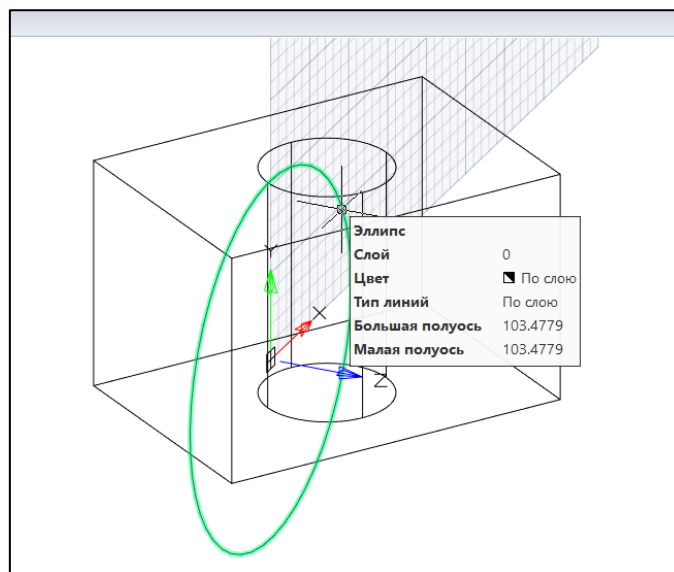


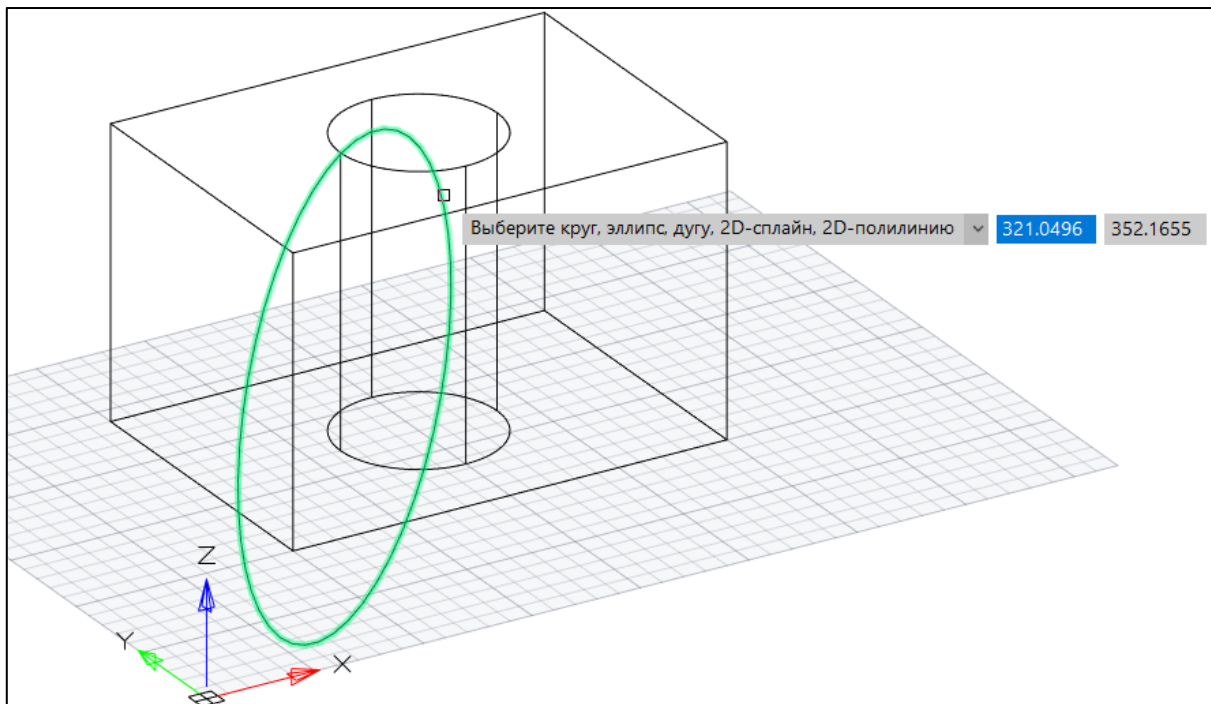
2. Команда **Сечение**  **Сечение** имеет диалог, подобный диалогу команды **Разрез**, за исключением опции построения секущей плоскости по двум точкам перпендикулярно плоскости **XУ**.



Определение секущей плоскости по умолчанию происходит **по трем точкам**, понятными являются способы задания секущих плоскостей **с помощью координатных плоскостей** – пользователь должен указать на объекте точку, через которую пройдет секущая плоскость, параллельная выбранной координатной плоскости.

Рассмотрим задание секущей плоскости с помощью уже имеющегося в проекте плоского объекта. Например:

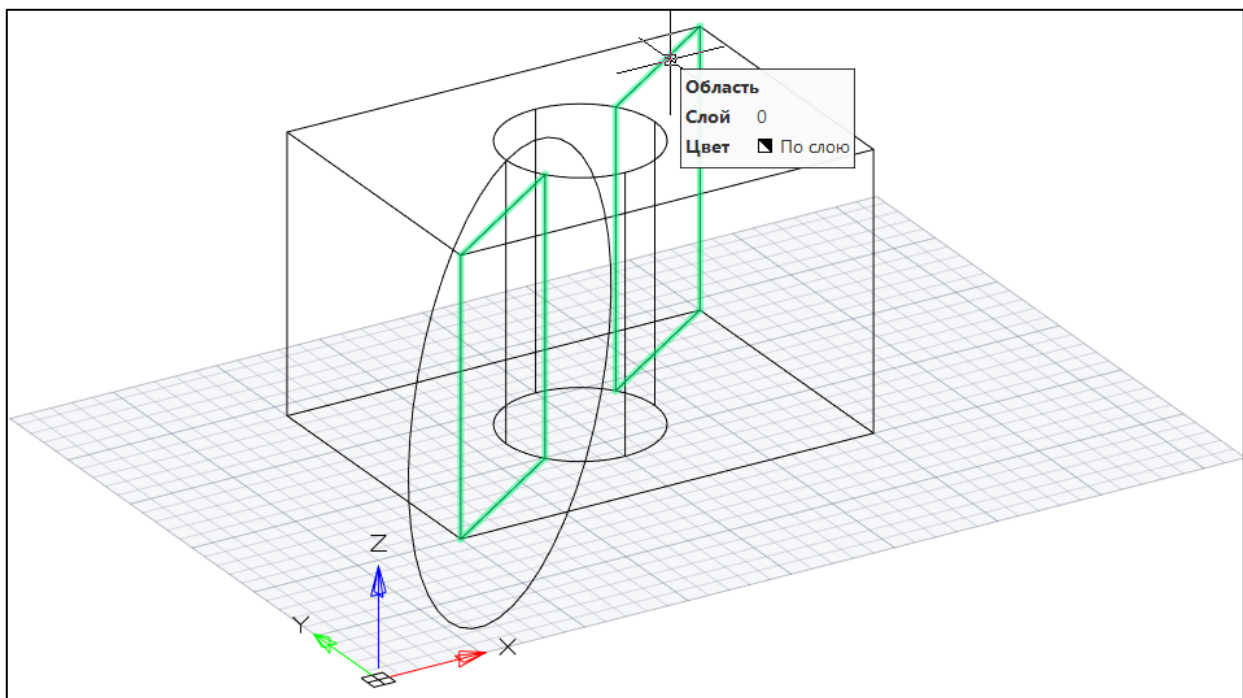




```

X Выберите объекты или [?]:
1 найдено
Выберите объекты или [?]:
Команд Первая точка на секущей плоскости или [Объект/Зось/Вид/XY/YZ/ZX/3точки]<3точки>: Объект
Выберите круг, эллипс, дугу, 2D-сплайн, 2D-полилинию или [?]:
  
```

В результате в секущей плоскости, которая определяется плоским объектом **Эллипс**, будет построен плоский объект – **Область**, который затем, в зависимости от задания, может быть разбит (команда **Разбивка** панели **Разбивка/Удаление** закладки **Построение**) на две области, каждая из которых также может быть разбита на сегменты, составляющие контур области.

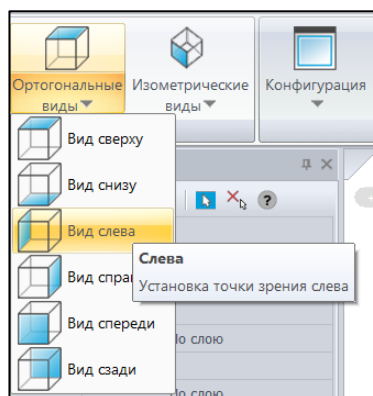
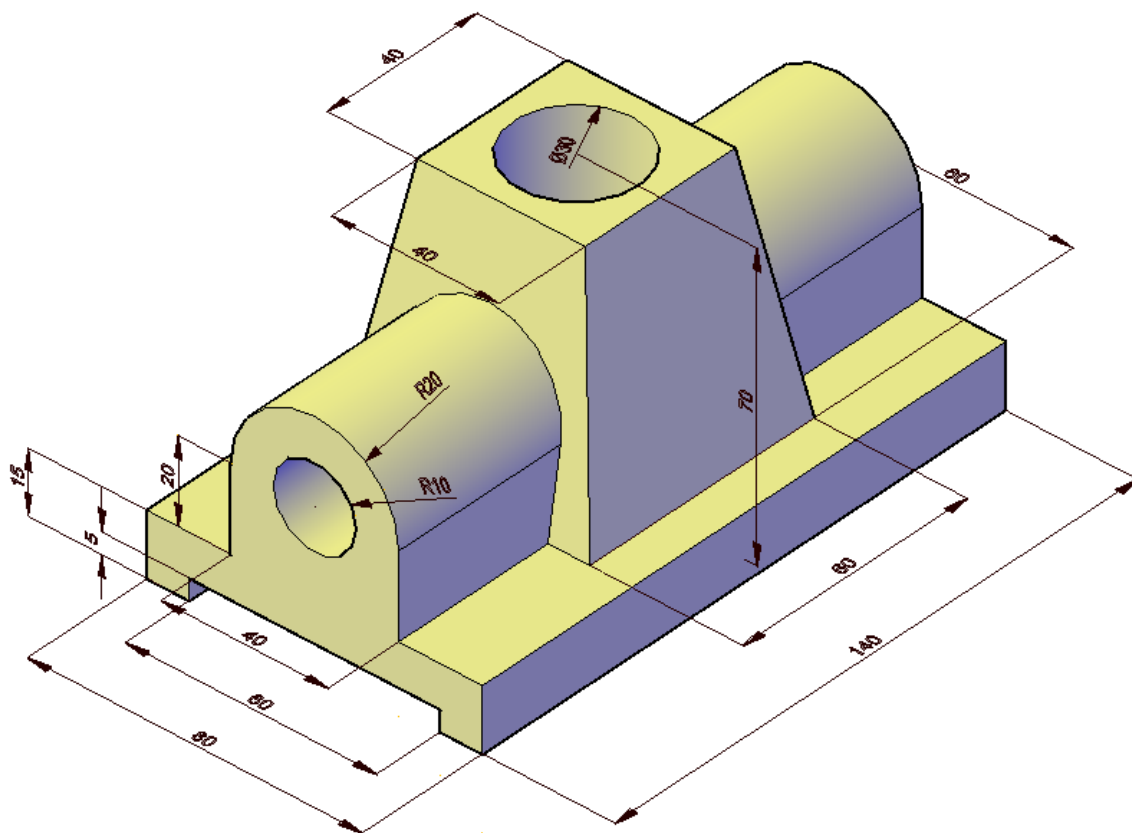


## V. Пример разработки сложной твердотельной модели.

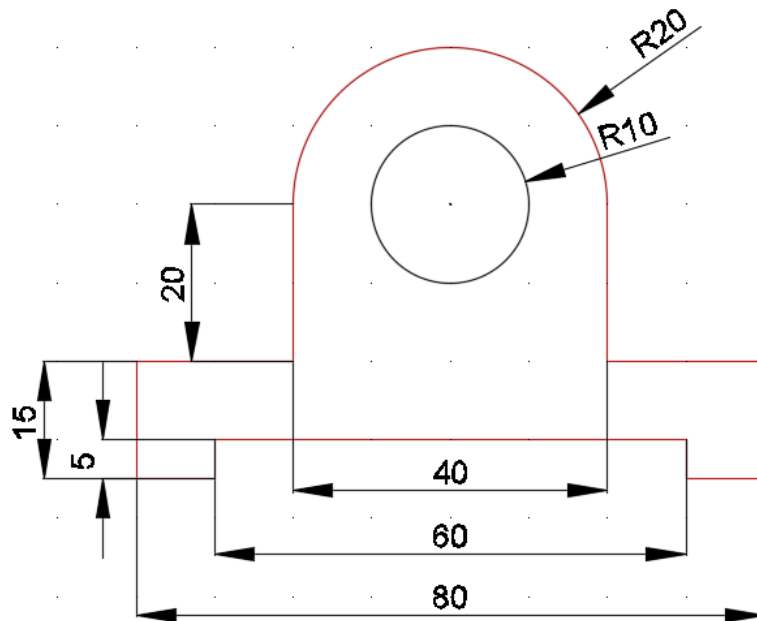
Все основные команды, позволяющие создавать твердотельные модели любой сложности, рассмотрены. Совместное использование этих команд позволяет строить любые твердотельные модели. Рассмотрим подробный пример построения твердотельной модели по размерам.

Прежде чем приступить к построению твердотельной модели, необходимо мысленно разложить ее на простые стандартные составляющие (параллелепипеды, цилиндры, конусы, объекты, которые могут быть получены путем прямого выдавливания или вращения вокруг оси очевидного замкнутого контура – профиля, и т.д.). Таким образом формируется сценарий выполнения конкретной детали, который затем может быть реализован путем применения логических операций (**Union, Subtract, Intersection**), а также других операций редактирования твердотельных моделей, описанных в ЛР № 6 и 7.

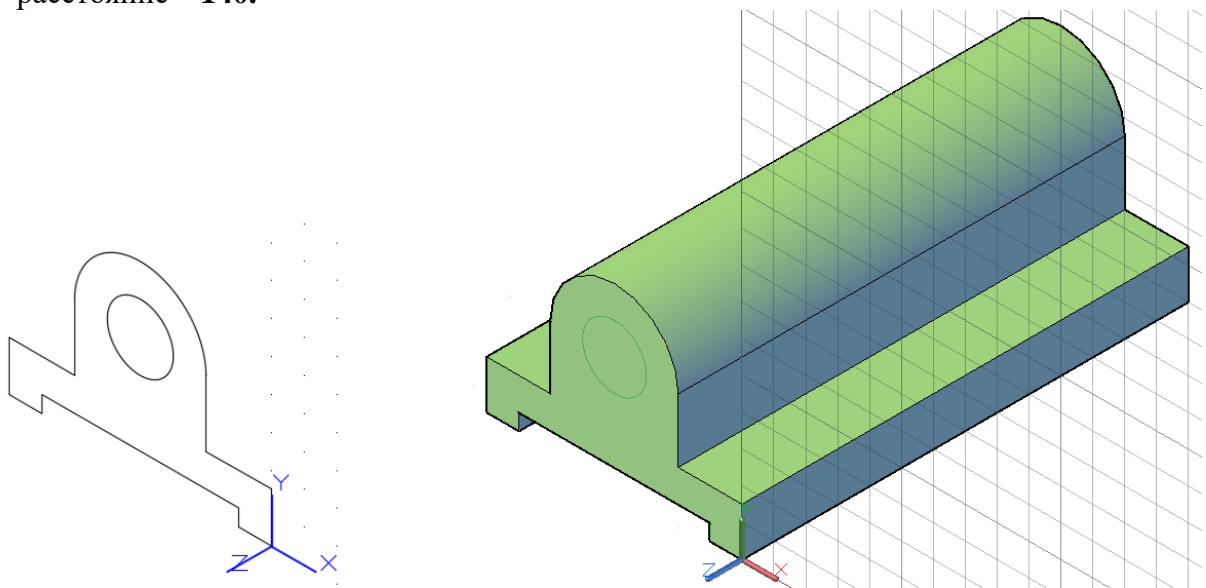
**Необходимо построить** твердотельную модель, показанную ниже (с двумя сквозными отверстиями, R10 и R15, и сквозной прорезью):



1. Построить замкнутый контур известными вам способами (Черчение+Редактирование→PEDIT/Редактирование Полилинии) и окружность в соответствии с размерами. Обратите внимание, что с учетом исходной ориентации детали предпочтительным для построения профиля является выбор **Вида Слева**, что дает возможность в дальнейшем осуществить выдавливание полученного контура вдоль оси **Z**.



2. **Выдавить** с помощью команды **Выдавливание** профиль и окружность вдоль оси **Z** на расстояние – **140**.

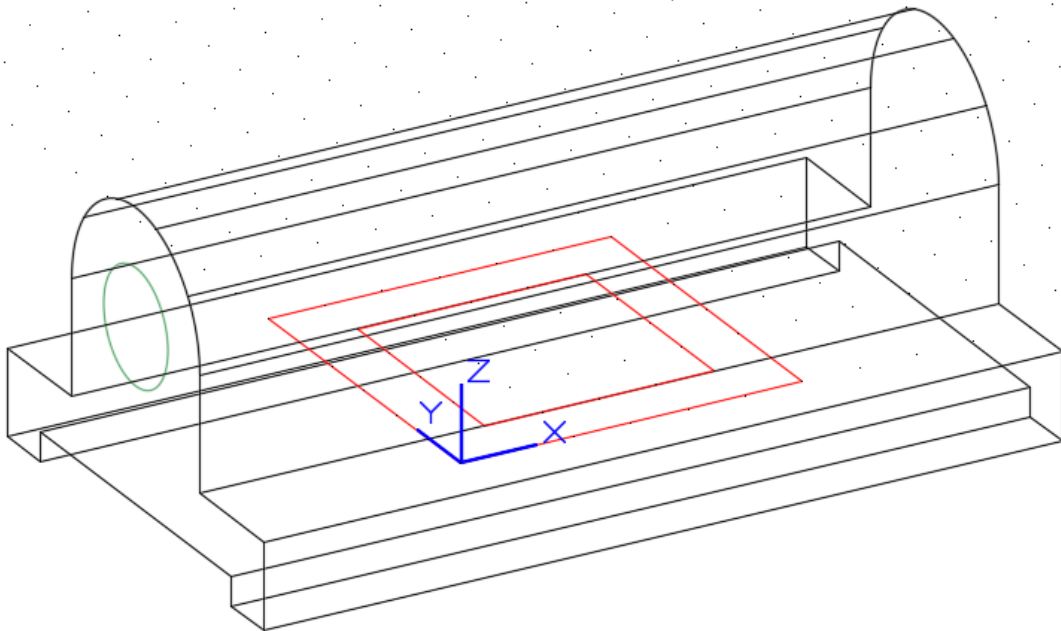


В результате получены два тела: базовое и цилиндр. Вычитание цилиндра из базового тела позволит получить сквозное отверстие диаметром **20**.

**ВАЖНО!!** Получение сквозных отверстий, особенно – пересекающихся, как в нашем случае, требует разработать предварительную стратегию и последовательность применения логических операций **Union/Объединение** и **Subtract/Вычитание**. В нашем случае эту последовательность предлагается выполнить на заключительном этапе разработки.

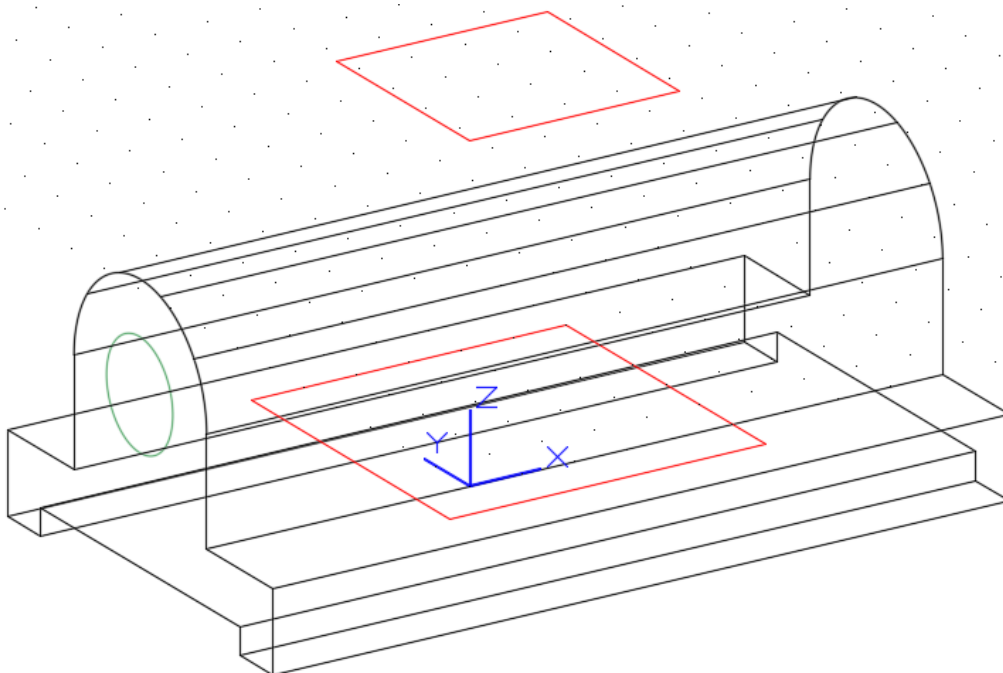
3. **Переходим** к построению усеченного конуса, нижнее основание которого представляет из себя квадрат **60x60**, а верхнее – **40x40**. Высота усеченного конуса – **70**. Лучше всего построить этот **Solid** с помощью команды **Loft/Вытягивание по сечениям**. Перенесем систему координат с помощью **ПСК Начало**→**ПСК X** (разворот относительно оси **X**)→**ПСК Z** (разворот относительно оси **Z**) и построим оба квадрата в плоскости **XY**.

Второй квадрат можно построить, например, с помощью команды **Offset/Подобие**. Полученные профили на рисунке ниже показаны красным.



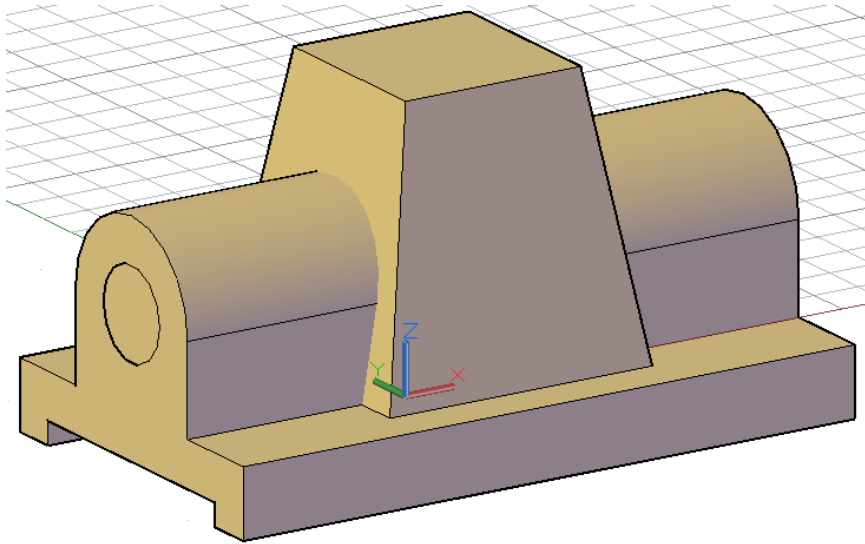
Не забудьте проверить, являются ли полученные профили замкнутыми: **Свойства**→**Замкнутый** – Да. Если нет – исправьте ситуацию в немодальном окне **Свойства** – в падающем меню выберите Да.

4. Квадрат 40x40 необходимо перенести по оси **Z** наверх на **70**. Для этого можно использовать ручки **Gismo/Манипуляции**.

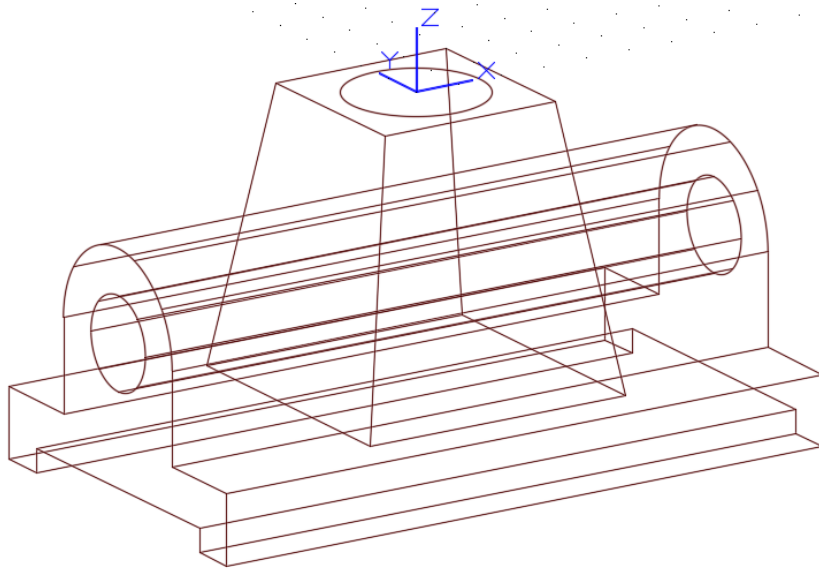


5. Используя команду **Loft/Вытягивание по сечениям** на основе двух квадратов, находящихся в разных плоскостях, построить усеченную четырехугольную пирамиду.

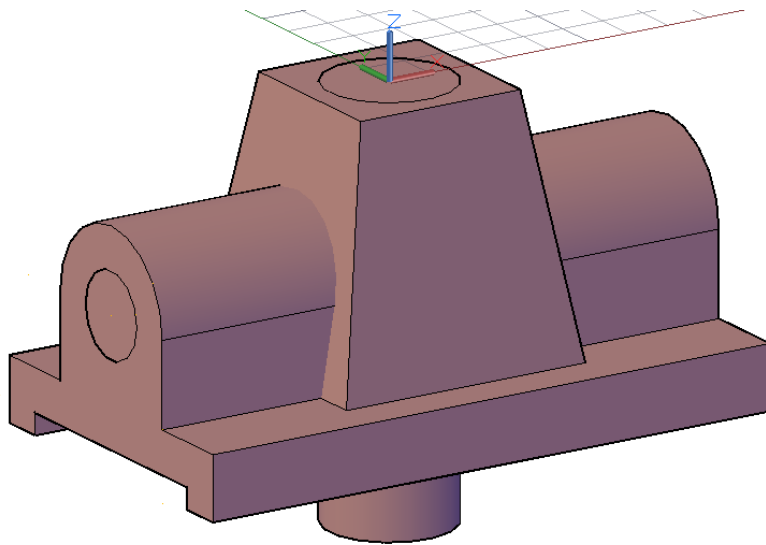




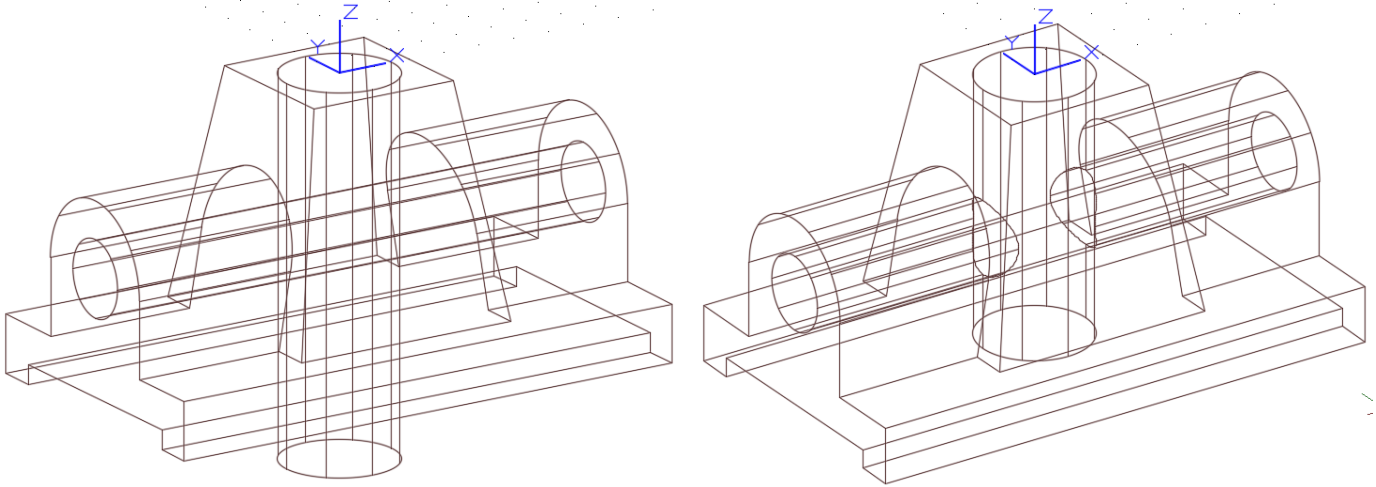
6. На верхней грани усеченной пирамиды нарисовать окружность **R15**.



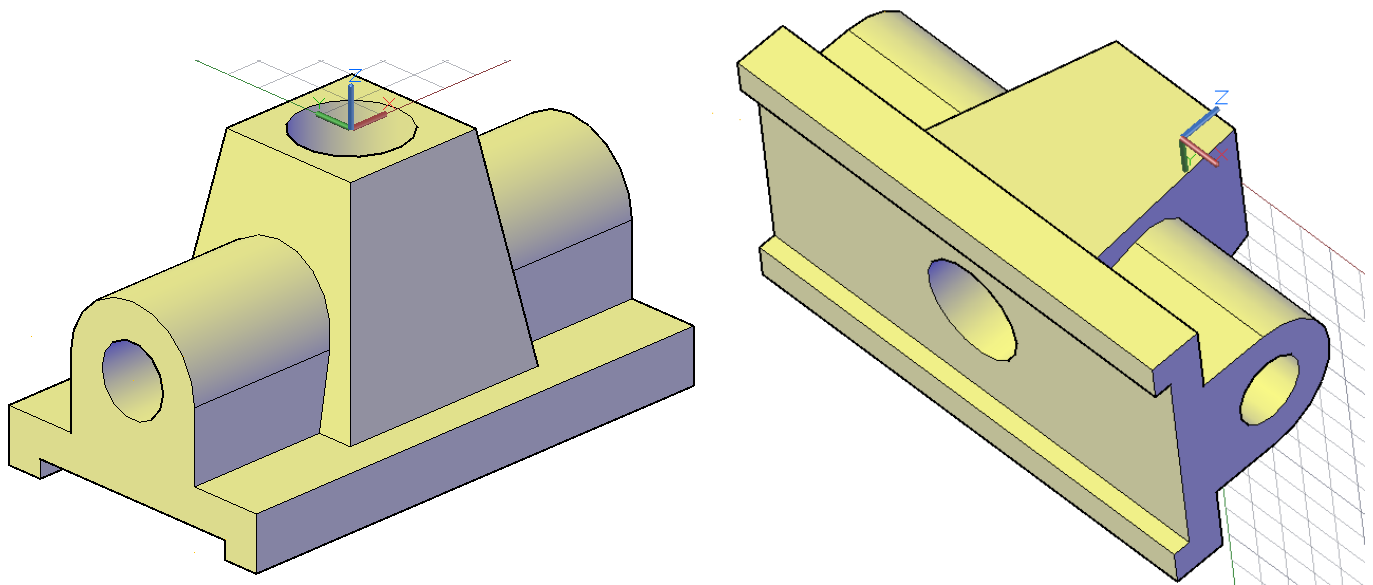
7. **Выдавить** окружность на расстояние большее или равное высоте твердого тела.



8. На завершающем этапе построения детали объединим с помощью команды **Union** усеченную пирамиду и базовое тело, полученное выдавливанием профиля на расстояние **140**, а затем, из полученного **3D Solid'a** вычтем (операция **Subtract**) оба цилиндра – вертикальный (**R 15**) и горизонтальный (**R 10**).



**Построение закончено:**



## Лабораторное задание

1. Изучить команды редактирования твердого тела.
2. Построить твердое тело по заданию преподавателя и выполнить команды редактирования: перенести грань на заданное расстояние вглубь тела или наружу тела сначала с помощью команды **Выдавливание грани**, разрезать тело, разными способами задавая секущую плоскость; выполнить сечение тела.
3. Используя команду **Толщина** построить полое тело на основе предложенной преподавателем поверхности.
4. Используя все команды создания и редактирования твердых тел построить сложную твердотельную модель, заданную преподавателем.
5. Выполнить сечение и разрез построенного твердого тела.