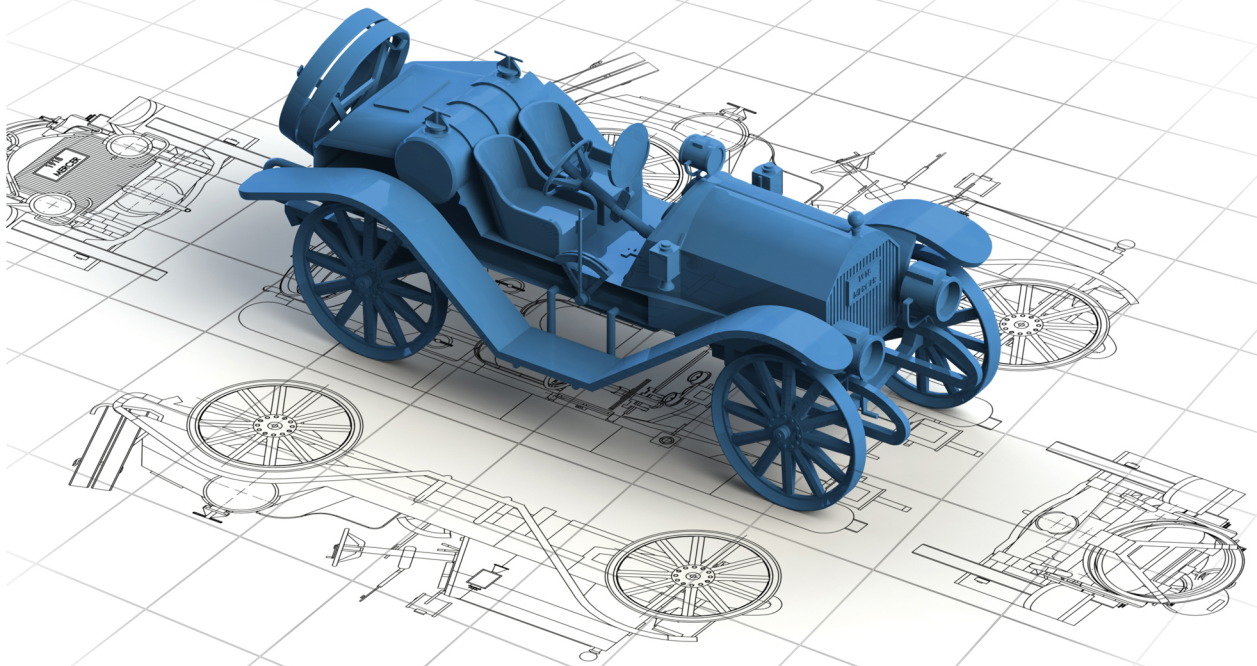


Вячеслав Никонов

КОМПАС 3D

СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ
И 3D-ПЕЧАТЬ



Вячеслав Никонов

КОМПАС 3D

СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ
И 3D-ПЕЧАТЬ



Санкт-Петербург • Москва • Екатеринбург • Воронеж
Нижний Новгород • Ростов-на-Дону
Самара • Минск

2020

ББК 32.973.23-018.2я7
УДК 004.896(07)
Н64

Никонов Вячеслав

Н64 КОМПАС-3D: создание моделей и 3D-печать. — СПб.: Питер, 2020. — 208 с.: ил. — (Серия «Учебное пособие»).

ISBN 978-5-4461-1456-6

КОМПАС-3D — мощная, постоянно совершенствующаяся САПР, максимально адаптированная к российским стандартам.

Моделируйте самолеты и грузовики, автобусы и танки, мотоциклы и вертолеты, собирайте планеры или коптеры, создавайте модели автомобилей вашей мечты. Система поддерживает 3D-принтеры, так что вы сможете легко получить реальный объект из трехмерной модели и воплотить идею в жизнь!

Продвигаясь от простого к сложному, вы научитесь создавать модели для последующей 3D-печати и познакомитесь со всеми особенностями этого процесса.

Сначала вы освоите саму технологию 3D-печати и настройки для сохранения моделей из САПР в формат STL, а также преобразование STL с помощью программы-слайсера в понятный принтеру язык команд G-код.

Далее вас ждут восемь уроков с подробными примерами моделирования моделей, подготовленных для 3D-печати в САПР КОМПАС-3D.

Бонус: полезные советы по моделированию, не вошедшие в основные уроки.

16+ (В соответствии с Федеральным законом от 29 декабря 2010 г. № 436-ФЗ.)

ББК 32.973.23-018.2я7
УДК 004.896(07)

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Информация, содержащаяся в данной книге, получена из источников, рассматриваемых издательством как надежные. Тем не менее, имея в виду возможные человеческие или технические ошибки, издательство не может гарантировать абсолютную точность и полноту приводимых сведений и не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги. Издательство не несет ответственности за доступность материалов, ссылки на которые вы можете найти в этой книге. На момент подготовки книги к изданию все ссылки на интернет-ресурсы были действующими.

Оглавление

Благодарность	5
От издательства	5
Основы 3D-печати	6
Настройки для стандартных деталей	6
Настройки для деталей вращения	15
Настройки для длинных деталей	22
Что делать с полученным Stl-файлом?	26
Работа с КОМПАС-3D	30
Урок 1. Кружка	55
Ручка кружки	61
Урок 2. Колесо для модели	75
Первый способ	92
Второй способ	93
Урок 3. Мыльница со сливом воды	97
Построение подставки	102
Урок 4. Держатель для бумажных полотенец	107
Создание втулки	107
Создание стойки	115
Создание сборки. Сборочные операции	123
Урок 5. Переходник с вентилятора на пластиковую канализационную трубу	131
Труба	131
Вентилятор	133
Переходник	134
Урок 6. Создание модели с помощью параметрического массива	150

Урок 7. Эргономичный фломастер	159
Работа с изображением	160
Построение	162
Проверка гладкости	182
Построение прорезей	185

Дополнение **191**

1. Создание устойчивого основания	191
2. Расчет усадки для обеспечения точных размеров	192
3. Учет минимальной толщины стенок	193
4. Силовые элементы нужно сделать максимально объемными	194
5. Силовые элементы нужно проектировать с учетом направления печати	195
6. Использование упрочняющих элементов	196
7. Косынка для «балкона»	197
8. Добавление скруглений и фасок	198
9. Ребра жесткости	199
10. Укрепление отверстий	200
11. Большая толщина для прочности	202
12. Мелкие отверстия для локального упрочнения	202
13. Многоцветная модель	203
14. Поддержки как часть модели	205
15. Тестовая печать зубчатой пары	206
16. Создание пары резбовых деталей	206
Что еще может быть важным?	207

Благодарность

Выражаю огромную благодарность Ирине Викторовне Сидоровой и Марии Викторовне Головановой за помощь в подготовке первой версии книги — без вас это издание было бы невозможно.

Выражаю благодарность компании «Аскон» за помощь в издании книги.

От издательства

Ваши замечания, предложения, вопросы отправляйте по адресу comp@piter.com (издательство «Питер», компьютерная редакция).

Мы будем рады узнать ваше мнение!

На веб-сайте издательства www.piter.com вы найдете подробную информацию о наших книгах.

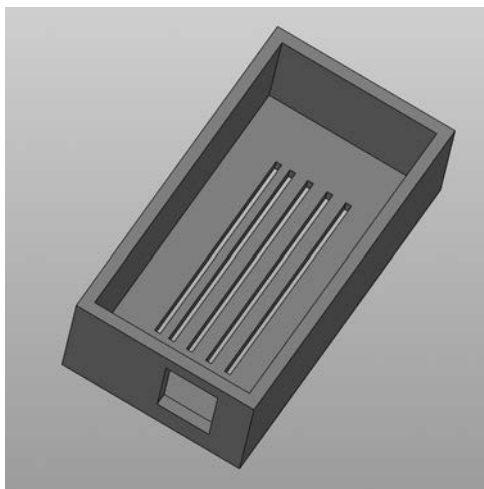
Основы 3D-печати

КОМПАС-3D является системой автоматизированного проектирования (САПР) с моделированием на основе математически точных представлений поверхностей. 3D-печать строится на основе фасетного (состоящего из треугольников) формата Stl. Сохранение математически определенных поверхностей в Stl-формат всегда происходит с потерей точности и ростом размера файла. Ниже описаны настройки, которые позволят получить максимально корректные Stl-файлы минимального размера.

Настройки для стандартных деталей

Если деталь состоит только из прямых граней, ее можно сохранять со стандартными настройками.

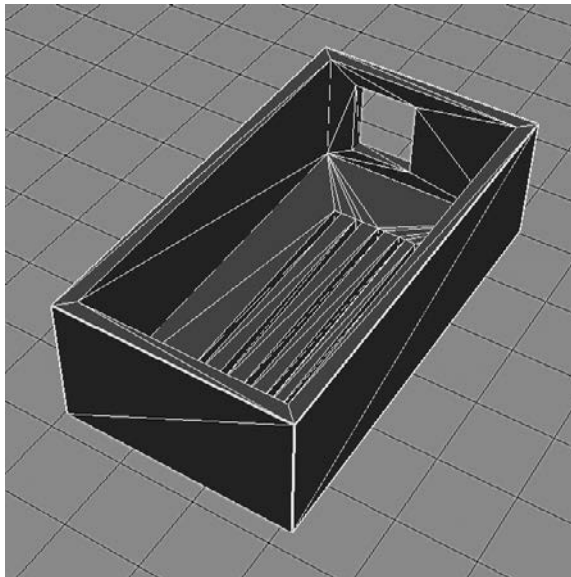
Все дело в том, что прямые грани можно передать минимальным числом полигонов. Для примера возьмем такой корпус.



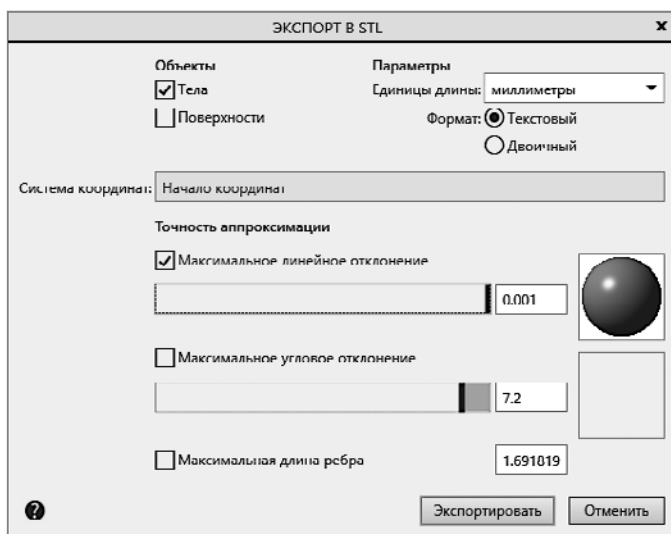
Сохраните его с максимальным линейным отклонением в 1 (очень приближенно).



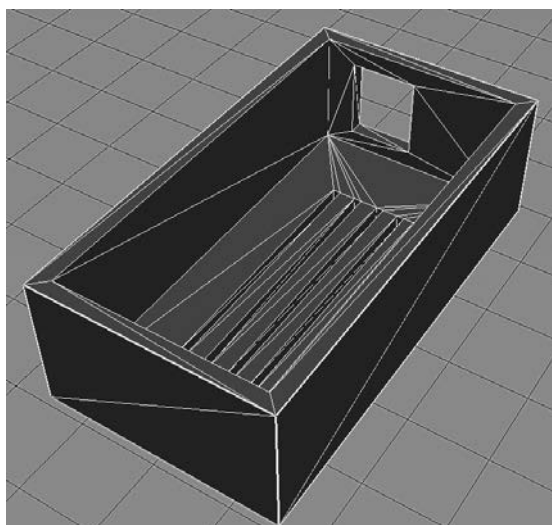
Вы видите, что количество треугольников минимальное (открыто с помощью Repetier-host).



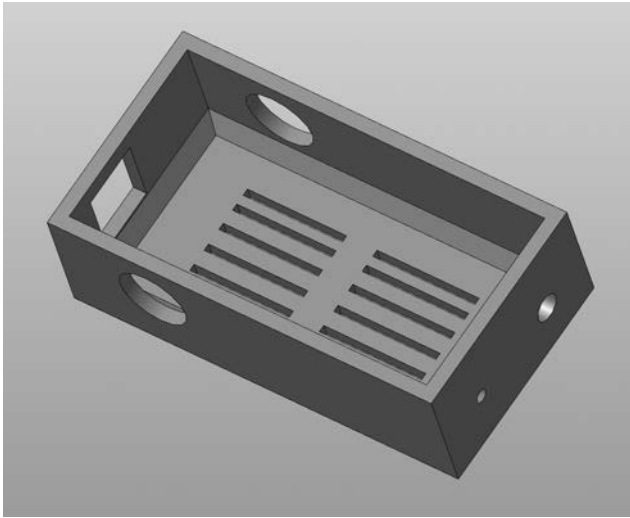
Сохраните корпус с максимальным линейным отклонением — 0,001 (максимально точно).



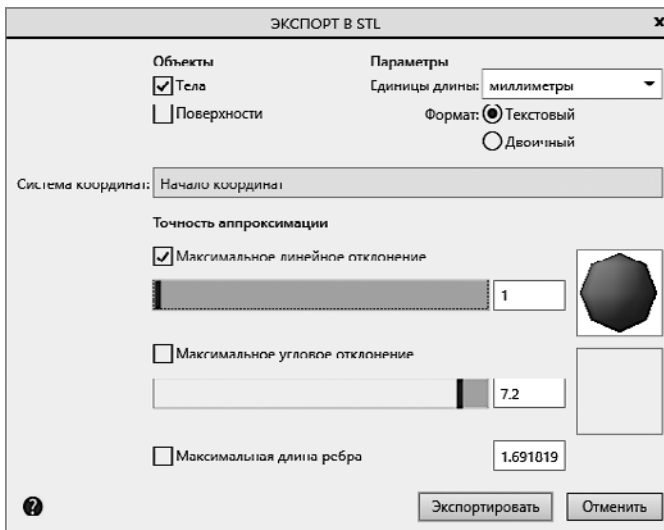
Количество треугольников минимальное (открыто с помощью Repetier-host).



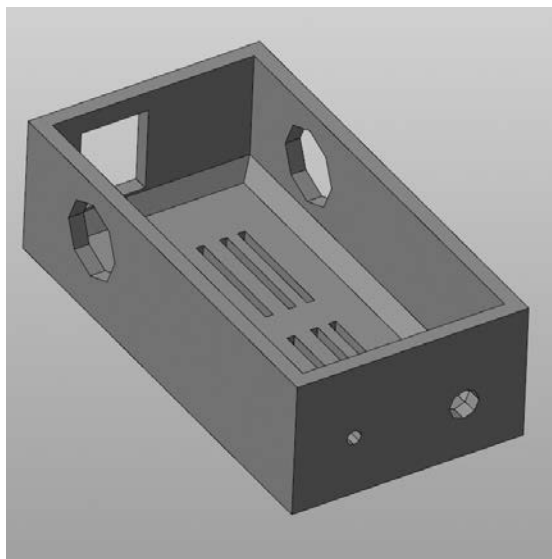
Добавьте в деталь круглые отверстия и фаски для большей наглядности.



Сохраните деталь с максимально грубыми настройками максимального линейного отклонения — 1.



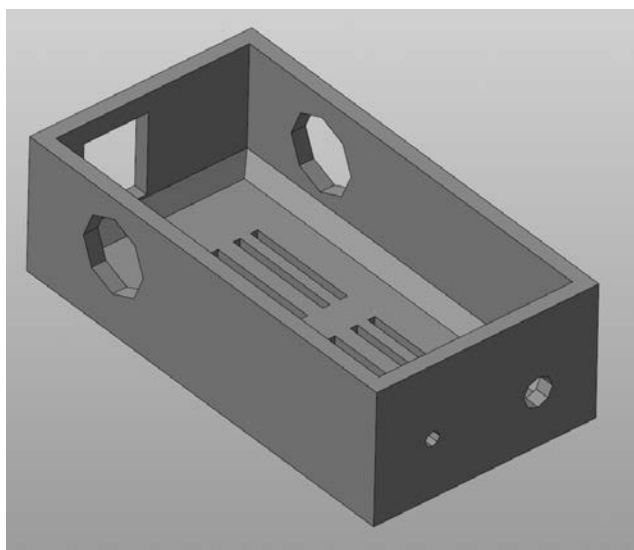
Все круглые отверстия стали восьмигранными. Размер файла составляет 107 Кб.



Возможно, для практического применения этого будет достаточно.

Сохраните деталь с максимальным линейным отклонением — 0,5.

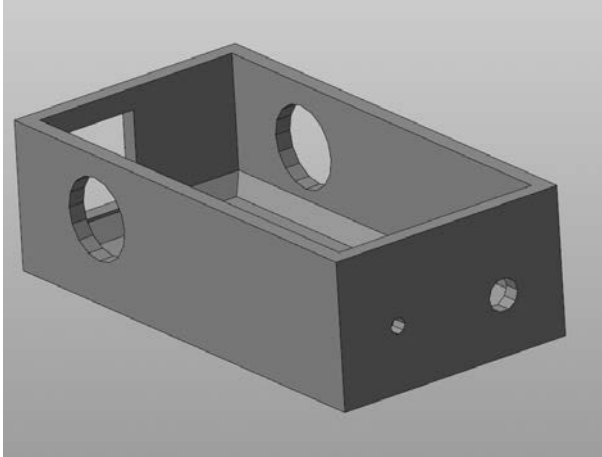
Stl-файл визуально не отличается от предыдущего случая. Размер файла такой же — 107 Кб.



Выходит, что для подобной детали влияние настройки в этом промежутке несущественно.

Теперь сохраните деталь с максимальным линейным отклонением — 0,1 (стандартная настройка).

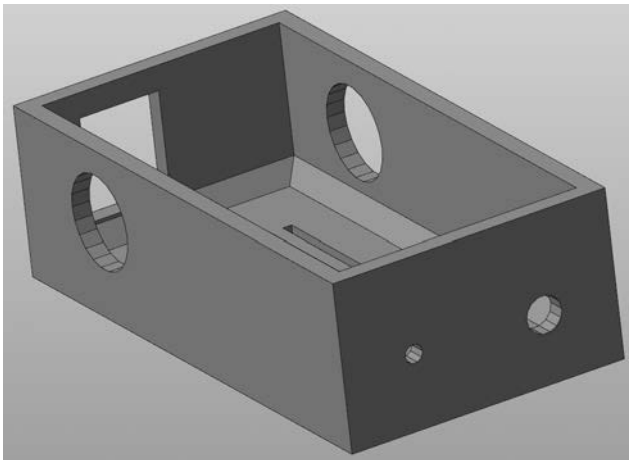
Stl-файл визуально изменился: большие отверстия стали достаточно круглыми, и с помощью постобработки им можно придать нужную форму. Но малые отверстия по-прежнему восьмигранные. Размер файла стал равен 127 Кб.



Сохраните деталь с максимальным линейным отклонением — 0,05.

Восьмигранным остается только самое маленькое отверстие, остальные готовы к постобработке.

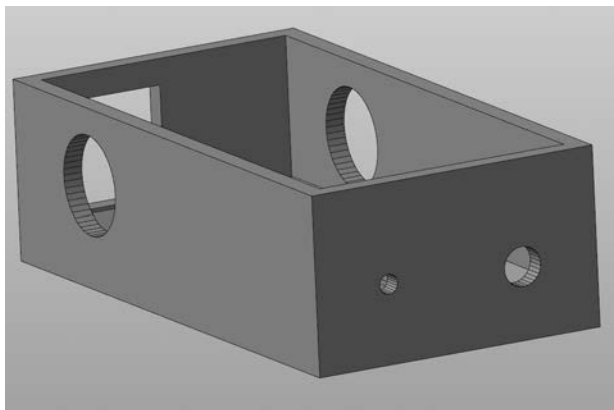
Размер файла — 146 Кб.



Сохраните с максимальным линейным отклонением — 0,01.

Теперь для постобработки годятся все отверстия.

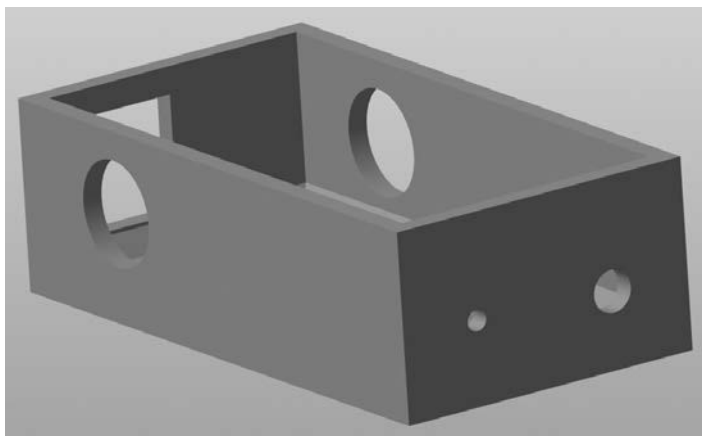
Размер файла теперь составляет 237 Кб.



Сохраните с максимальным линейным отклонением — 0,001 (максимально точно).

Визуально все отверстия полностью гладкие.

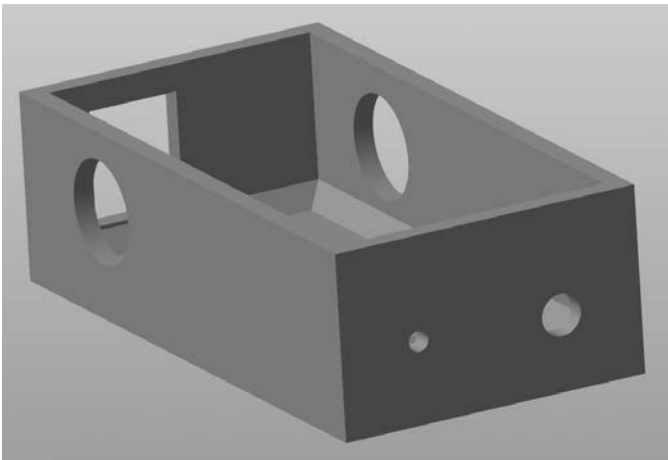
Размер файла — 589 Кб.



Попробуйте совместить самую грубую настройку максимального линейного отклонения — 1 с относительно точной настройкой максимального углового отклонения — 3.

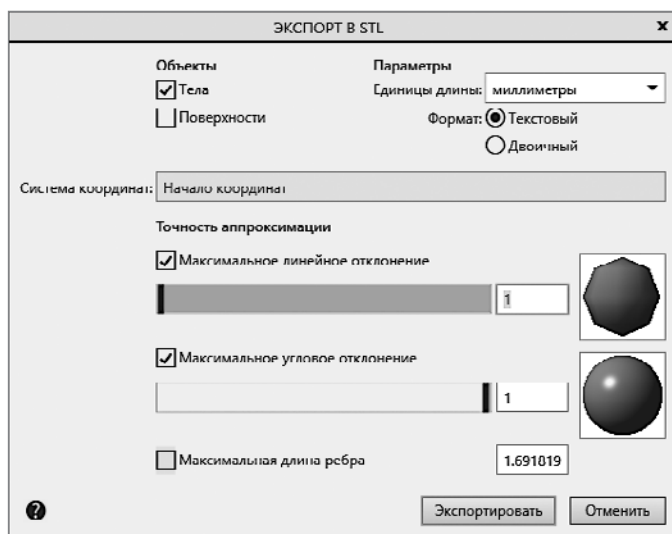


Размер файла теперь стал 587 Кб, чуть меньше, чем в прошлом случае.

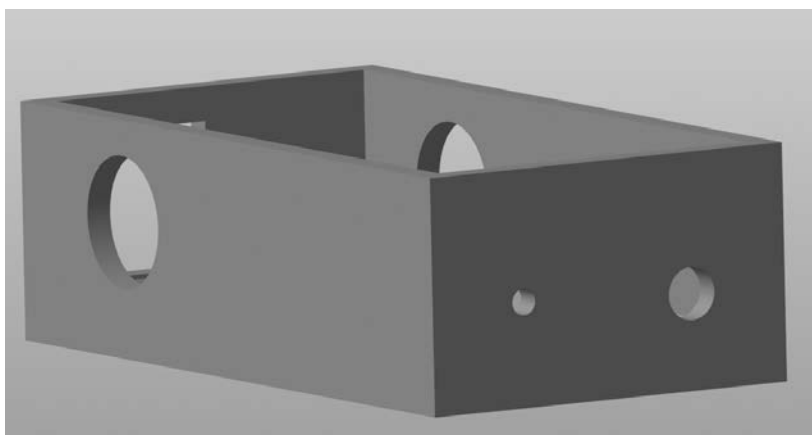


Все отверстия также визуально полностью гладкие, хотя использовались менее точные настройки.

Совместите самую грубую настройку максимального линейного отклонения — 1 с более точной настройкой максимального углового отклонения — 1.



Размер файла увеличился до 1614 Кб.



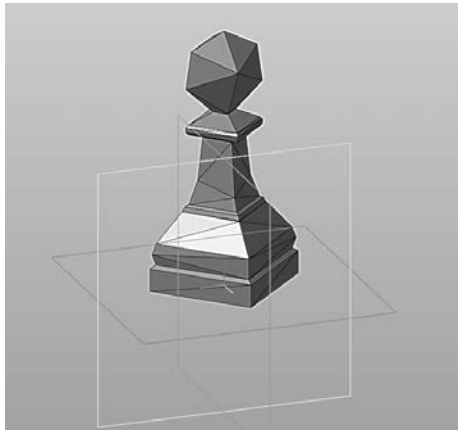
Визуально деталь не отличается от предыдущего случая. Для нее не требуются более точные настройки. Старайтесь находить приемлемую точность, чтобы не возникало проблем с дальнейшей обработкой Stl-файла.

Настройки для деталей вращения

Исходная модель — это модель пешки, построенная с помощью операции вращения. На ней мы отработаем настройку «Максимальное угловое отклонение».



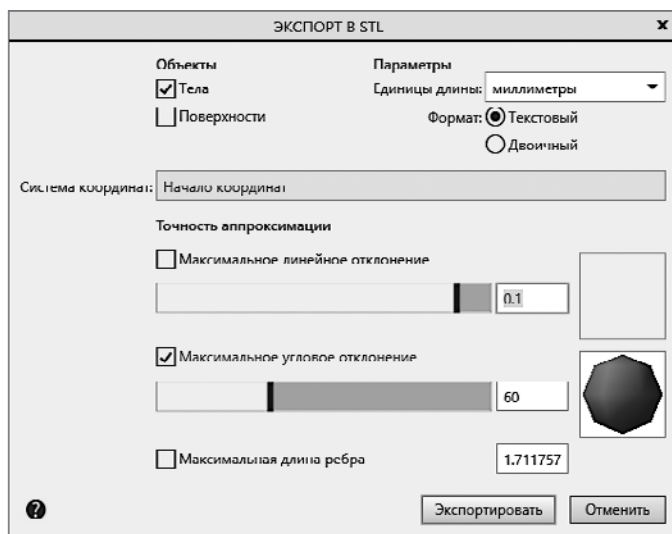
Максимальное угловое отклонение составляет 90 градусов.



Форма фигуры лишь отдаленно напоминает пешку.

Размер Stl-файла – 39 Кб.

Максимальное угловое отклонение – 60 градусов.



Форма уже угадывается.

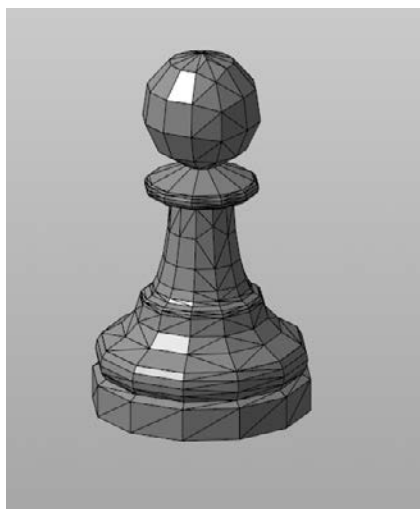
Размер Stl-файла — 68 Кб.

Максимальное угловое отклонение — 45 градусов.



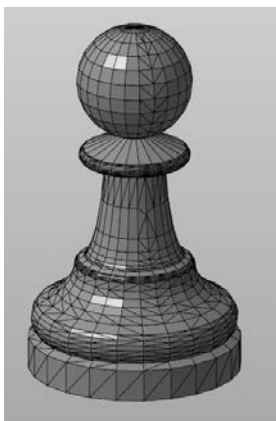
Размер Stl-файла — 105 Кб.

Отклонение — 30 градусов.



Размер Stl-файла – 196 Кб.

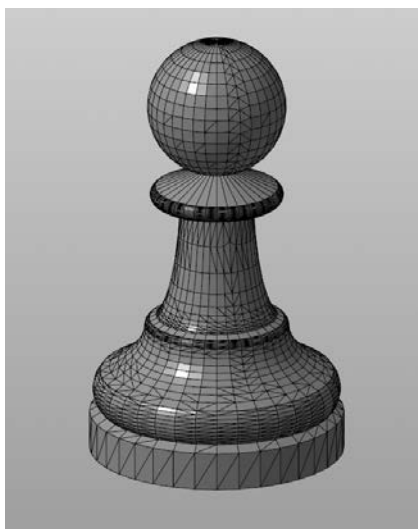
Отклонение – 15 градусов.



Гладкость уже приемлема при наличии постобработки.

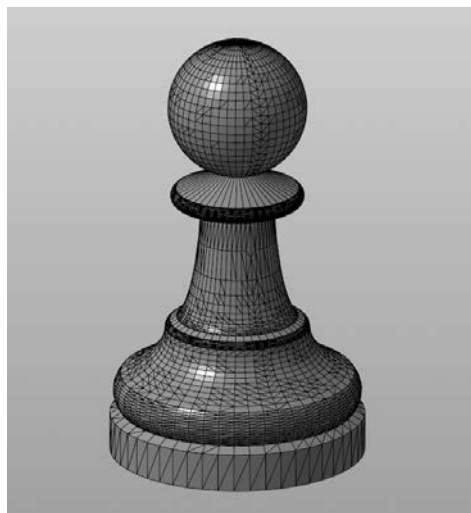
Размер Stl-файла – 637 Кб. Для открытия этого файла в КОМПАСе потребуется 206 Мб оперативной памяти, что еще относительно немного.

Отклонение – 10 градусов.



Размер Stl-файла – 1360 Кб. Для открытия этого файла в КОМПАСе потребуется 238 Мб оперативной памяти.

Отклонение – 7,2 градуса (стандартная настройка).



Размер Stl-файла – 2453 Кб. Для открытия этого файла в КОМПАСе потребуется 274 Мб оперативной памяти.

Отклонение – 5 градусов.



Размер Stl-файла – 4957 Кб. Для открытия этого файла в КОМПАСе потребуется 596 Мб оперативной памяти.

Отклонение – 2 градуса.

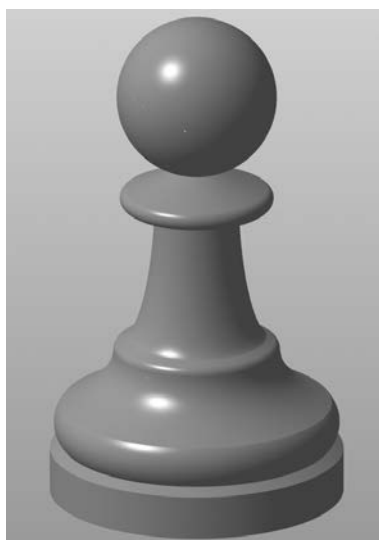


Размер Stl-файла — 28 116 Кб. Для открытия этого файла в КОМПАСе потребуется 1,4 Гб оперативной памяти.

Отклонение — 1 градус.



В таком режиме линии каркаса полностью перекрывают модель.



В полутоновом режиме видно, что модель полностью гладкая. Для любых практических целей этой гладкости достаточно.

Размер Stl-файла – 105 230 Кб.

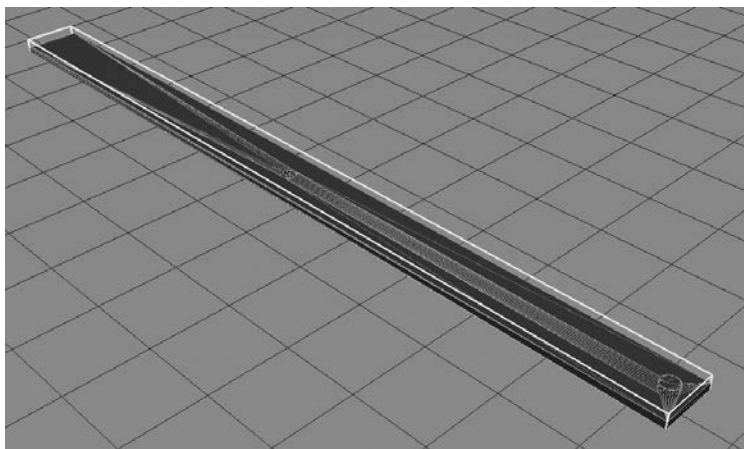
Этот файл очень большого размера, для его открытия в КОМПАСе потребуется 4,36 Гб оперативной памяти.

Настройки для длинных деталей

При сохранении в Stl длинных деталей сетка получается состоящей из очень длинных треугольников, что не всегда хорошо.

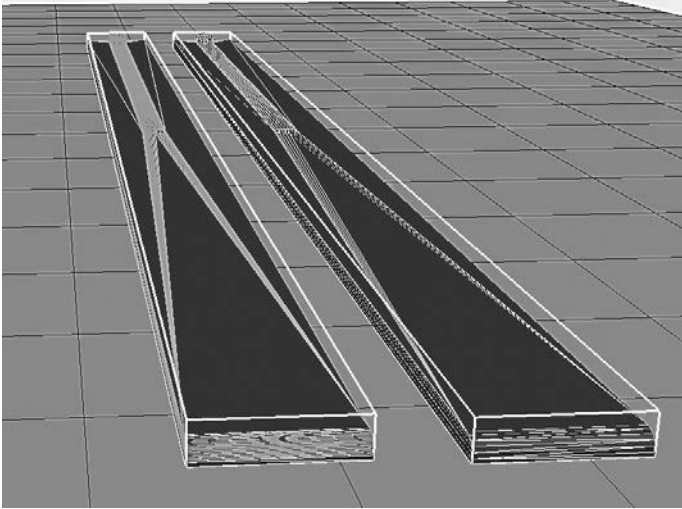
Вот пример сохранения детали со стандартными настройками.

Модель открыта с помощью Repetier-host. Она уменьшается в 10 раз, чтобы влезла в габариты стола. В дальнейшем для всех моделей все делается по аналогичной схеме. Размер детали равен 59 Кб.



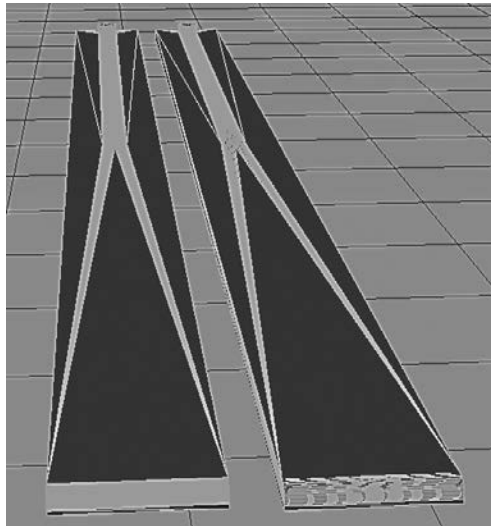
Сохранение с более точным максимальным линейным отклонением (0,01) не дает нужного эффекта. Округлые грани стали прорисовываться точнее, но треугольники остались такими же длинными.

Обе модели открыты рядом с помощью Repetier-host. Размер детали при этом увеличился до 177 Кб.

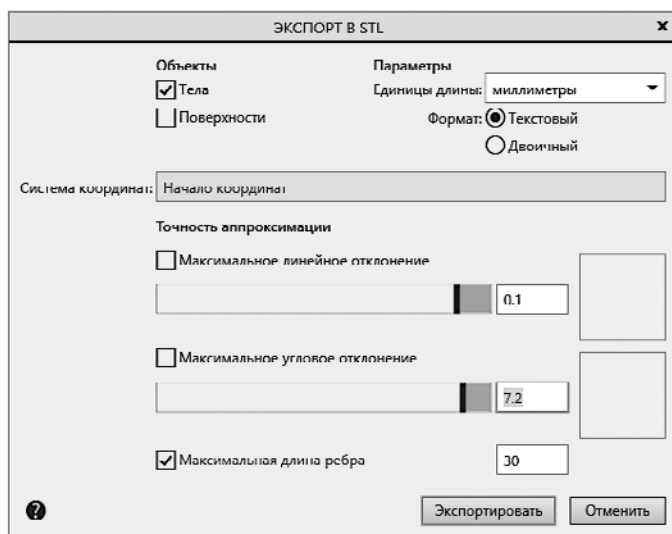


Аналогичный эффект дает изменение углового отклонения — 1.

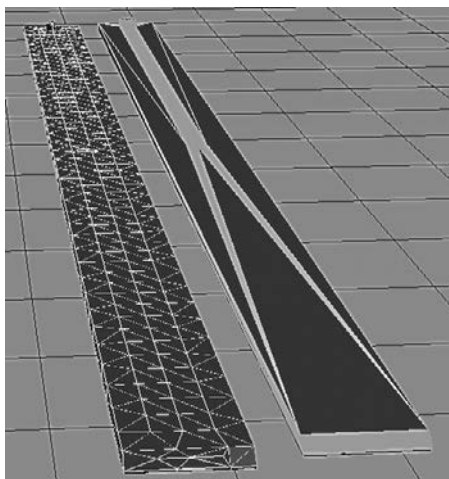
Обе модели открыты рядом с помощью Repetier-host. Визуально они довольно похожи. У модели с настройками углового отклонения точнее округлые грани, но треугольники все еще длинные. При этом размер файла стал 876 Кб.



Используйте настройку максимальной длины ребра. Задайте длину ребра 30, отключив при этом остальные настройки.



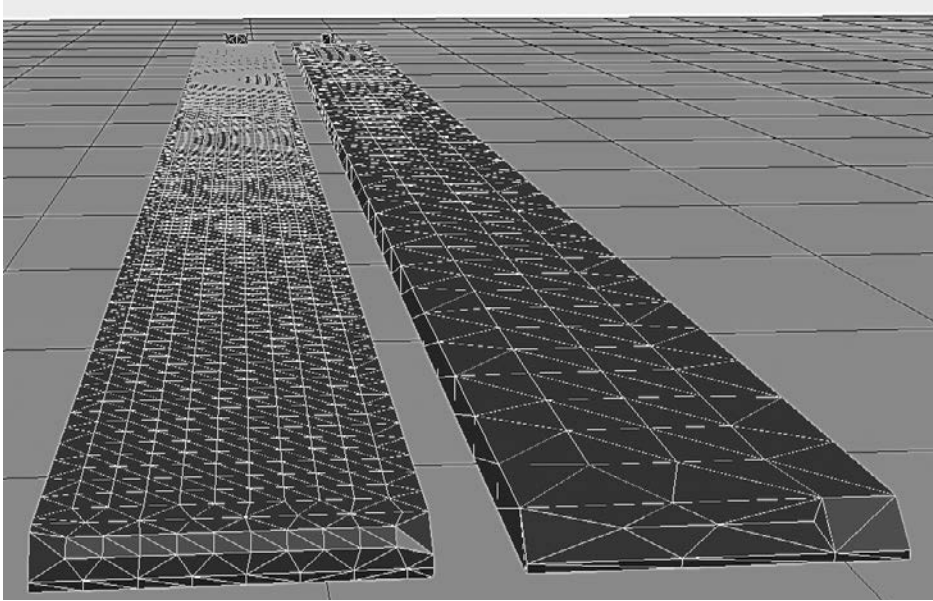
Длина треугольников заметно сократилась, вытянутых треугольников теперь нет.



Однако появилась другая проблема — округлые поверхности полностью потеряли свою форму. Размер детали стал 285 Кб.

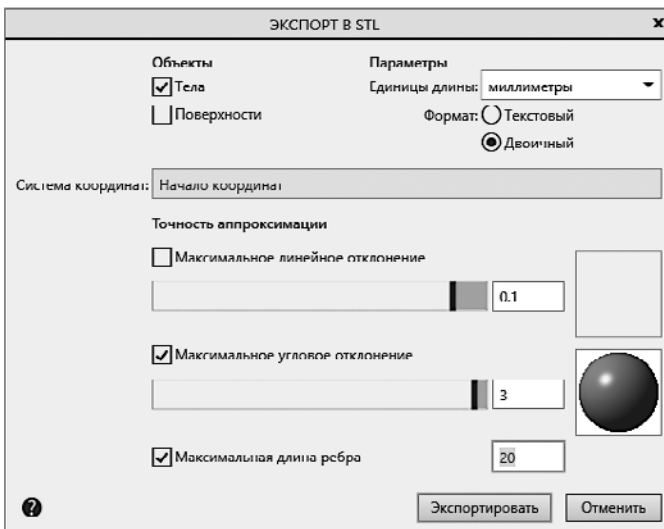
Задайте максимальную длину ребра — 10.

Стало лучше, но качество округлых поверхностей все еще неудовлетворительное.

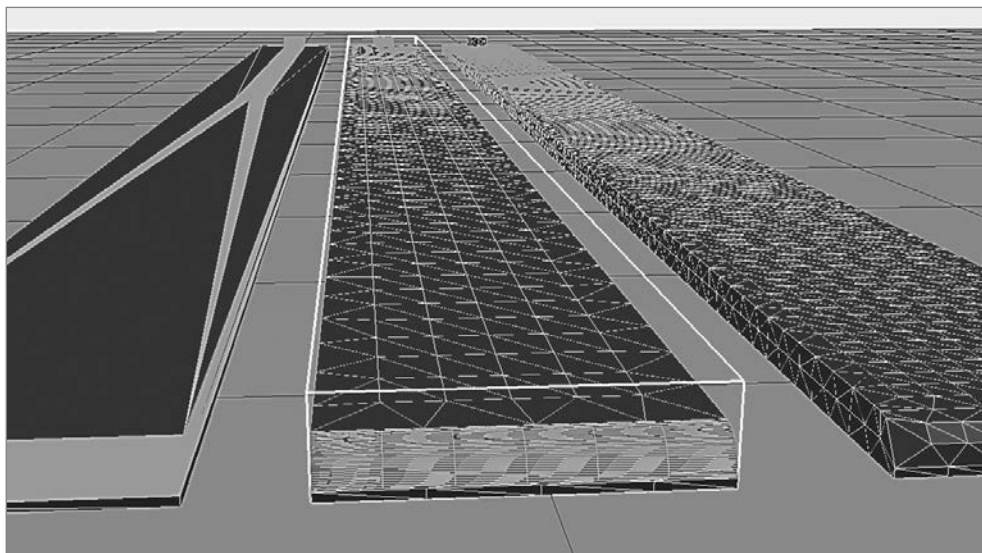


При этом размер файла вырос до 2313 Кб. Очевидно, что уменьшение максимальной длины ребра приведет к еще большему возрастанию размера файла.

Для решения этой проблемы объедините настройку максимальной длины ребра, возьмите среднее значение из двух использованных — 20 и настройку максимального углового отклонения. Мы сделаем его равным 3, поскольку 1 — слишком точное значение.



Модель расположена между моделями с максимальной длиной ребра 10 и моделью с максимальным угловым отклонением 1.



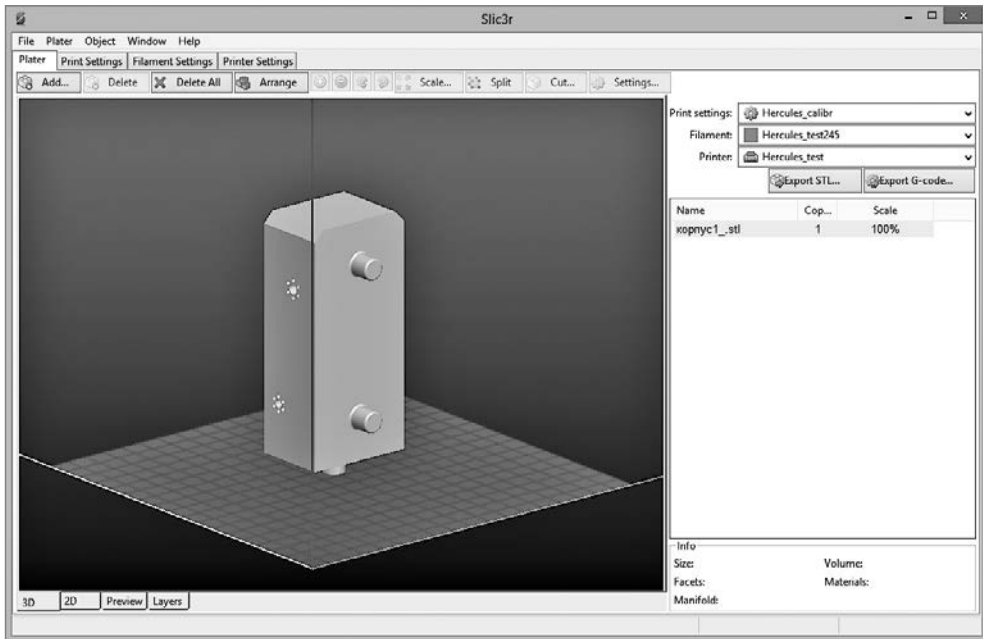
На модели треугольники имеют приемлемую длину, и округлые поверхности визуально выглядят округлыми. При этом размер файла составляет всего 959 Кб, что допустимо при таком качестве.

Что делать с полученным Stl-файлом?

После сохранения модели в **Stl** из нее необходимо сделать управляющую программу, понятную принтеру. Эта управляющая программа носит название **G-код**. Для его создания **Stl**-модель нужно нарезать на слои, как это делает бытовая ломтерезка для колбасы и сыра — слайсер. По аналогии с этим прибором программы для создания **G-кода** из **Stl**-модели также именуется слайсерами.

Зачем слайсер нарезает модель на слои?

3D-принтер всегда выдавливает пластик в одной плоскости. При этом все перемещения головки (или горизонтальные перемещения стола) идут только по координатам *X* и *Y*. Если бы слоев не было, принтер смог бы сделать только плоское изображение. Для осуществления печати объемных моделей используют вертикальные перемещения стола по координате *Z*. Как только печать слоя завершена, стол смещается на толщину слоя и принтер может печатать новый слой. Именно так формируется объемное изображение.



Наиболее популярными бесплатными программами-слайсерами являются:

Slic3r — <http://slic3r.org/download>;

Kisslicer — <http://kisslicer.com/download.html>;

Cura — <https://ultimaker.com/en/products/cura-software/list>.

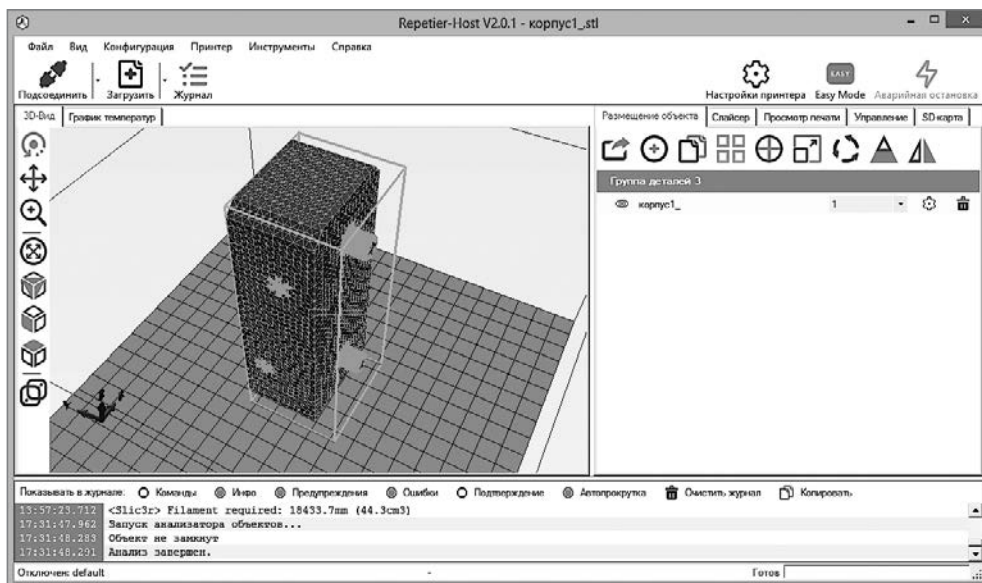
Для отображения G-кода, а также для управления и настройки принтера можно использовать следующие бесплатные программы:

Repetier-Host — <https://www.repetier.com/download-now/>;

OctoPrint — <http://octoprint.org/download/>.

Они визуализируют процесс печати — это значит, что пользователь слой за слоем может посмотреть, как будет образована модель.

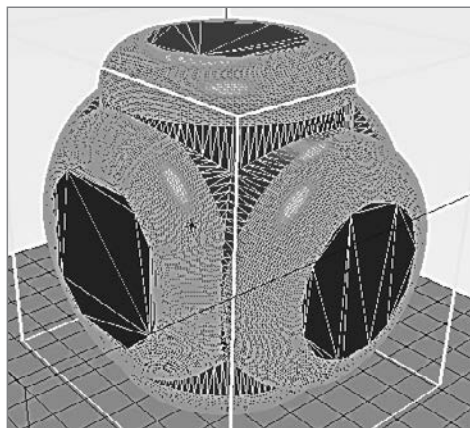
Вы также можете использовать софт, поставляемый вместе с принтером.



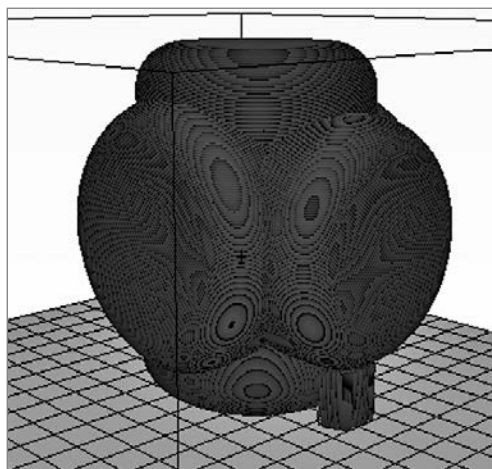
Слайсеры позволяют внести изменения в автоматически составленный алгоритм печати, например увеличить или уменьшить пустоты в модели, изменить скорость перемещения рабочих органов принтера, задать температуру печати и подключить обдув модели для лучшего охлаждения.

К тому же слайсеры автоматически добавляют поддержки под модель, чтобы можно было осуществить печать нависающих частей модели. Некоторые принтеры могут использовать более одного вида пластика для печати. Для облегчения отделения поддержек от модели в них можно использовать растворимый пластик.

Исходная модель не может быть напечатана без поддержек.



G-код с поддержками.



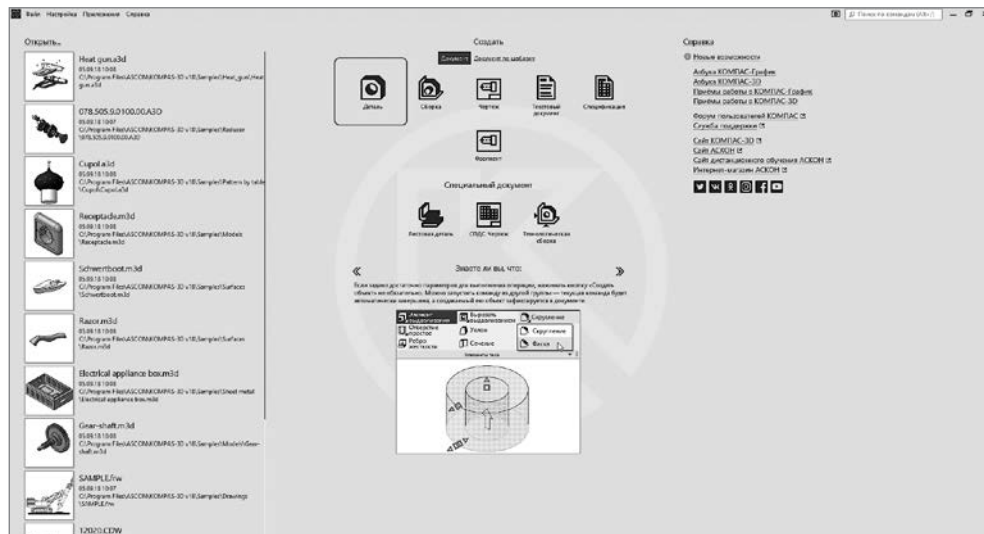
После преобразования модели в G-код ее можно передать на принтер по кабелю или через носитель (карту или флешку), а затем напечатать.

Работа с КОМПАС-3D

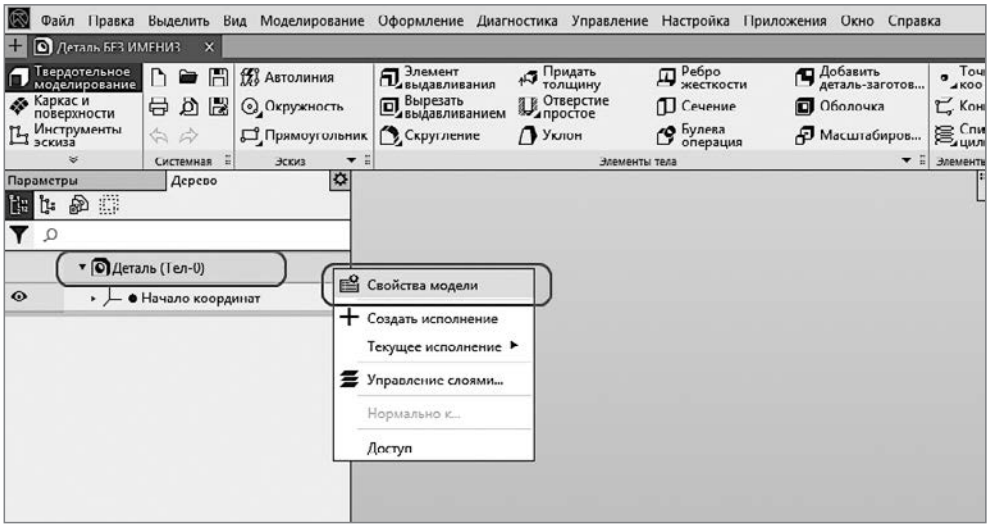
Чтобы понять принципы моделирования в программе, создадим в системе простейшую деталь и сохраним ее в формат Stl для последующей печати.

После запуска программы появится стартовая страница. Обратите внимание, что справа на странице находятся азбуки: их следует изучить перед началом работы.

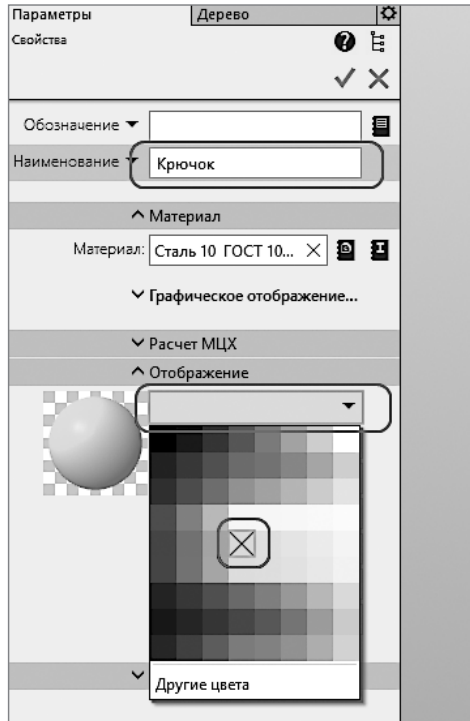
После этого создайте новый документ **Деталь**.



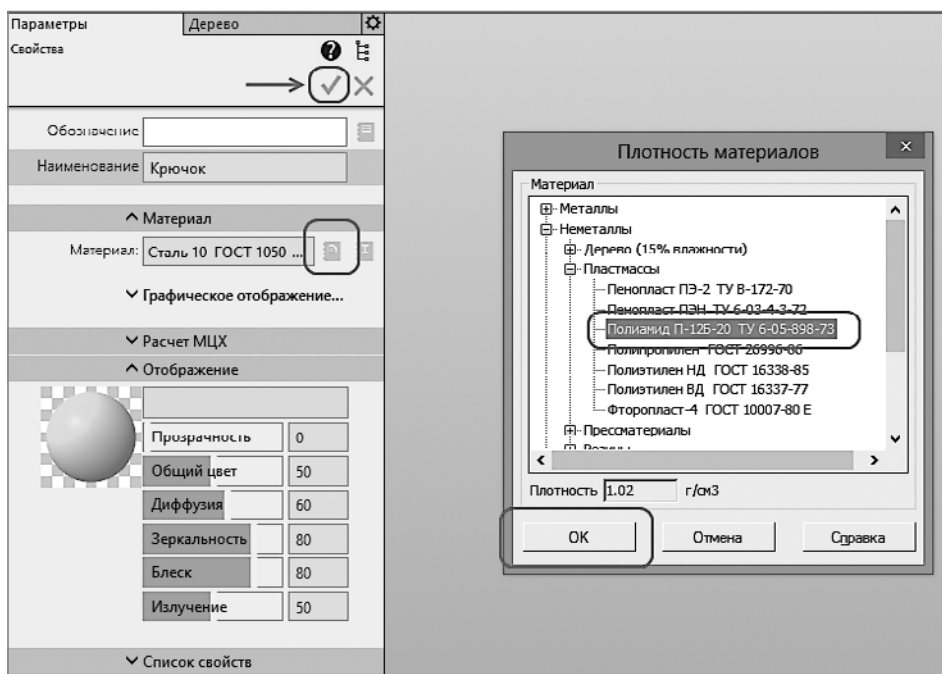
Щелкните правой кнопкой мыши по корневому элементу дерева и выберите в контекстном меню **Свойства модели**.



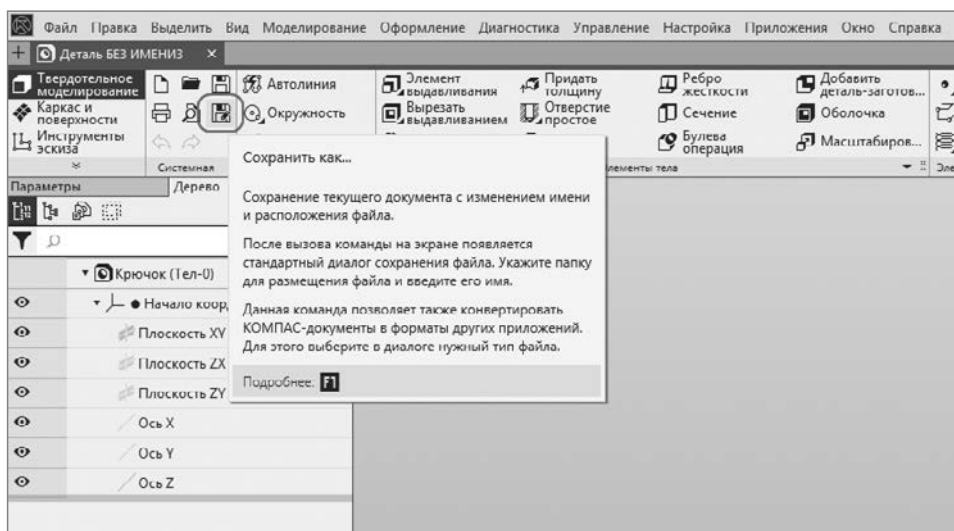
Введите наименование модели Крючок. Выберите любой понравившийся цвет, например Салатовый.



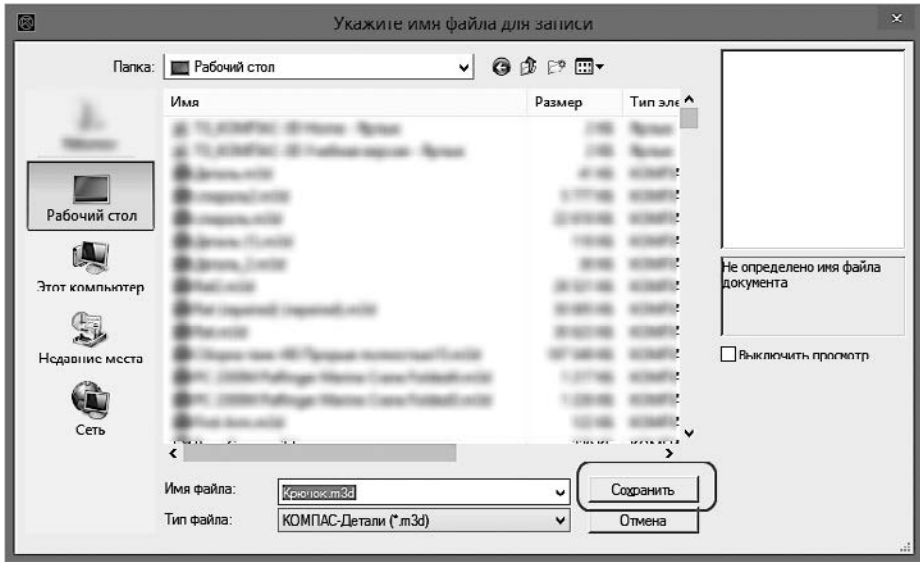
Откройте список материалов, выберите любой пластик. Выберите ОК в окне Плотность материалов и Создать в панели Параметры.



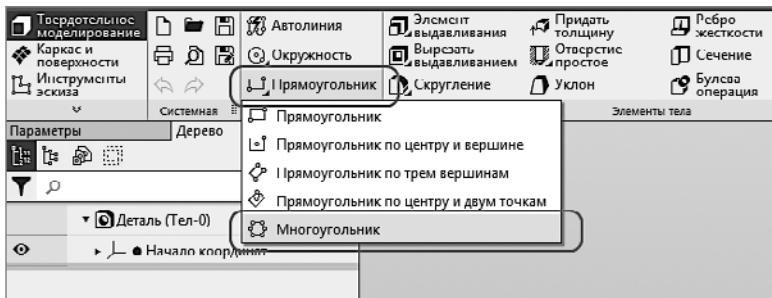
Щелкните Сохранить как, чтобы сохранить деталь.



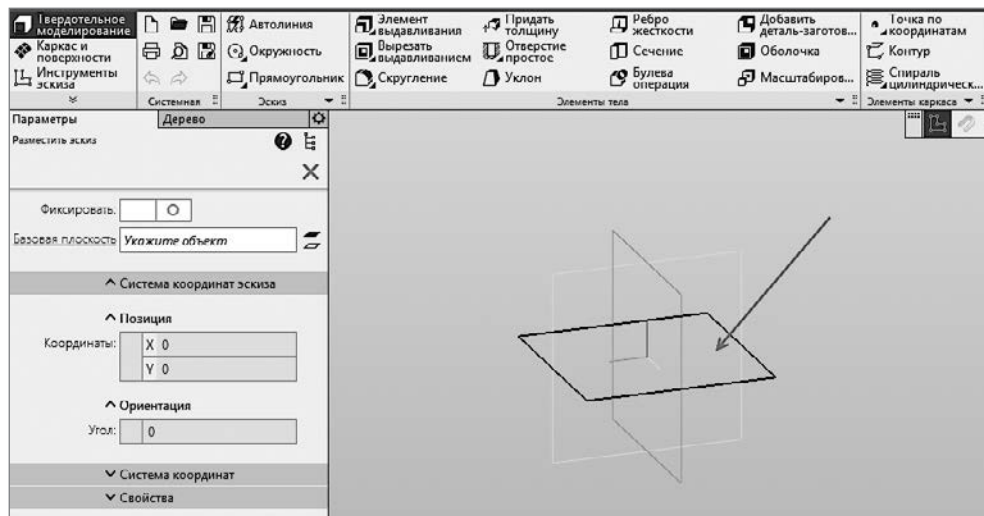
Выберите папку, в которую хотим сохранить модель, нажмите Сохранить.



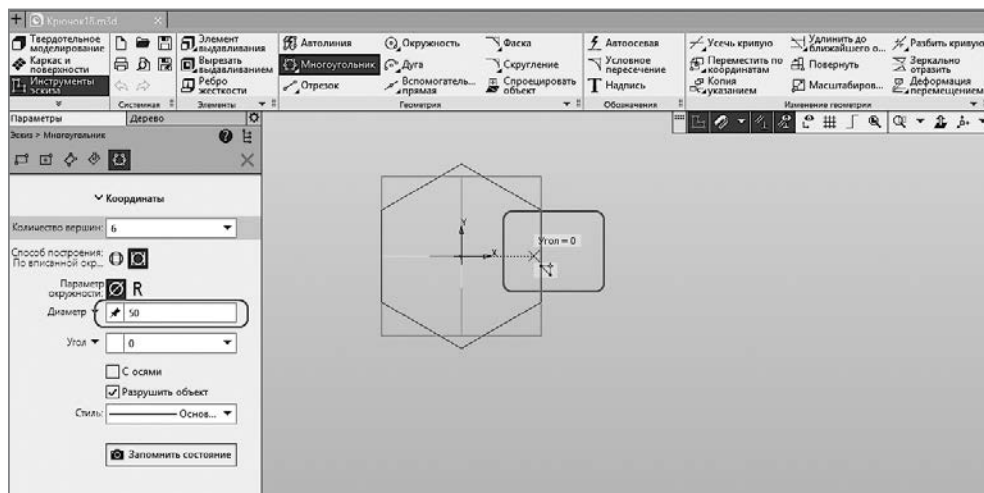
Удерживая левую кнопку мыши на группе команд Прямоугольник, в открывшейся панели выберите Многоугольник.



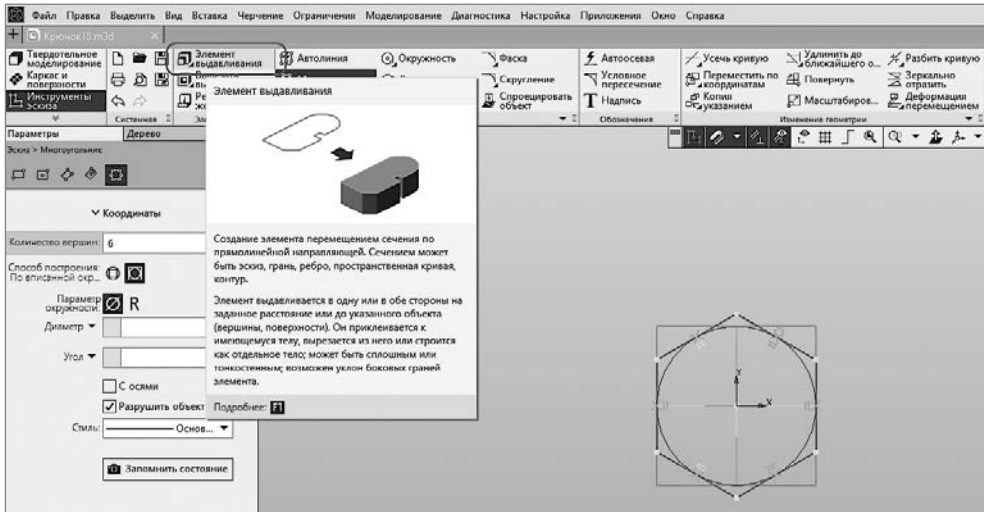
Укажите плоскость XY.



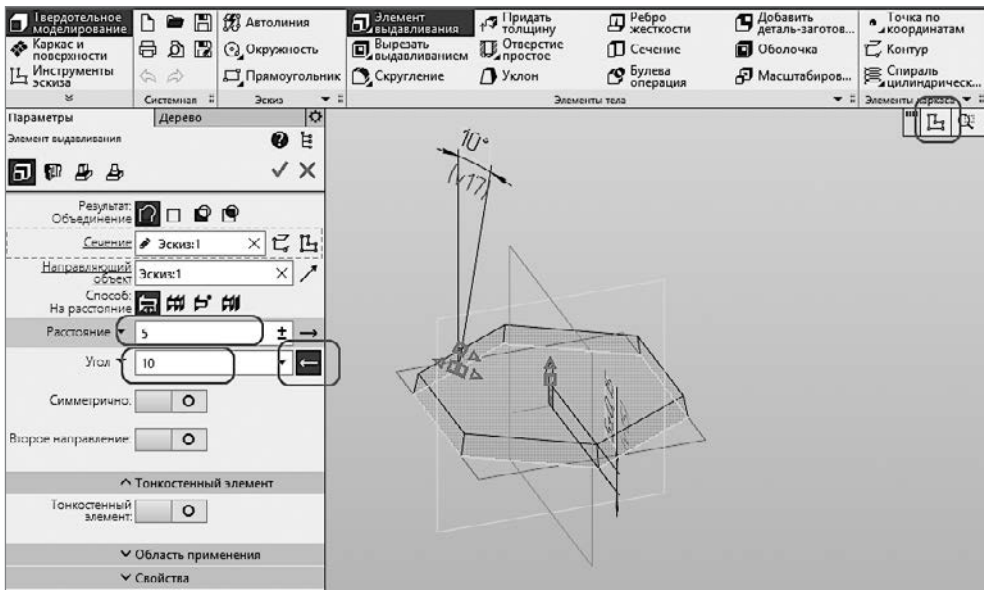
Постройте многоугольник из начала координат. Установите количество вершин – 6 шт., диаметр – 50 мм. Укажите угол – 0 градусов.



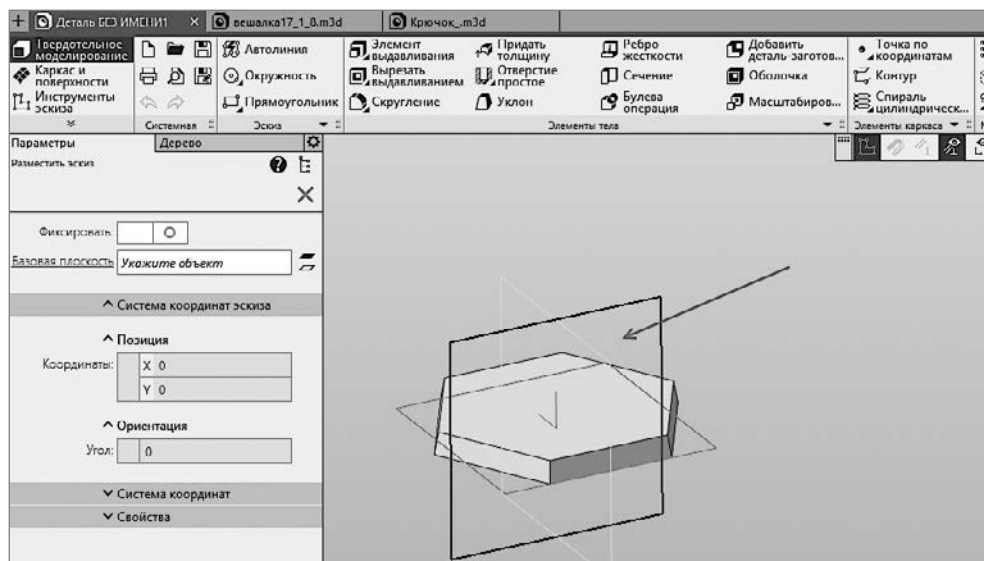
Не завершая предыдущую команду, запустите команду **Операция выдавливания**.



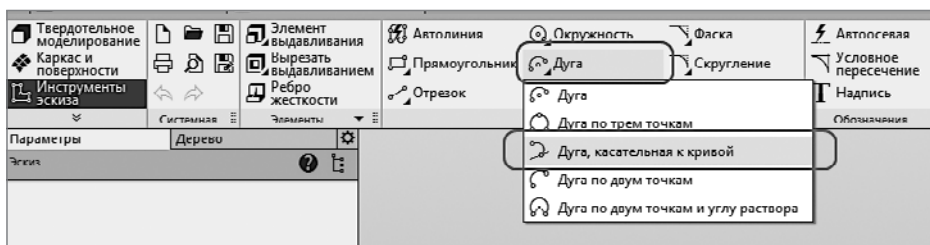
Введите расстояние — 5 мм, угол — 10 градусов и при необходимости измените направление угла. Не завершая предыдущую команду, нажмите кнопку **Эскиз**.



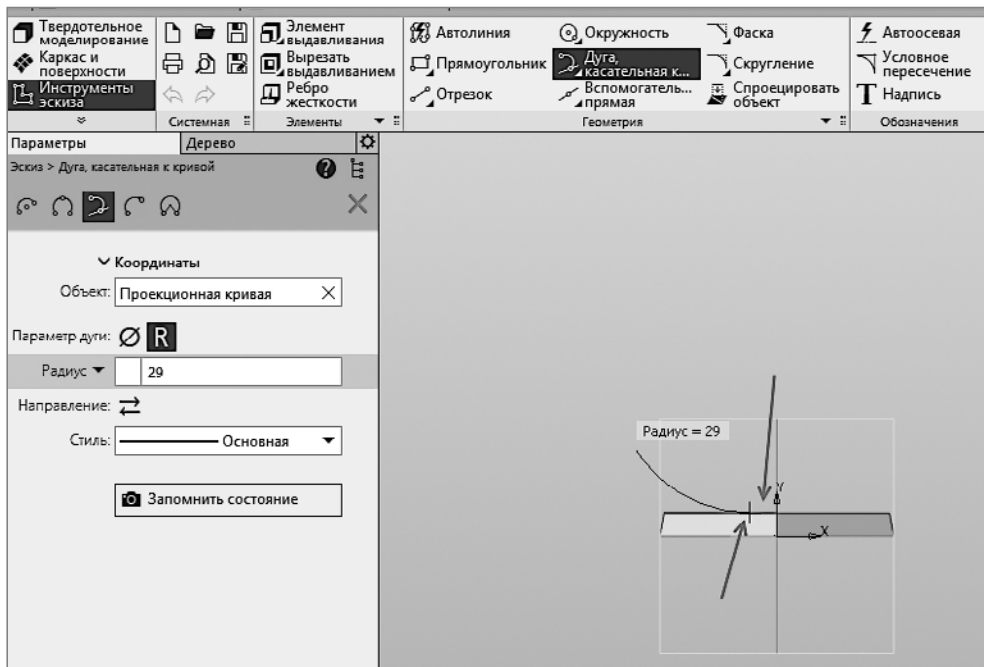
Укажите плоскость ZY.



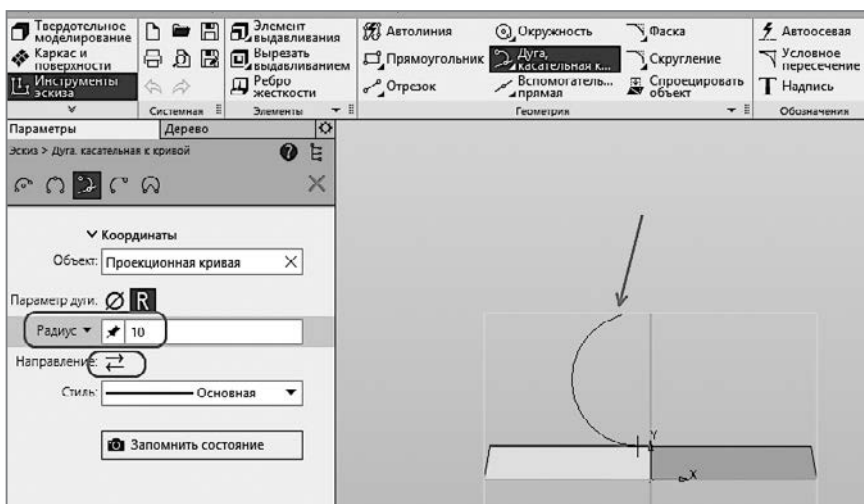
Удерживая левую кнопку мыши на группе команд Дуга, в открывшейся панели выберите Дуга, касательная к кривой.



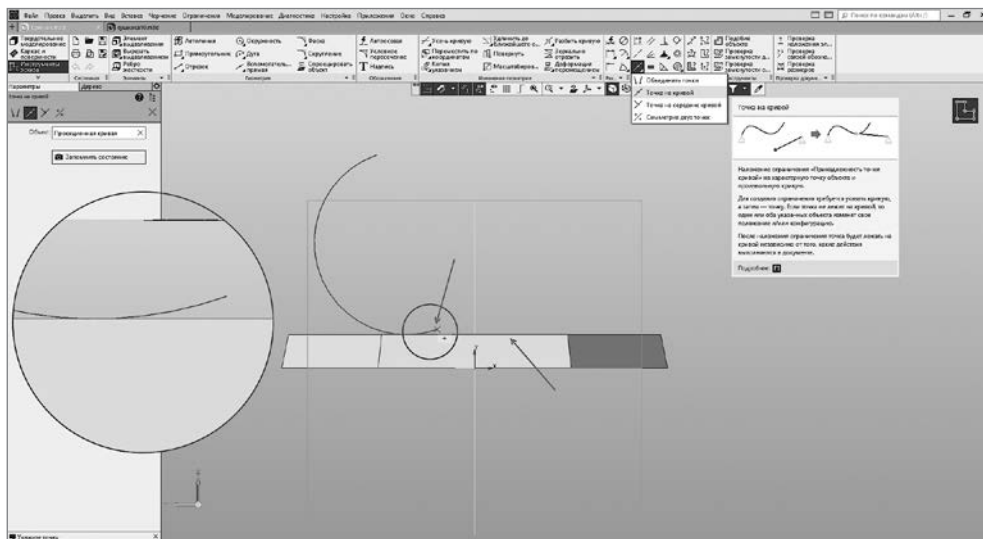
Укажите отрезок, к которому будет касательной дуга, и произвольно укажите начальную точку дуги.



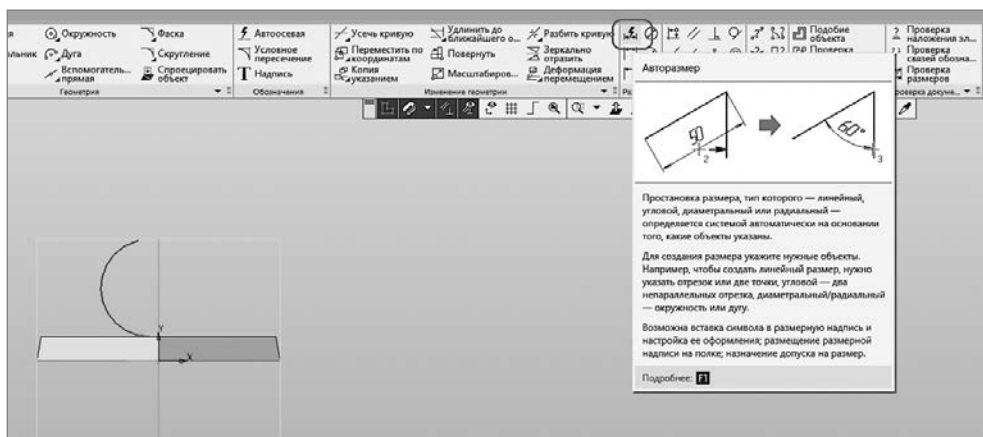
Введите радиус дуги 10, при необходимости измените направление дуги и произвольно укажите конечную точку дуги.



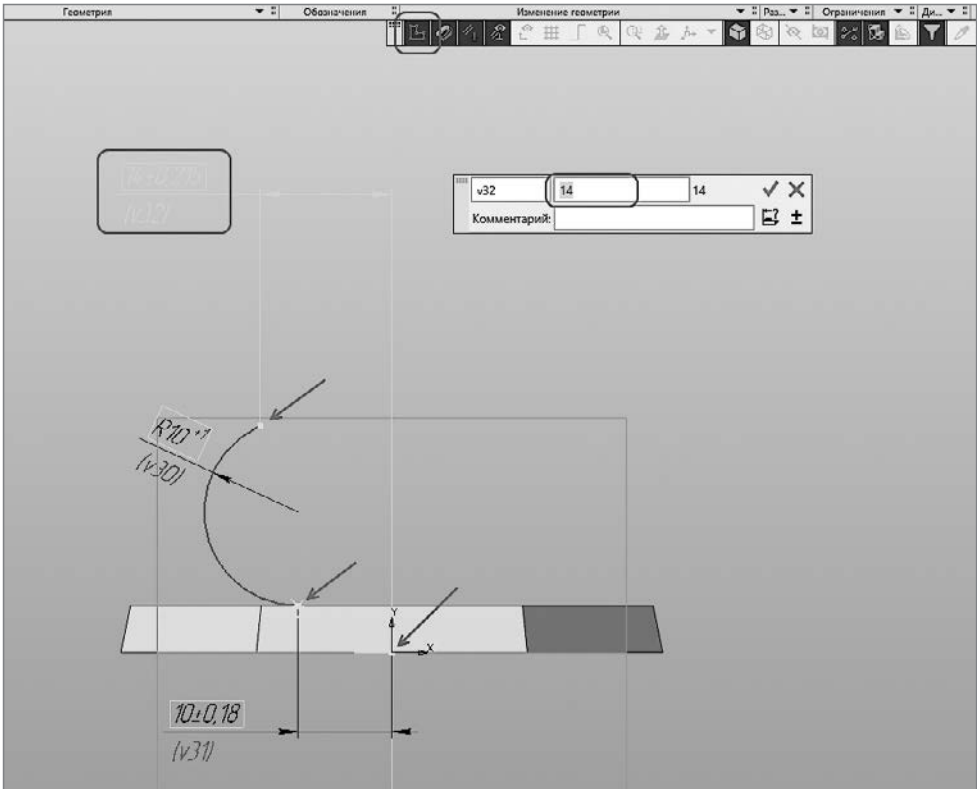
Если конец дуги оторвался от отрезка, то запустите команду Точка на кривой. В качестве кривой укажите отрезок, к которому касательна дуга, а в качестве точки — нижнюю точку дуги.



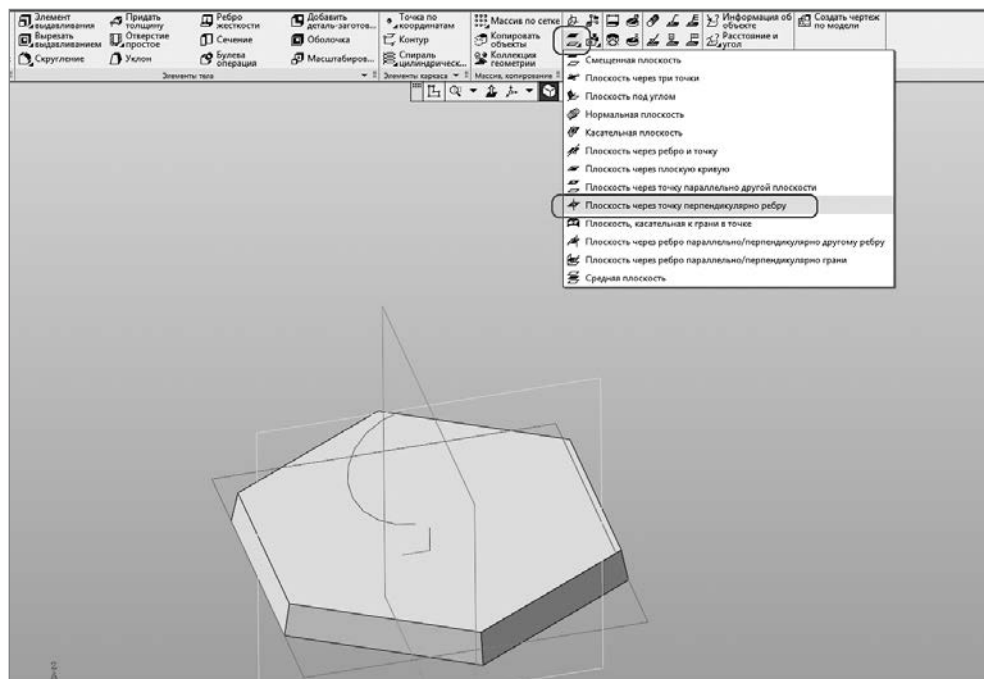
Запустите команду Авторазмер.



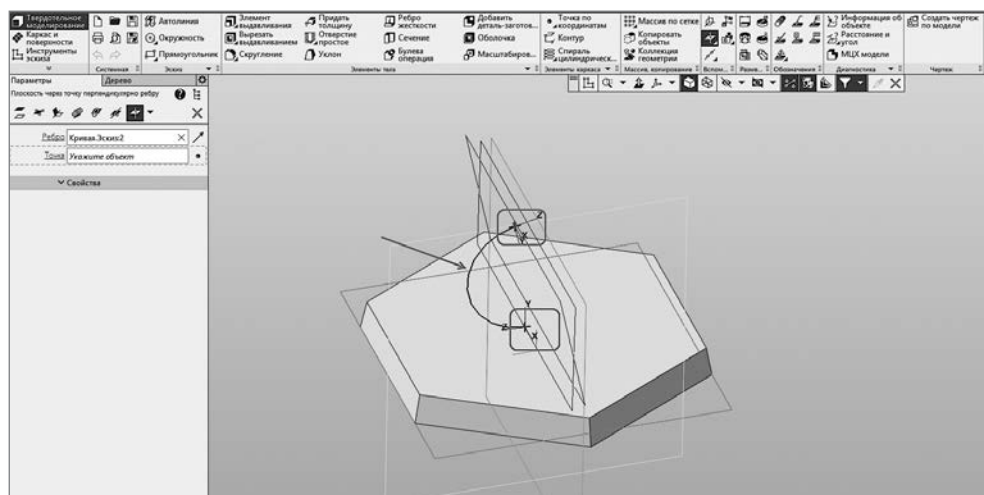
Проставьте радиальный размер, выставьте горизонтальные размеры от начала координат до начала и конца дуги. Выйдите из режима эскиза.



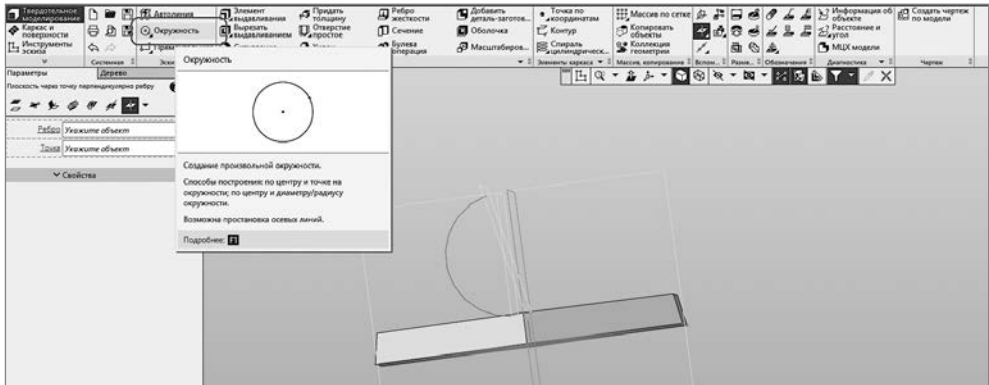
Удерживая левую кнопку мыши на группе команд Смещенная плоскость, в открывшейся панели выберите Плоскость через точку перпендикулярно ребру.



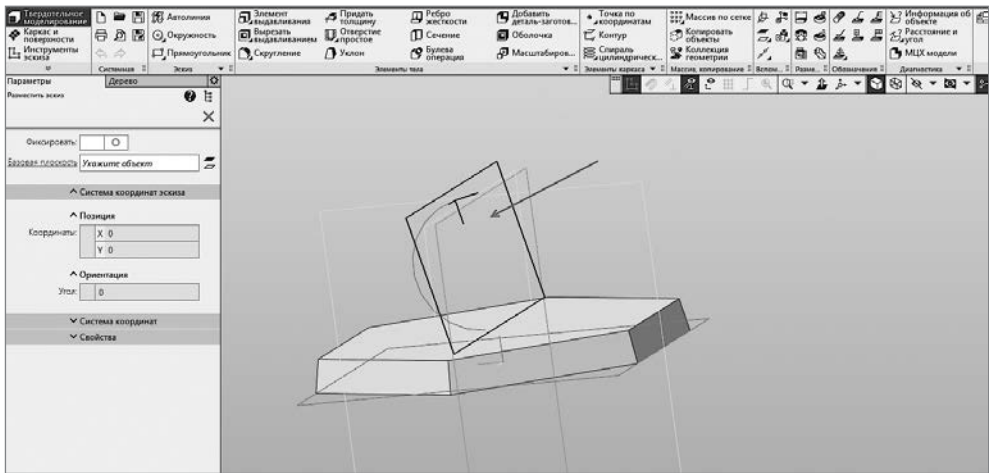
Укажите дугу, затем начальную точку дуги — создалась плоскость. Не прерывая команду, снова укажите дугу и конечную точку дуги — создалась вторая плоскость.



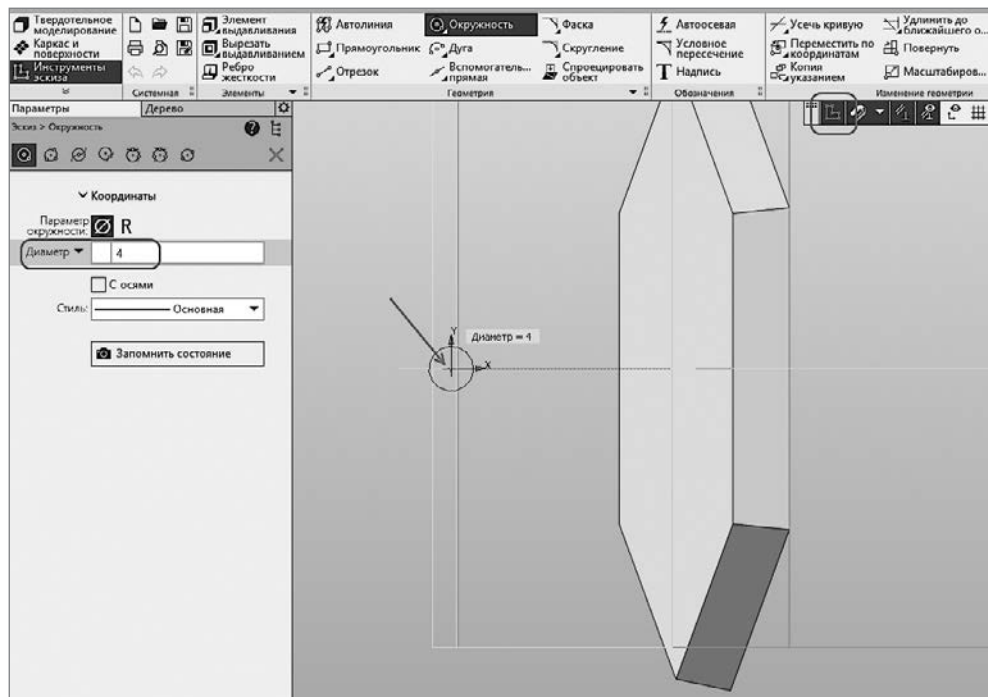
Не прерывая прошлую команду, запустите команду Окружность.



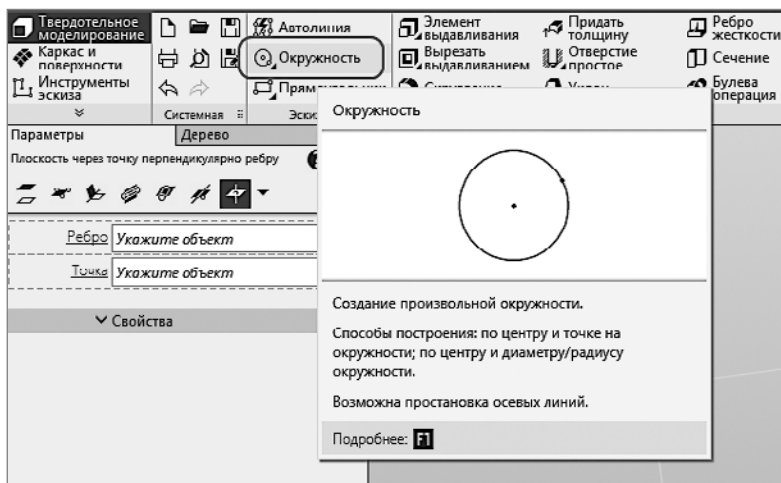
Укажите верхнюю плоскость.



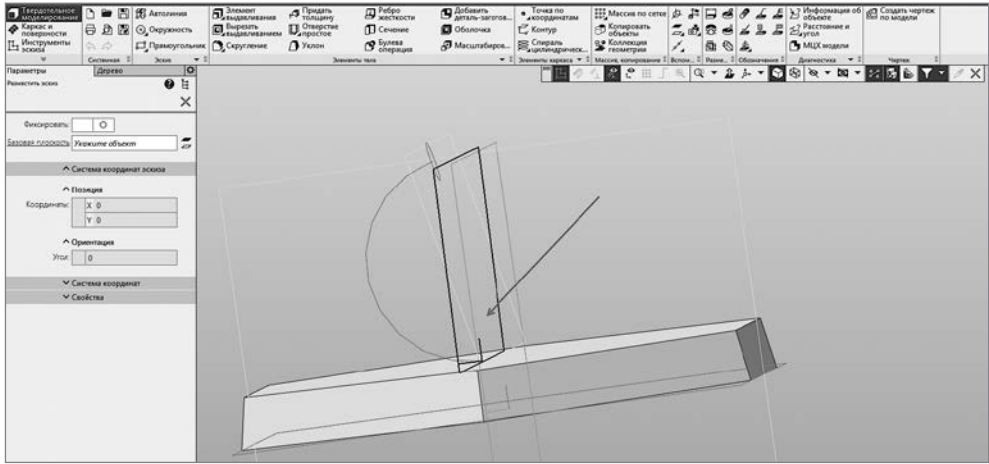
Укажите начало координат и введите диаметр 4 мм. Выйдите из режима эскиза.



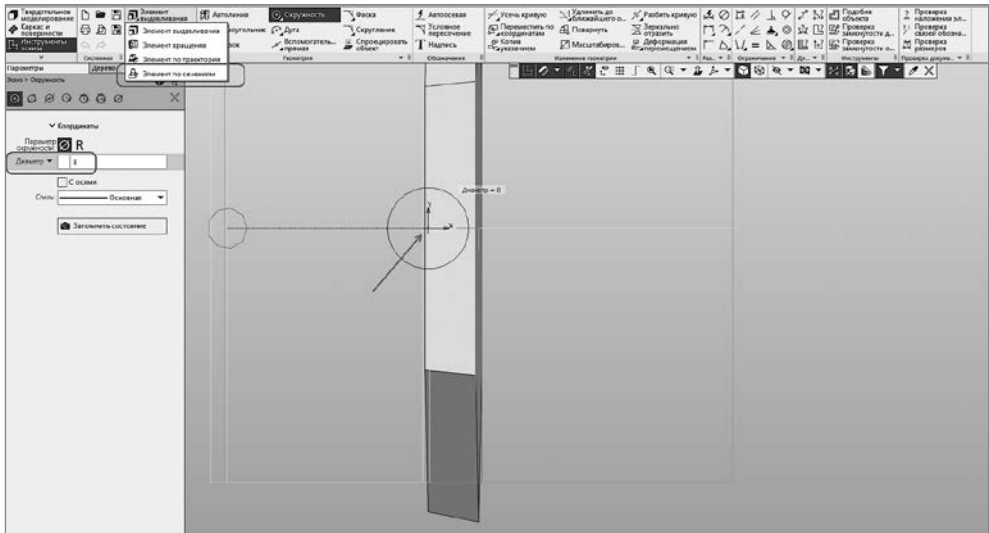
Снова запустите команду Окружность.



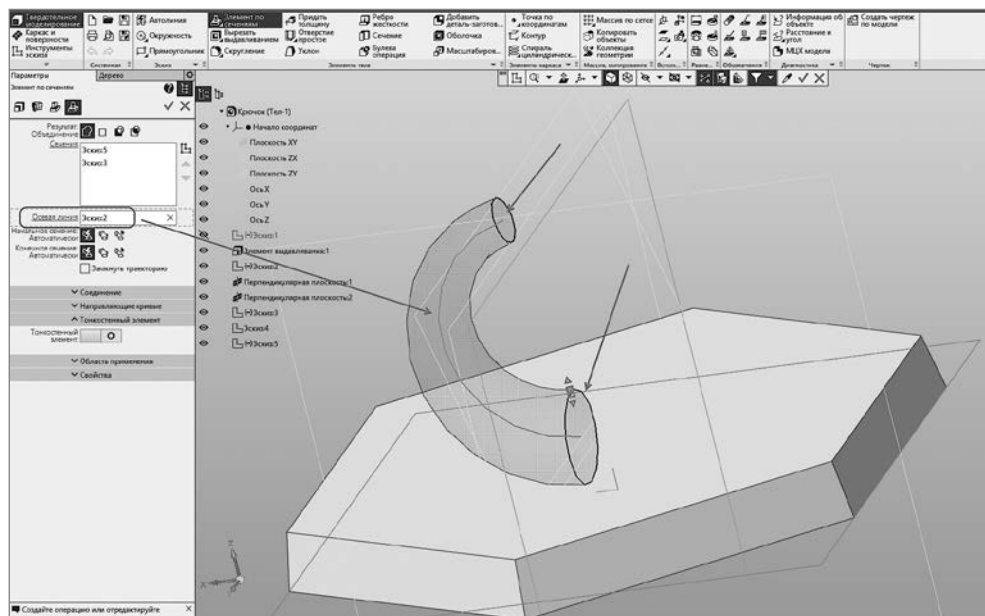
Укажите нижнюю плоскость.



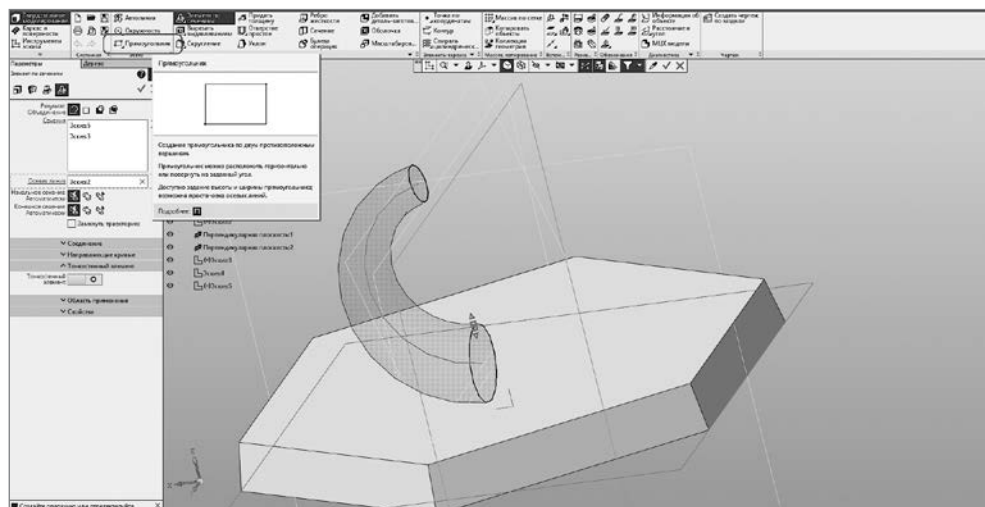
Укажите начало координат и введите диаметр 8 мм. Затем, удерживая левую кнопку мыши на группе команд Элемент выдавливания, в открывшейся панели выберите Элемент по сечениям.



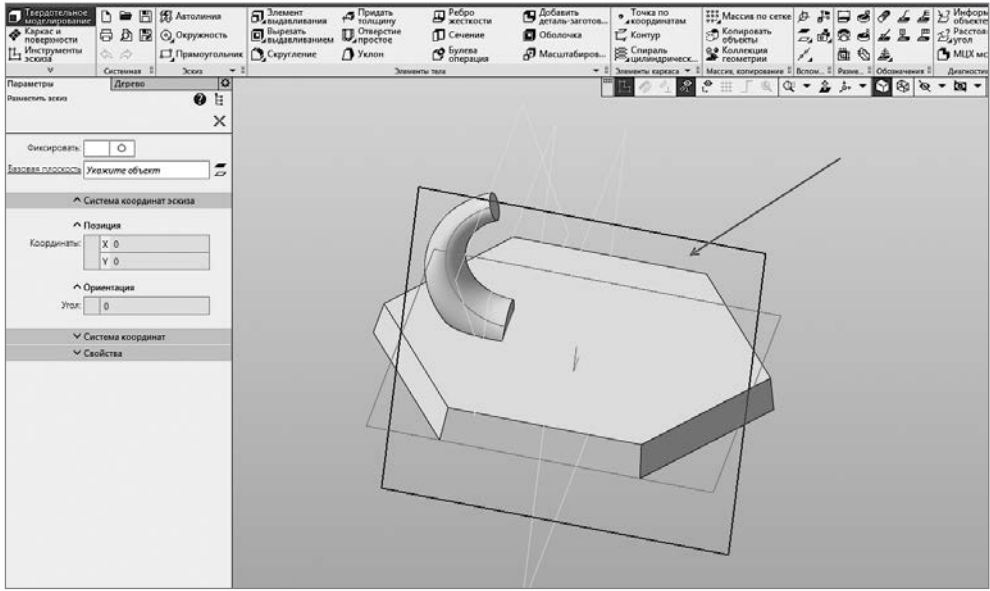
Укажите построенные окружности в качестве сечений, а дугу — в качестве осевой линии.



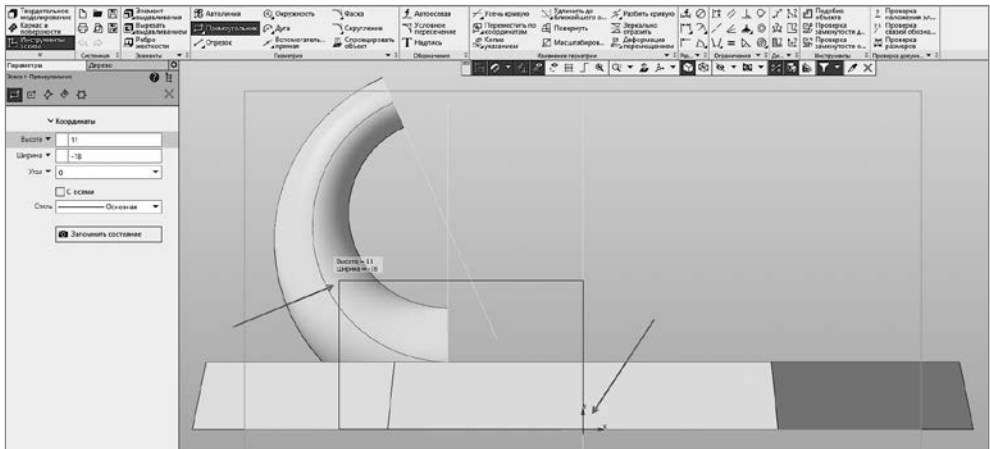
Не прерывая прошлую команду, запустите команду Прямоугольник.



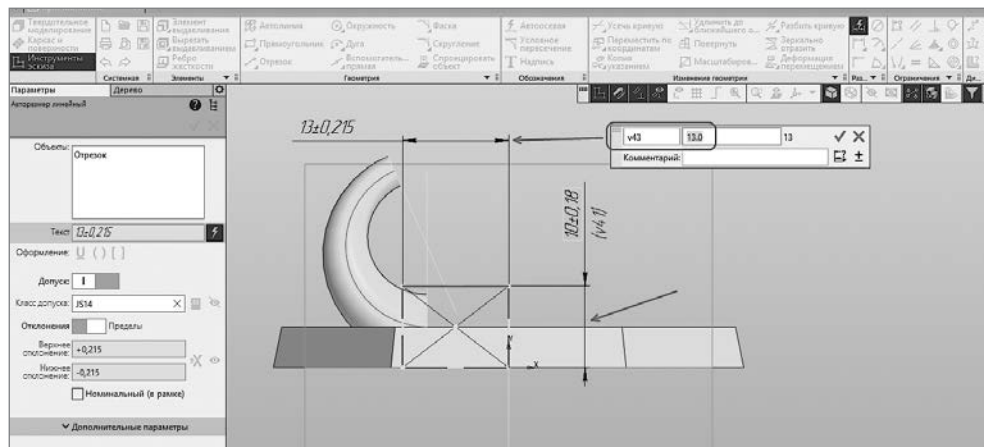
Выберите плоскость ZY.



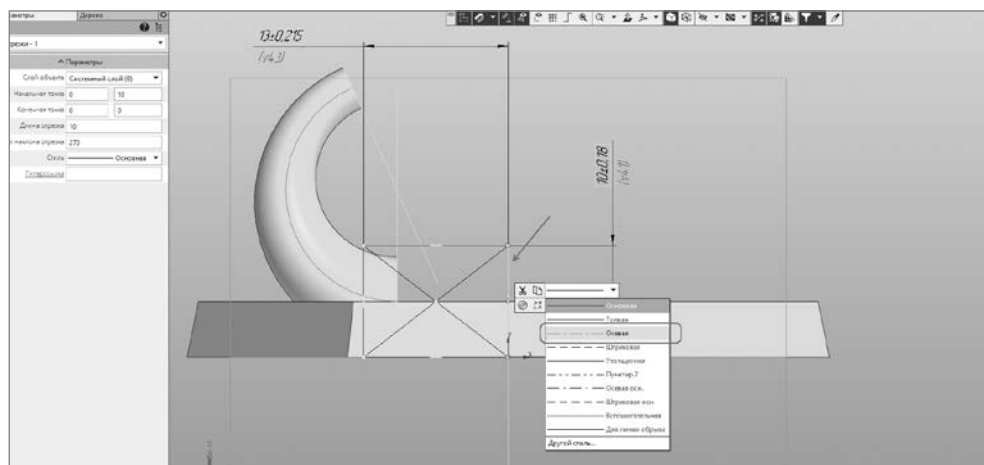
Постройте произвольный прямоугольник из начала координат в сторону крючка.



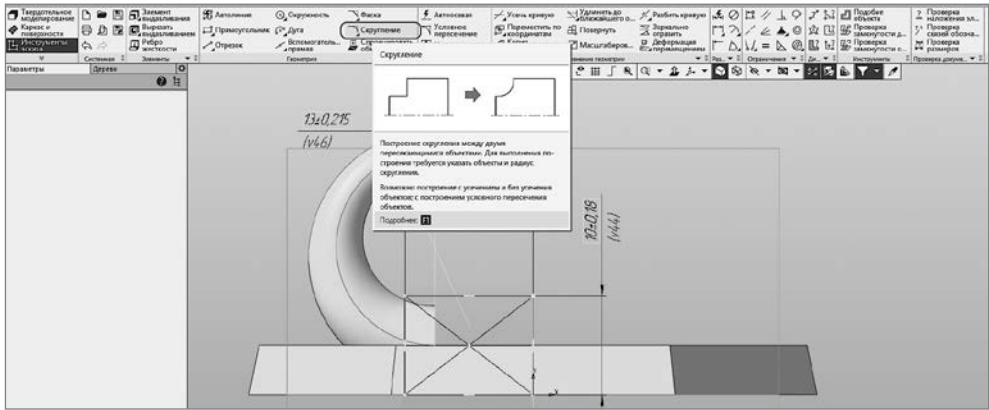
Запустите команду Авторазмер и поставьте размеры прямоугольника — 10 и 13 мм.



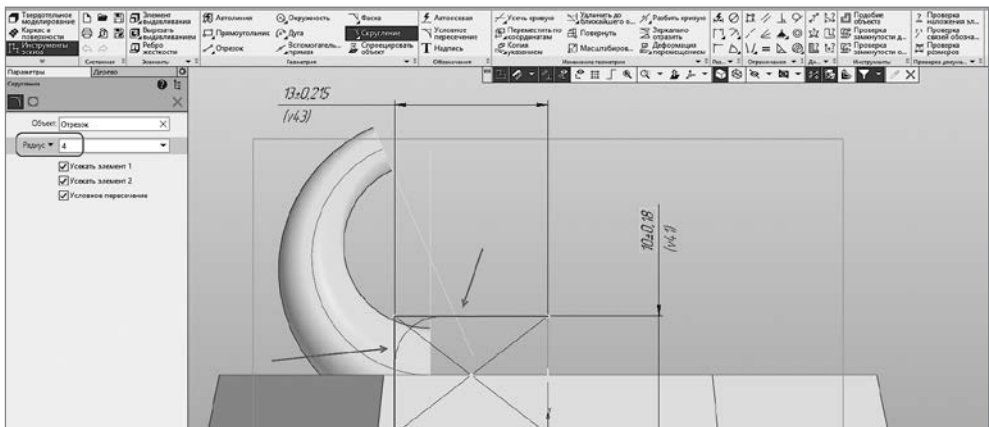
Измените стиль линии у вертикального отрезка, выходящего из начала координат.



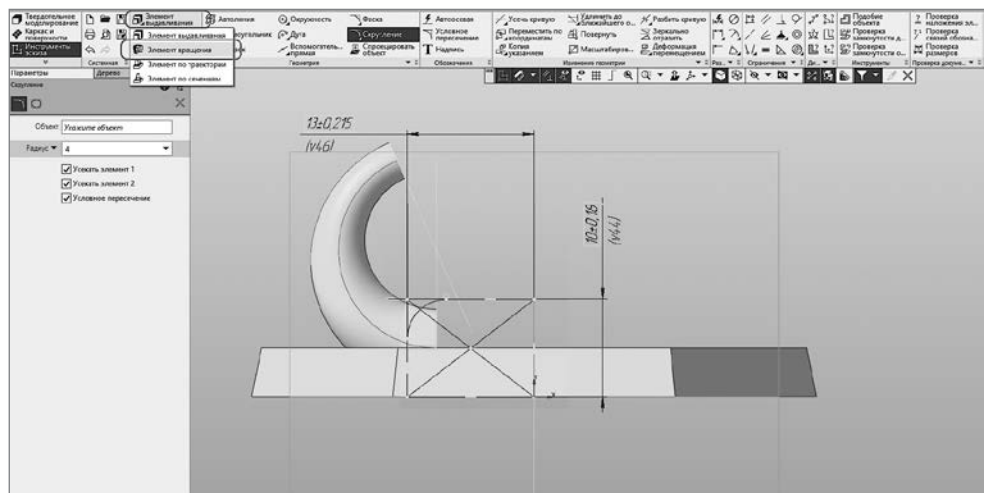
Запустите команду Скругление.



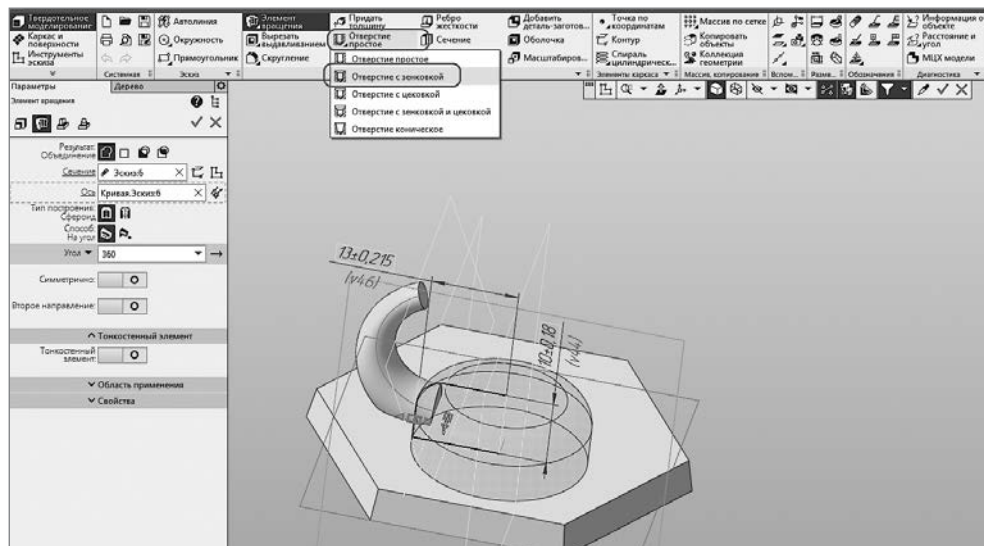
Установите радиус 4 мм и укажите отрезки у угла, противоположного началу координат.



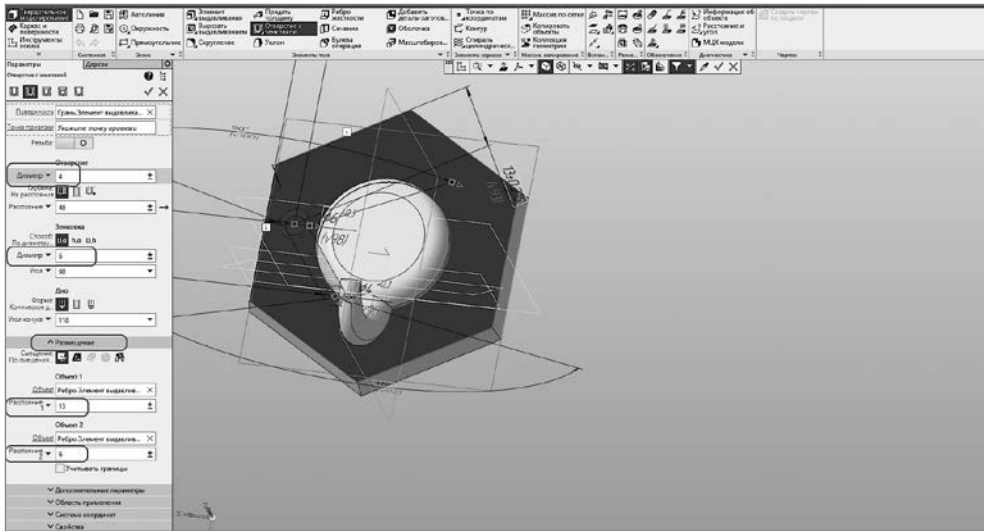
Удерживая левую кнопку мыши на группе команд Элемент выдавливания, в открывшейся панели выберите Элемент вращения.



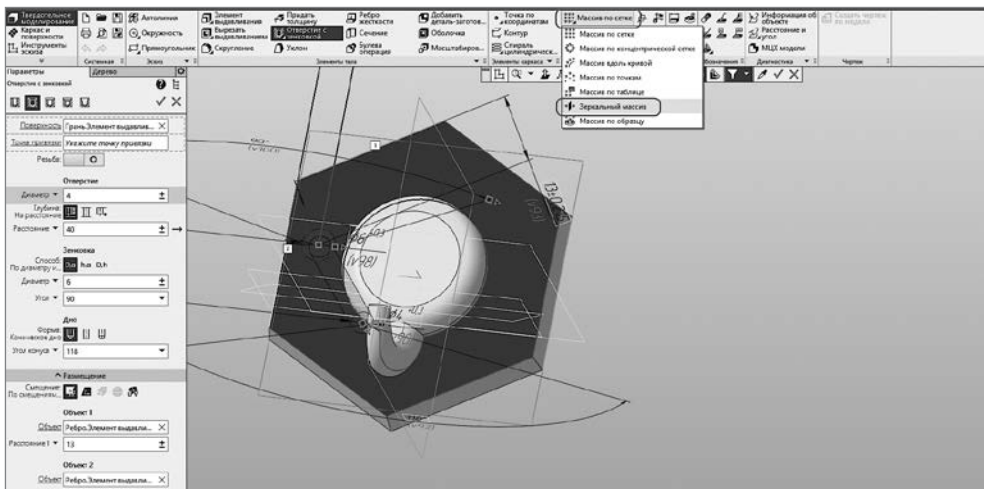
Удерживая левую кнопку мыши на группе команд Отверстие простое, в открывшейся панели выберите Отверстие с зенковкой.



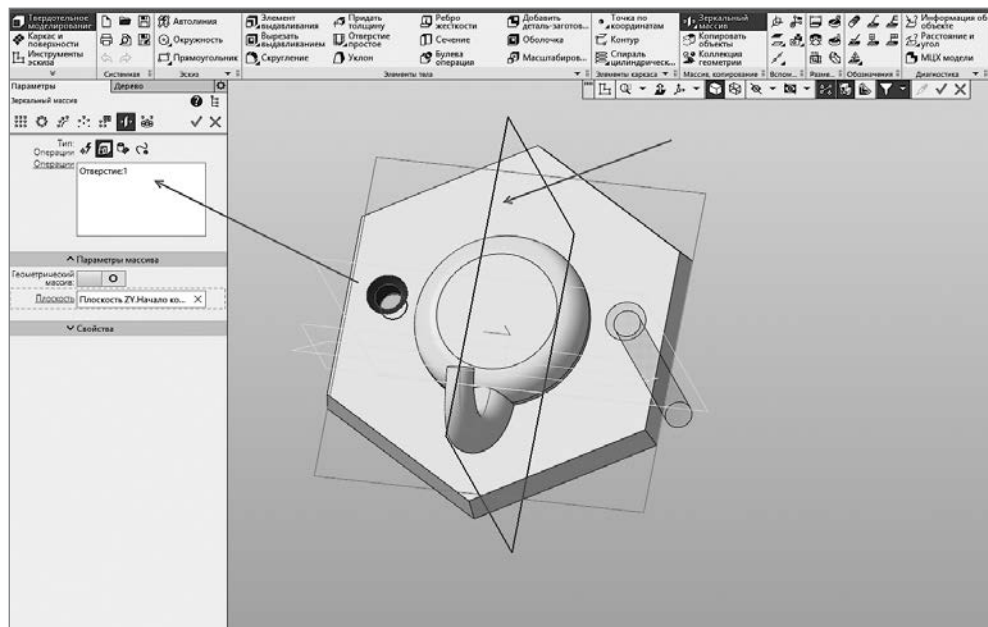
Установите диаметр отверстия — 4 мм, диаметр зенковки — 6 мм. Раскройте секцию Размещение. Укажите расстояние 1 — 13 мм, расстояние 2 — 6 мм.



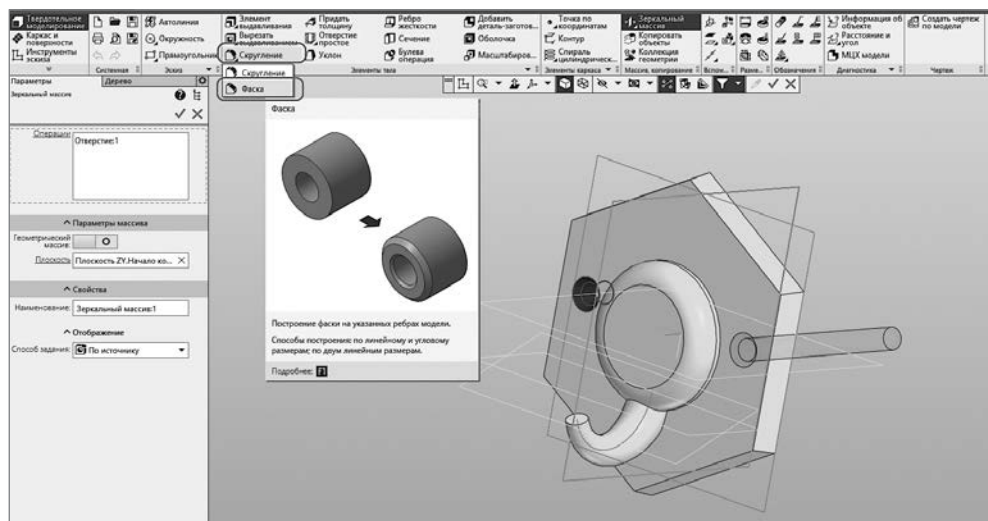
Удерживая левую кнопку мыши на группе команд Массив по сетке, в открывшейся панели выберите Зеркальный массив.



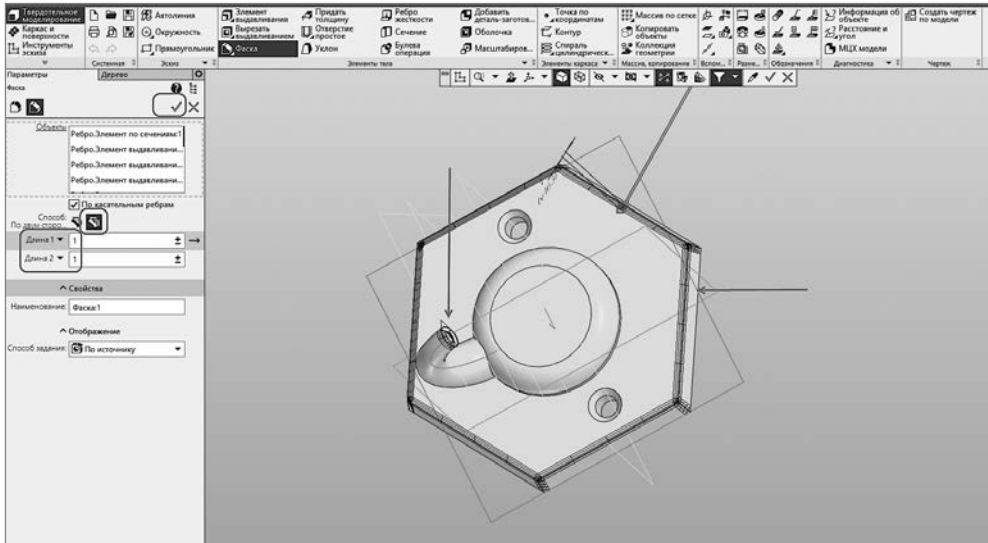
Укажите отверстие и плоскость ZY.



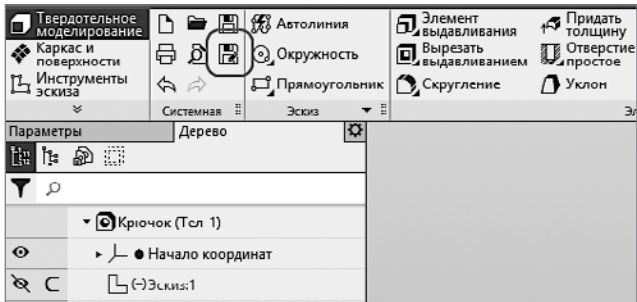
Запустите команду Фаска.



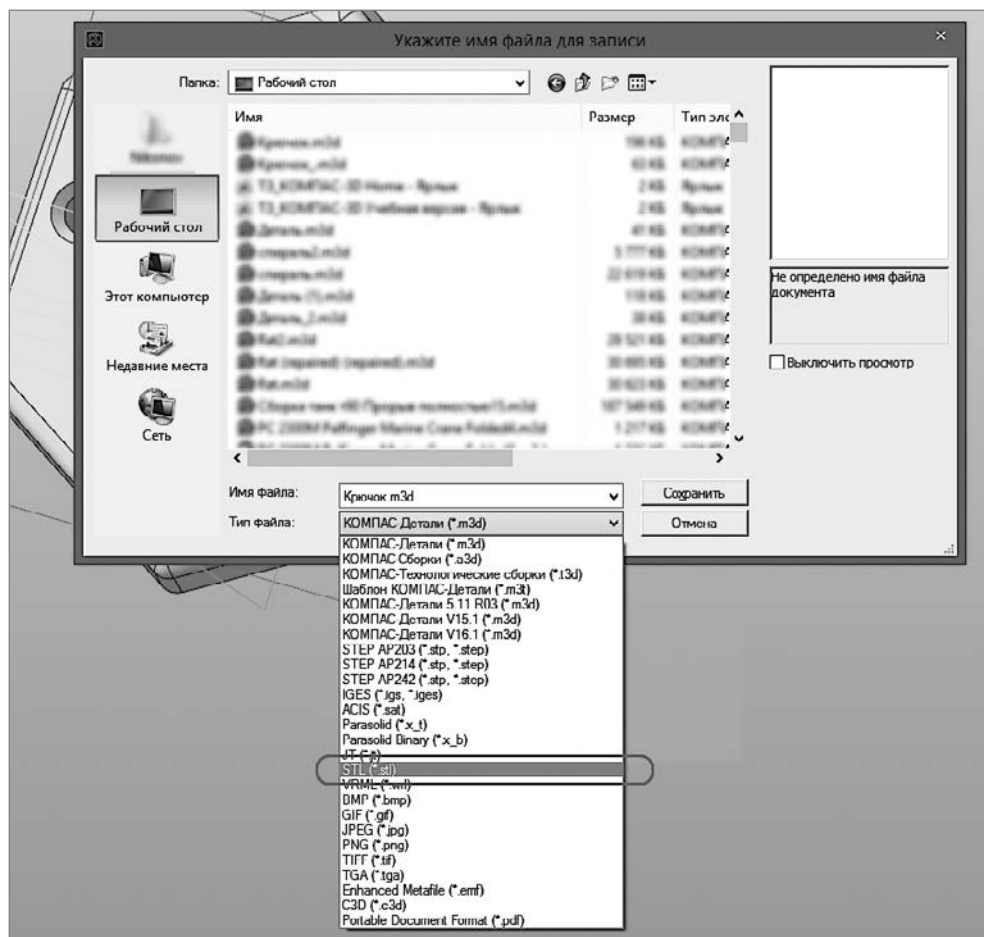
Установите способ по двум сторонам и укажите обе длины по 1 мм. Укажите ребра, с которых требуется снять фаску. Поскольку операция последняя, нажмите кнопку Создать.



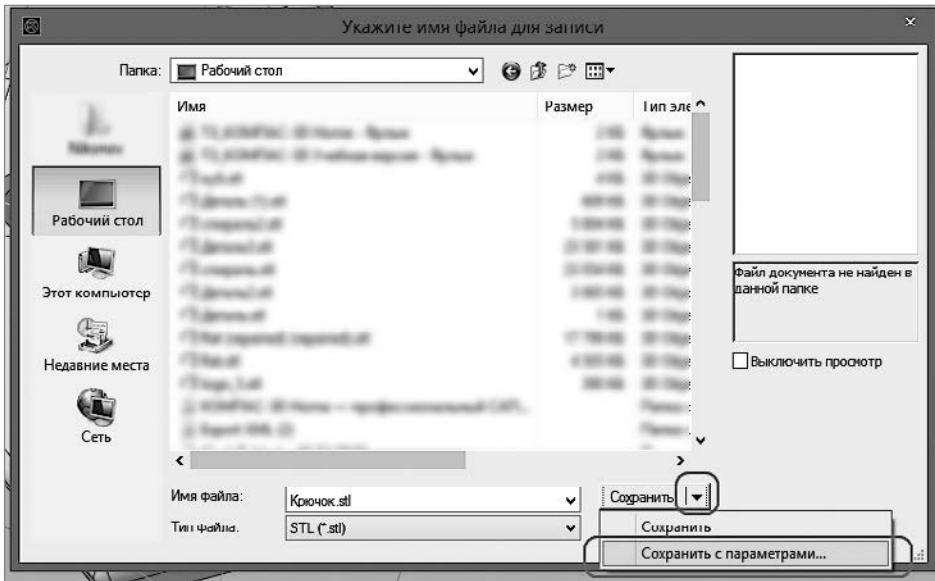
Подготовьте модель к 3D-печати. Нажмите кнопку Сохранить как...



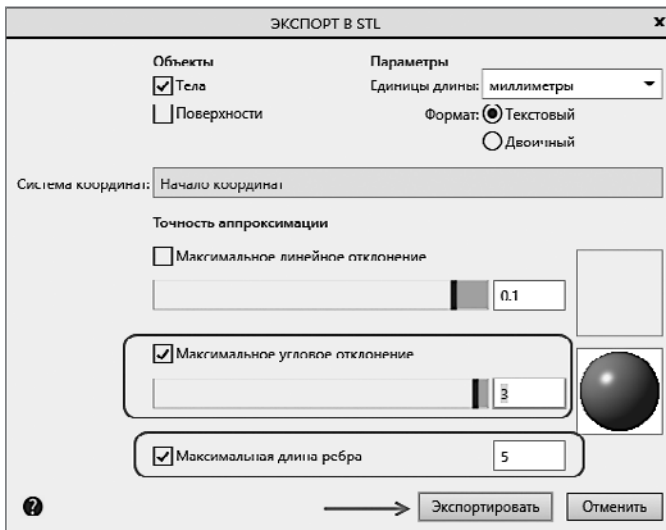
Выберите тип файла Stl.



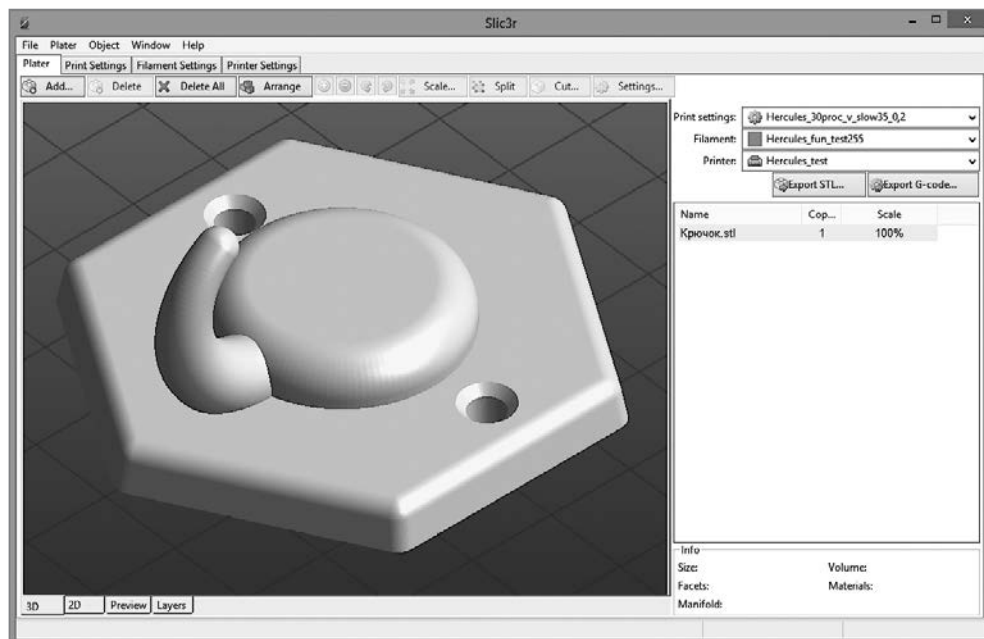
Нажмите треугольник справа от кнопки Сохранить и выберите Сохранить с параметрами...



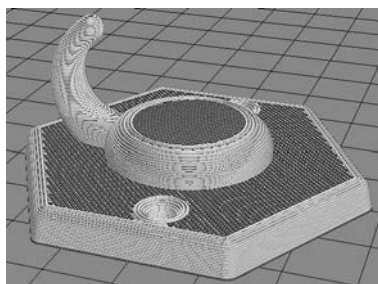
Укажите максимальное угловое отклонение — 3 градуса и максимальную длину ребра — 5 мм. Максимальное линейное отклонение необходимо отключить.



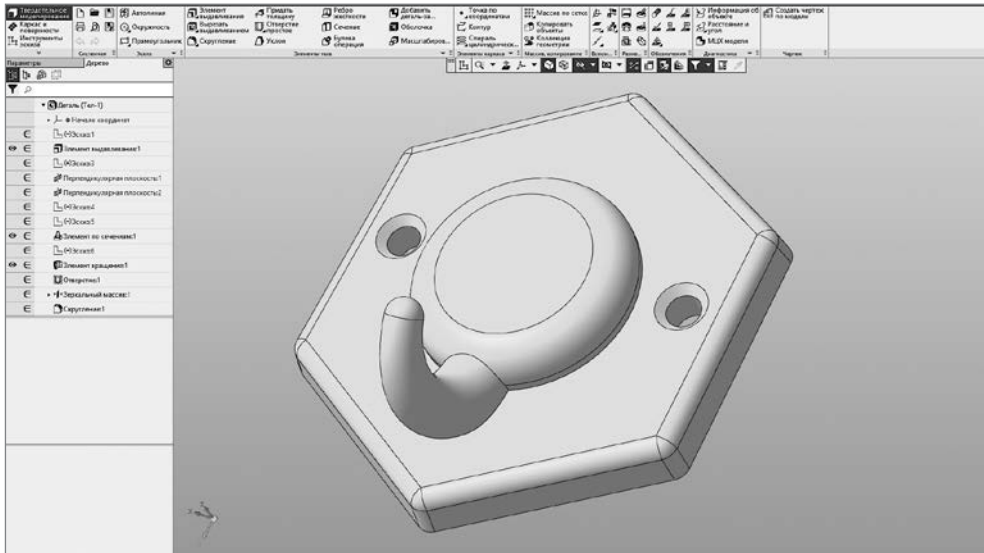
Деталь готова к 3D-печати. Осталось передать ее в слайсер принтера и получить G-код.



Данную деталь можно напечатать без поддержек. В качестве основания удобно использовать сторону, противоположную крючку.



В результате получается следующая модель кружки.



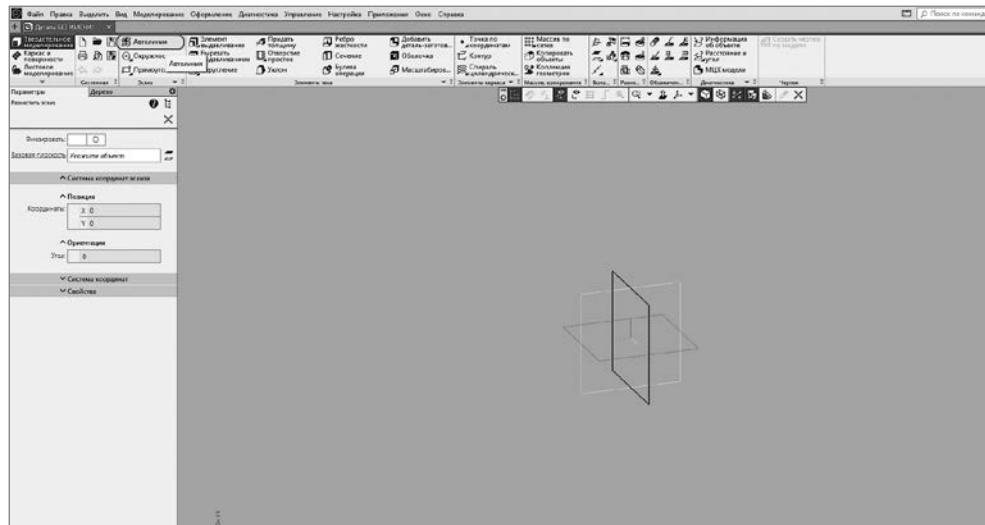
УРОК 1. КРУЖКА

В этом уроке мы создадим кружку, у которой будет плоское дно, что обеспечит качественное прилегание к печатному столу. Для создания модели мы будем использовать автолинию, текст, вырезание выдавливанием, элемент вращения и кинематический элемент. Вдобавок мы создадим вспомогательные плоскости.

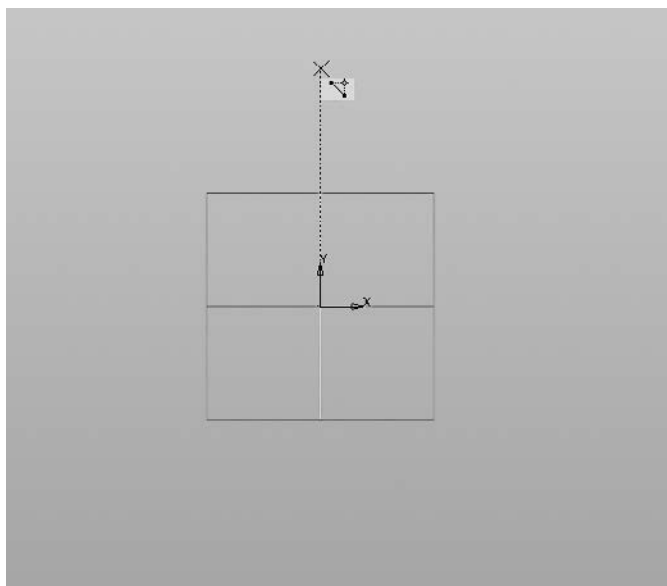
Сначала создадим основу кружки (стакан). Для этого мы будем использовать элемент вращения, который создается вращением некоторого эскиза вокруг оси.

Создайте деталь. Запустите команду **Автолиния**.

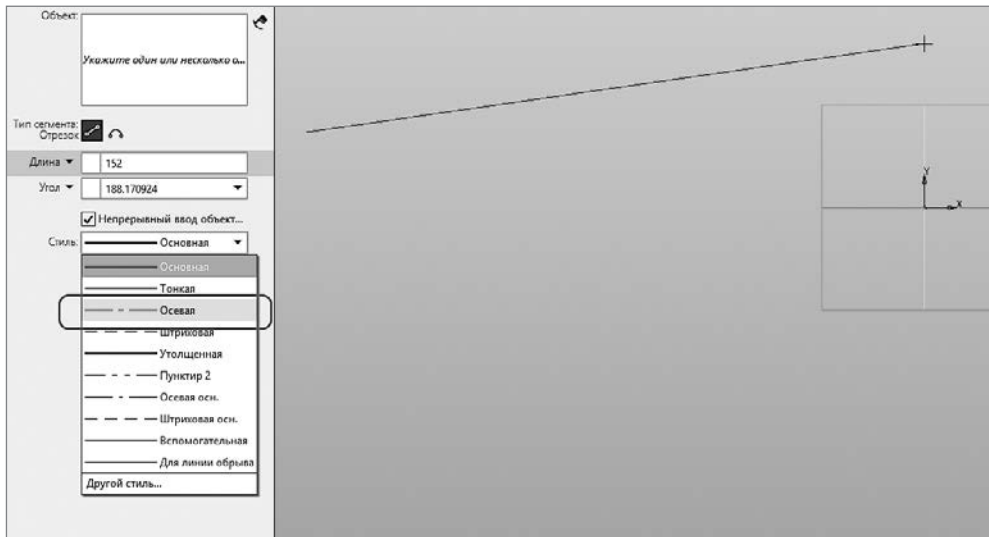
Укажите плоскость ZY .



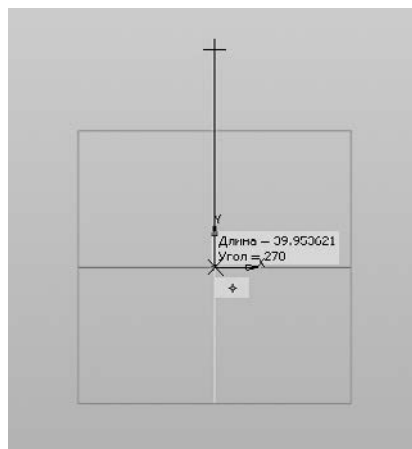
Постройте первую точку автолинии вертикально над центром координат.



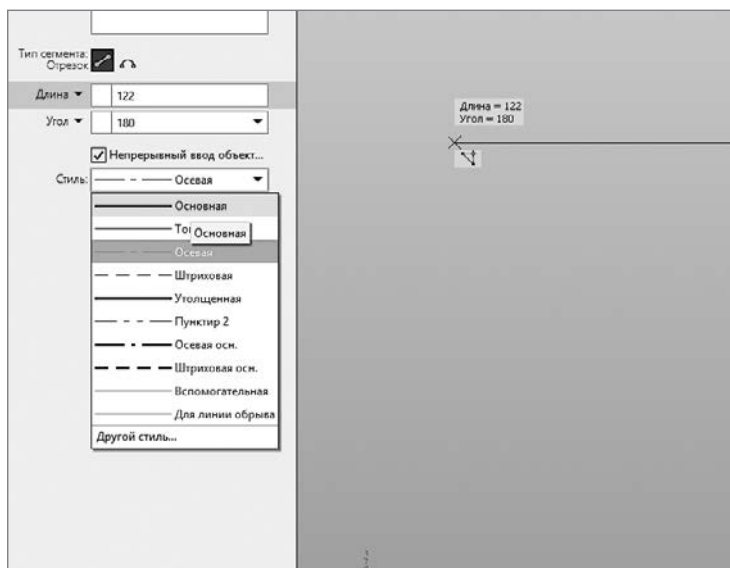
Смените стиль линии на стиль Осевая.



В качестве второй точки укажите начало координат.

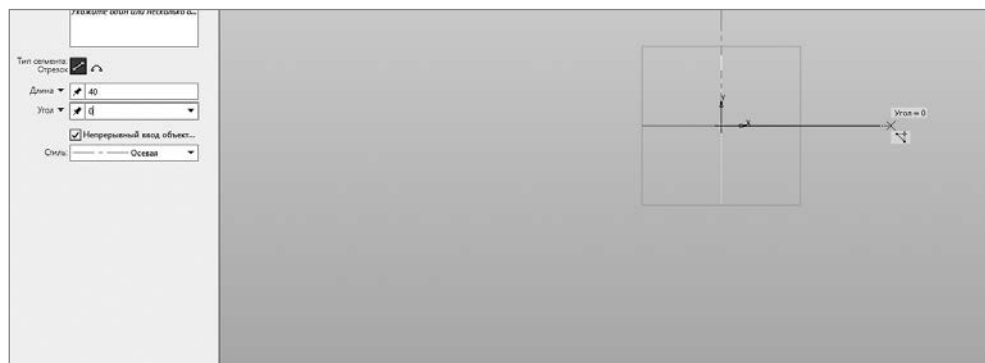


Смените стиль линии на Основная.



Введите с клавиатуры 40 и нажмите Enter — вы ввели длину.

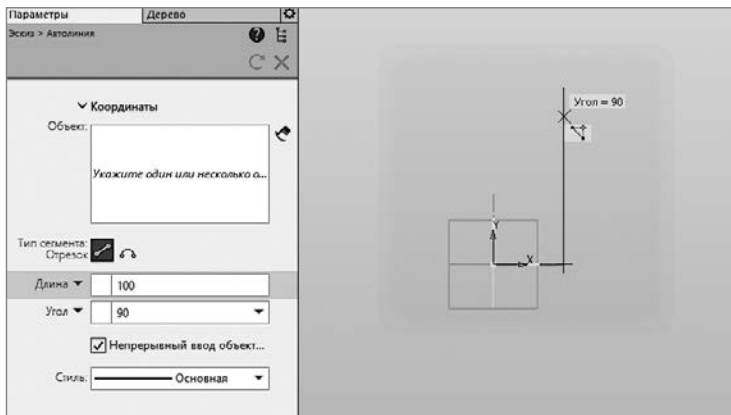
Введите 0 и нажмите Enter — вы ввели угол.



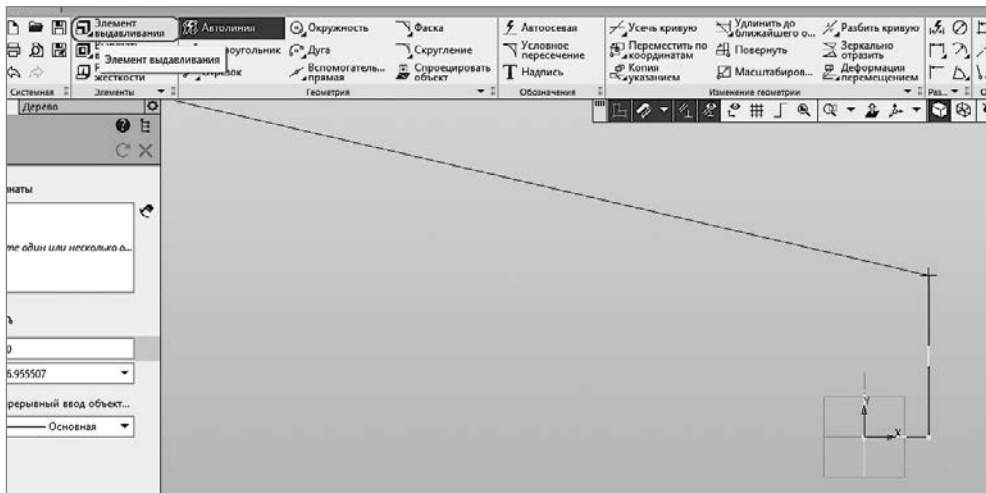
Отрезок построился.

Введите с клавиатуры 100 и нажмите Enter — вы ввели длину.

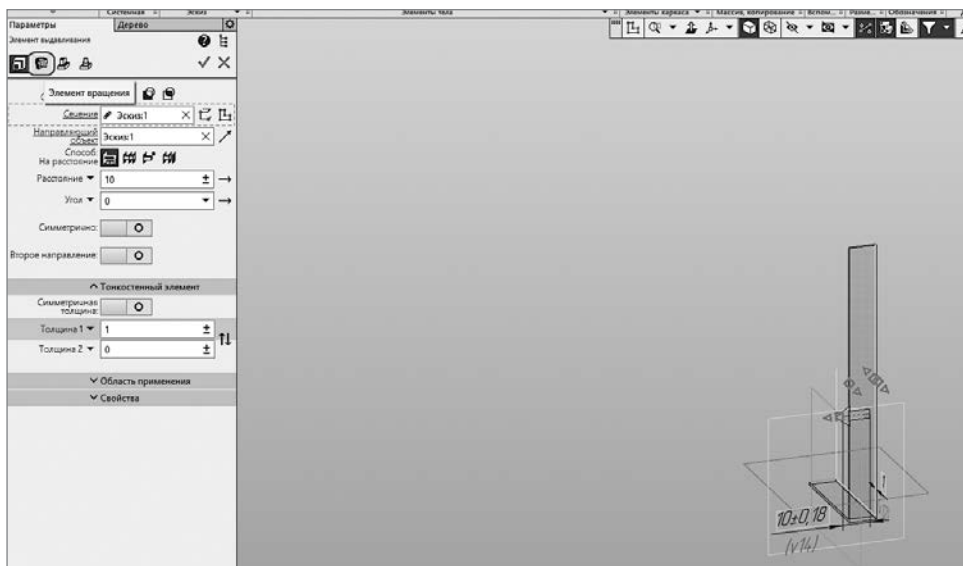
Установите отрезок вертикально и кликните мышью.



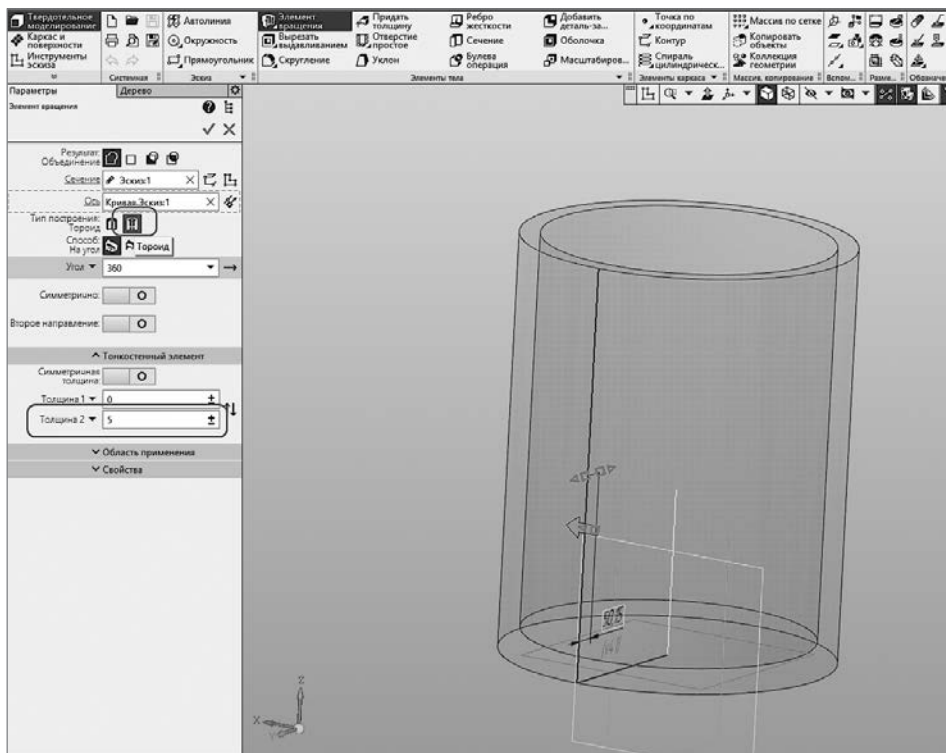
Больше в этом эскизе нам ничего не требуется, поэтому запускаем команду **Элемент выдавливания**.



Переключитесь на команду **Элемент вращения**. Параметры сохранились — внутри группы параметры операций передаются.

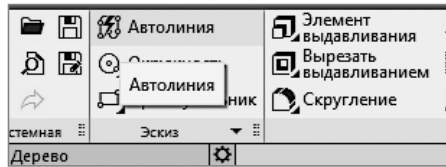


Включите тип построения Торoid. Установите Толщина 2 — 5 мм.

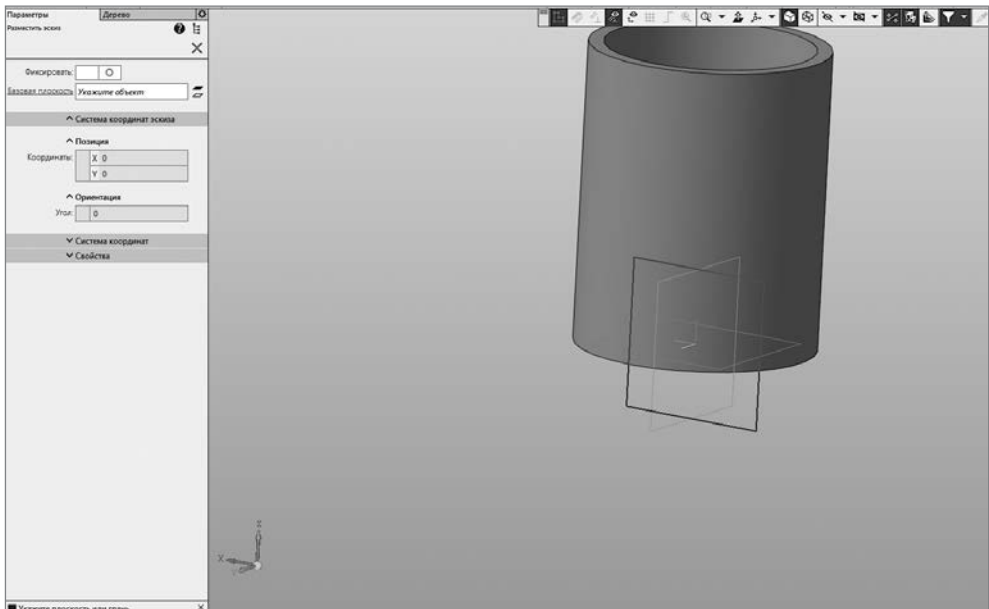


Ручка кружки

Запустите команду Автолиния.

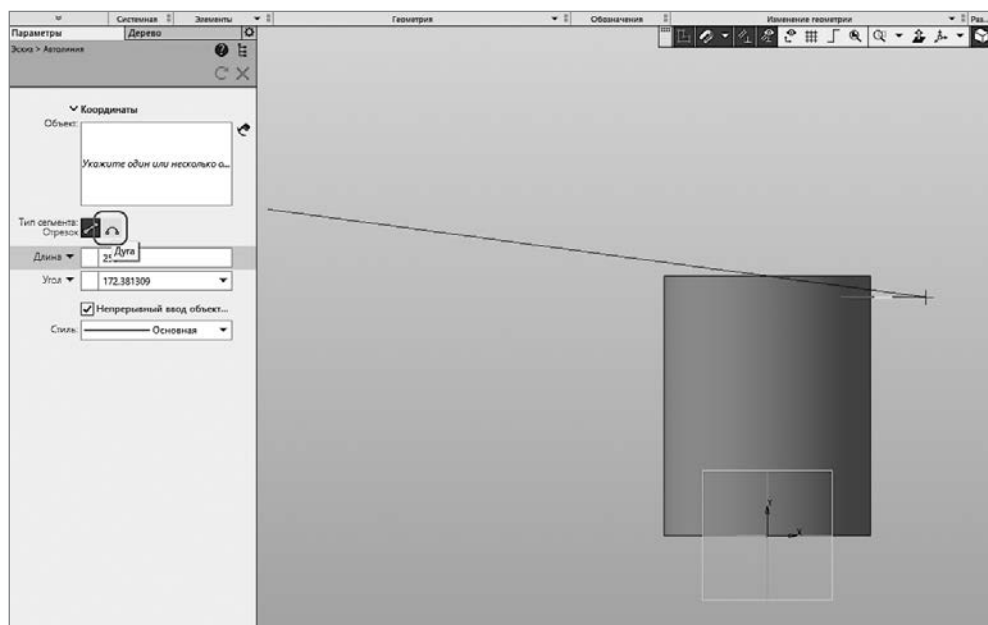


Укажите плоскость ZX.

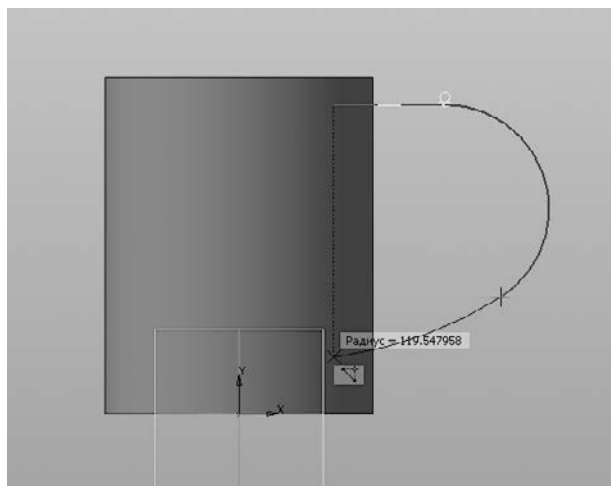


Теперь сделаем из стакана кружку. Для этого нам нужно построить ручку.

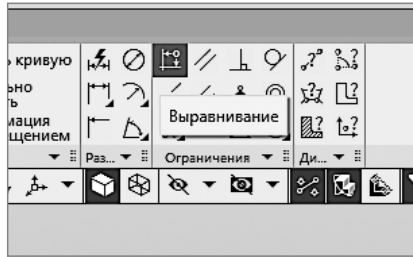
Постройте произвольный горизонтальный отрезок. Затем переключите Тип сегмента на Дуга.



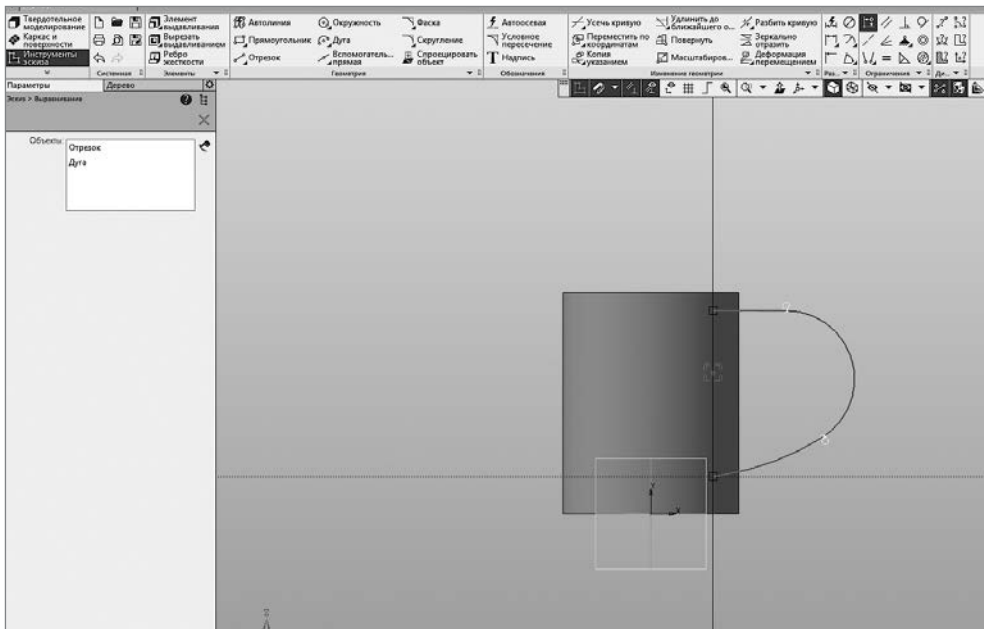
Постройте две произвольные дуги приблизительно так, как показано на рисунке.



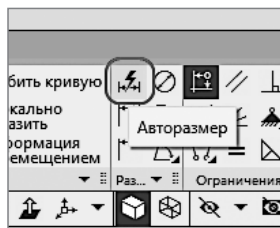
Запустите команду Выравнивание.



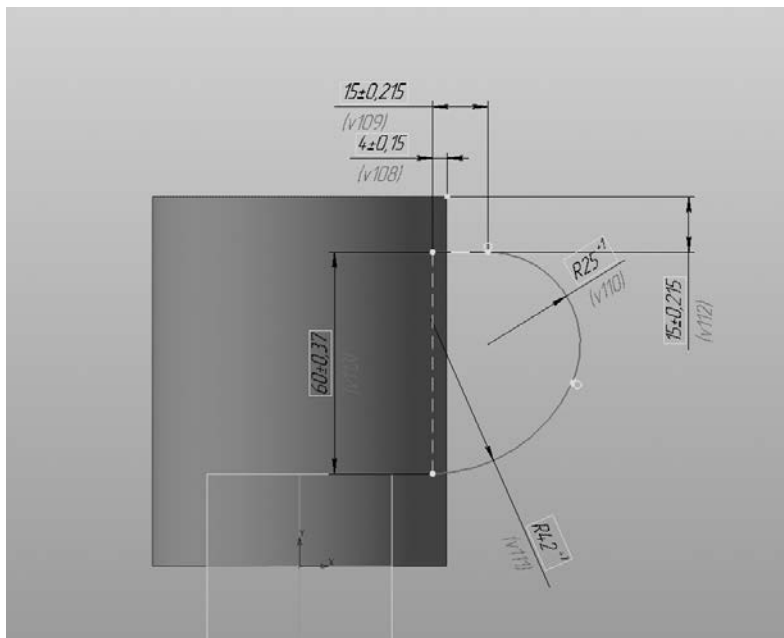
Укажите начало отрезка и конец второй дуги и выберите вертикальное направление выравнивания.



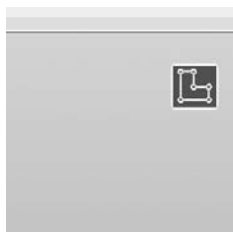
Запустите команду Авторазмер.



Расставьте размеры так, как показано на рисунке.

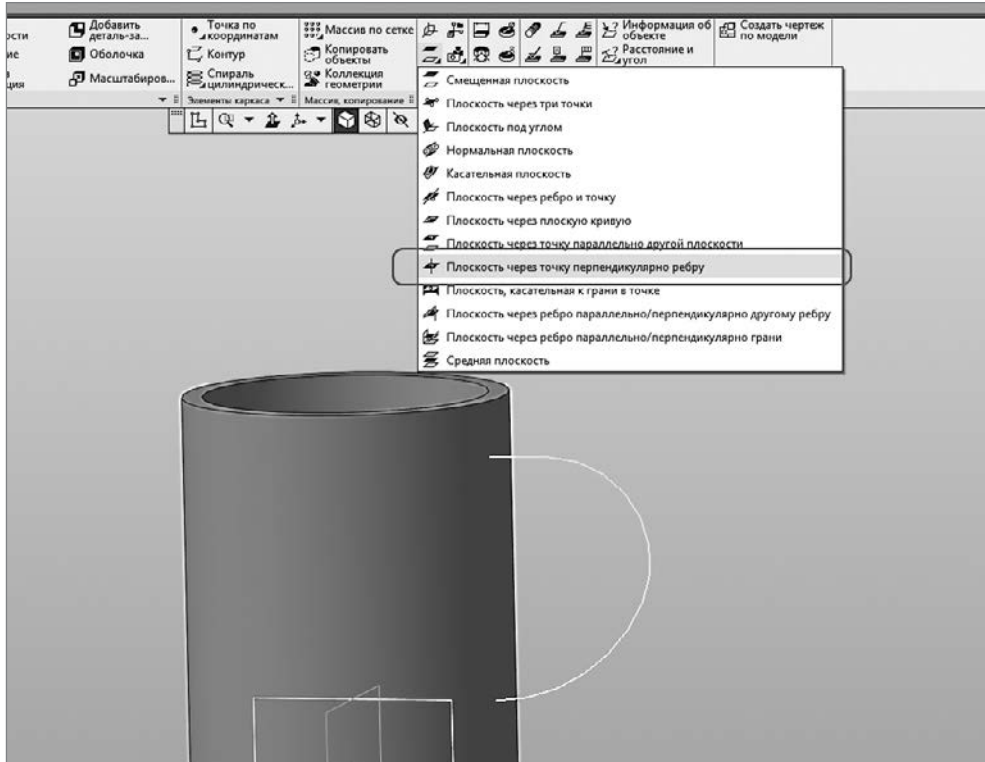


Выйдите из режима эскиза.

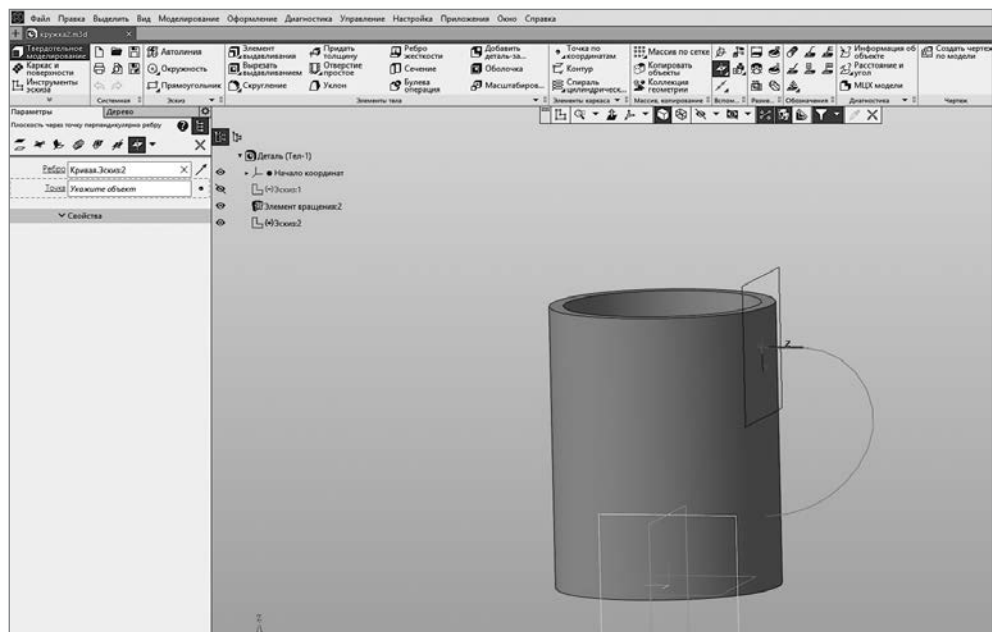


Теперь построим ручку. Для этого нам нужно задать сечение в кинематической операции.

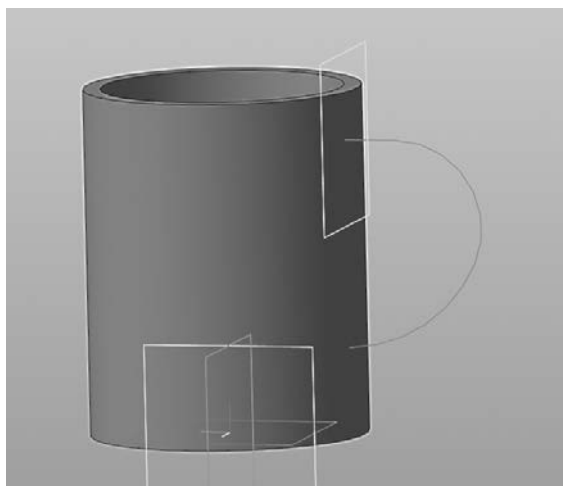
Запустите команду **Плоскость через вершину перпендикулярно ребру**.



Укажите в качестве ребра часть эскиза (Эскиз:2). Затем укажите начальную точку кривой.

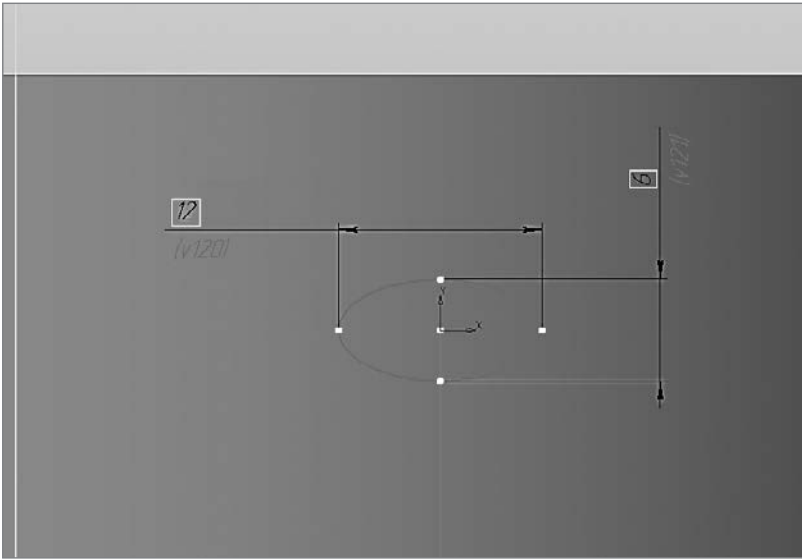


Появилась вспомогательная плоскость. Выйдите из команды, нажав на крестик.



Создайте в плоскости эскиз и самостоятельно постройте эллипс с центром в начале координат эскиза.

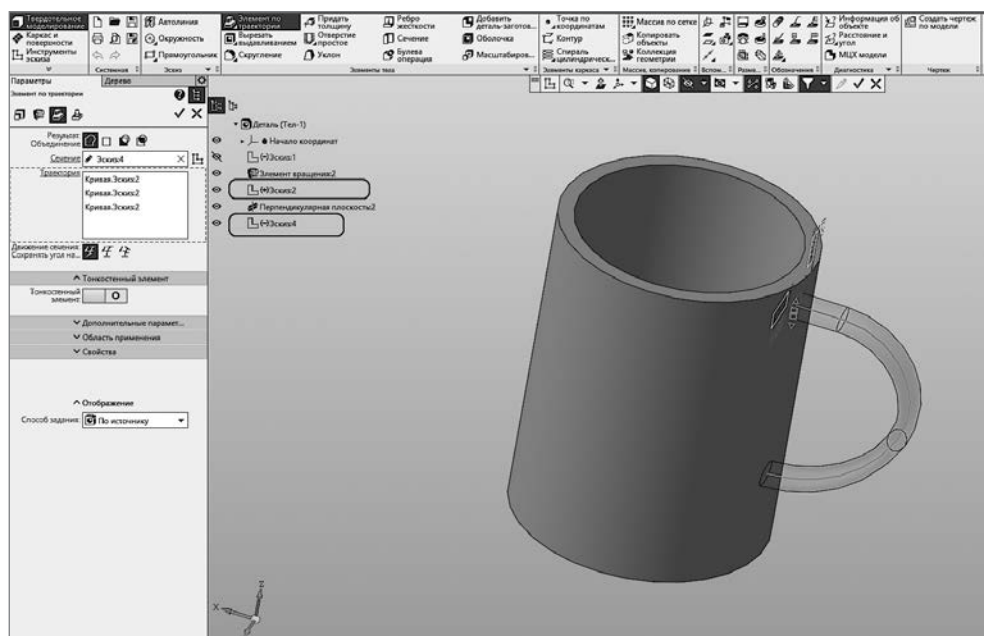
Размеры приведены на рисунке.



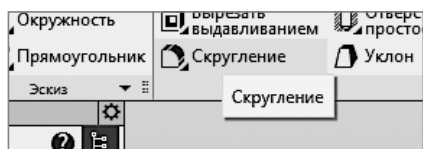
Запустите команду Элемент по траектории.



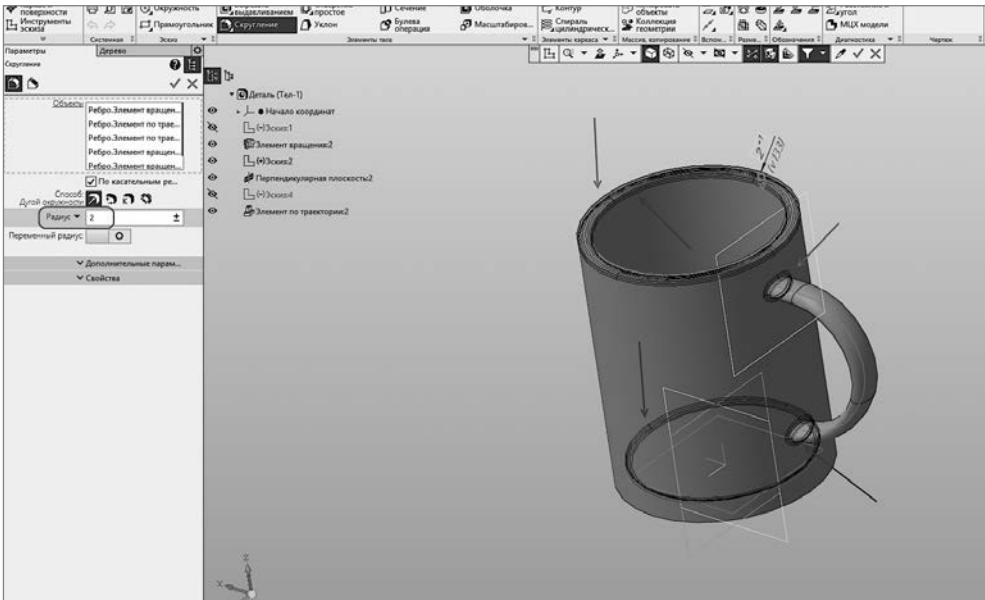
Укажите в качестве сечения эллипс (Эскиз:3), затем в качестве траектории кривую (Эскиз:2).



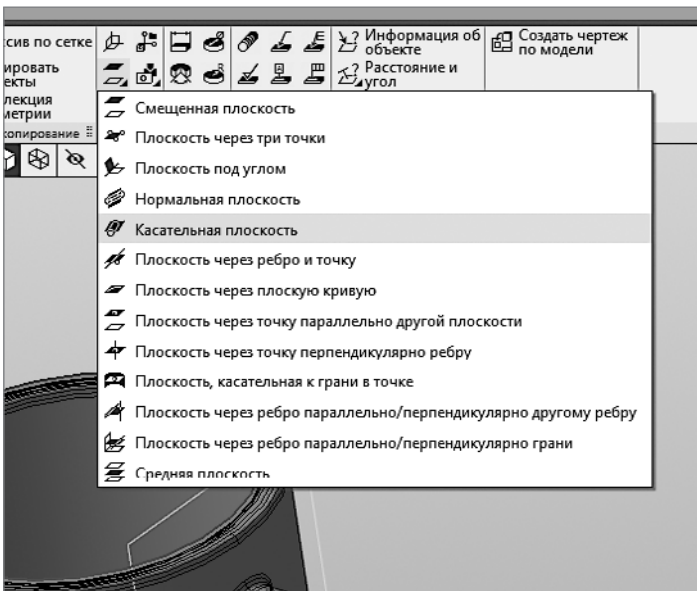
Запустите команду **Скругление**.



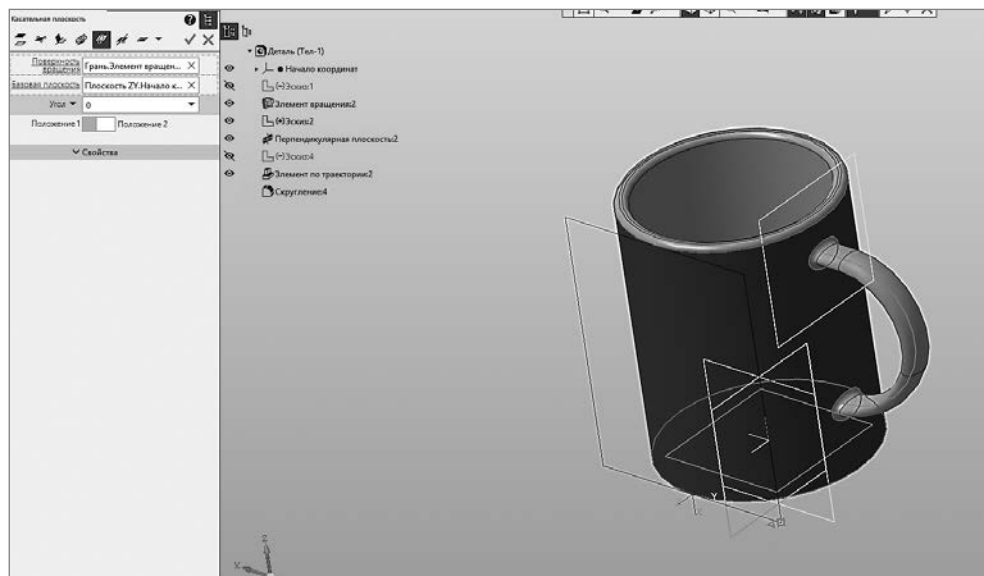
Укажите ребра, как на рисунке (включая внутреннее), установите размер 2.



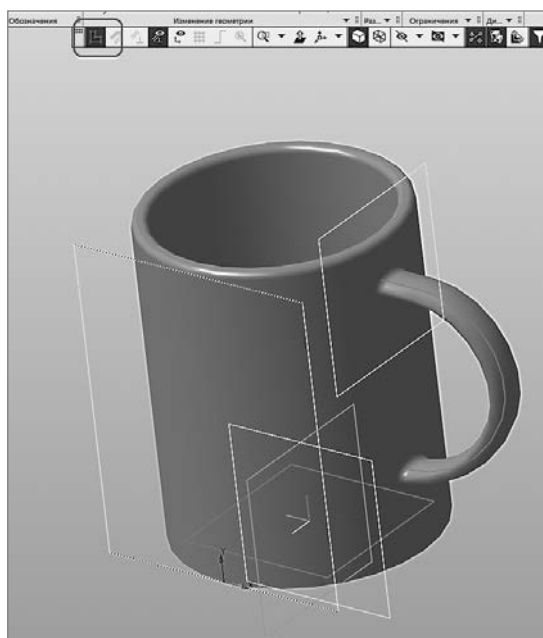
Воспроизведем на кружке рисунок. В первую очередь для создания эскиза необходимо задать плоскость. Запустите команду **Касательная плоскость**.



Укажите наружную грань цилиндрической части кружки и плоскость ZX. Для создания плоскости нажмите колесо мыши (среднюю кнопку).



Создайте эскиз в получившейся плоскости.



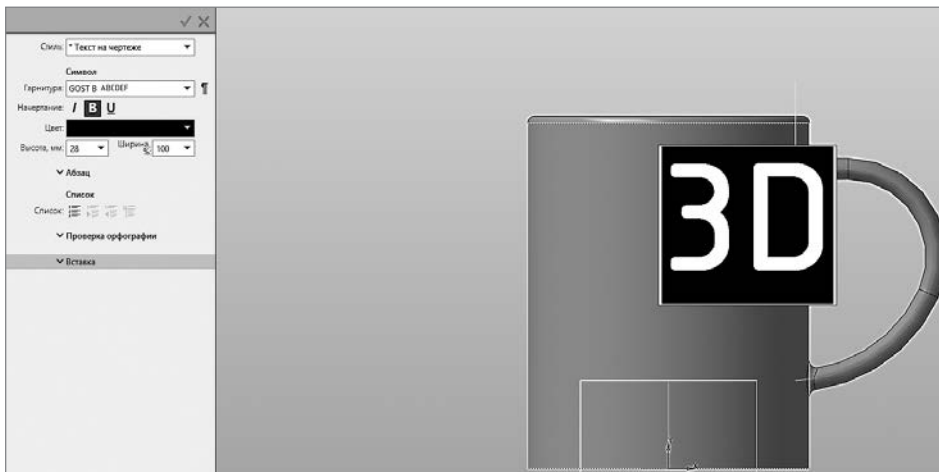
Запустите команду **Надпись**.



Укажите точку примерно в центре кружки и введите текст «3D»



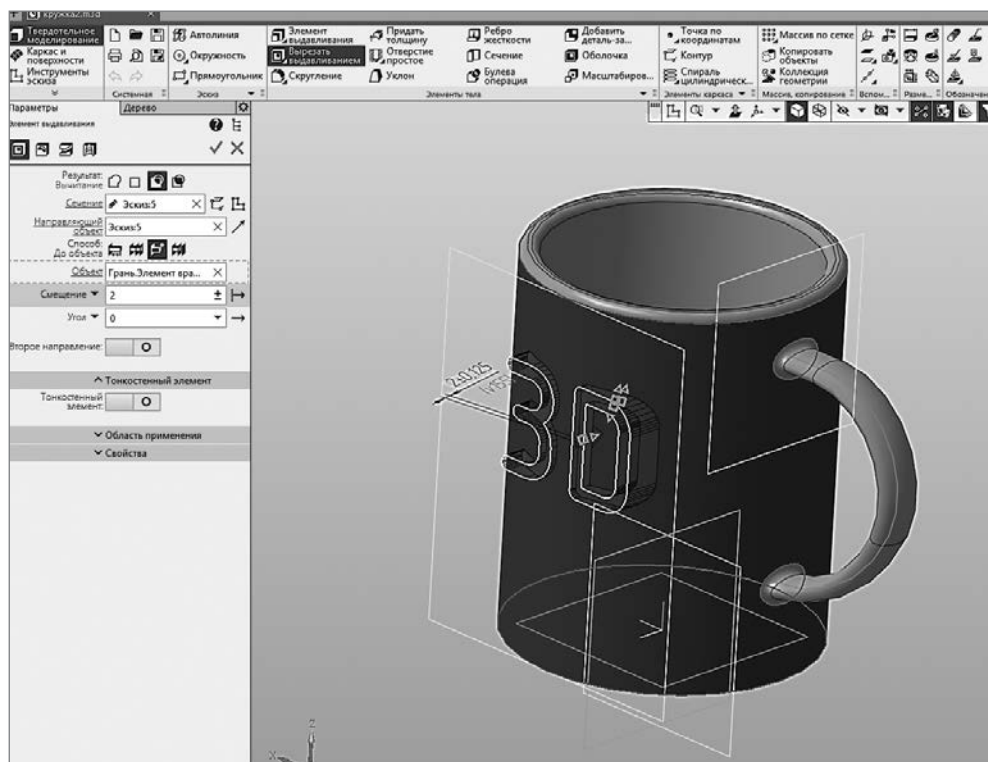
Выделите текст и измените его параметры — установите размер 28, уберите курсив и сделайте текст полужирным.



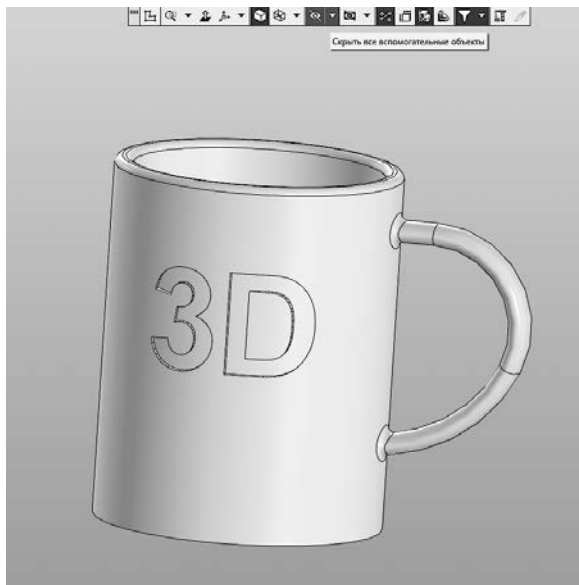
Нажмите колесо мыши, чтобы создать надпись, затем переместите ее по центру.



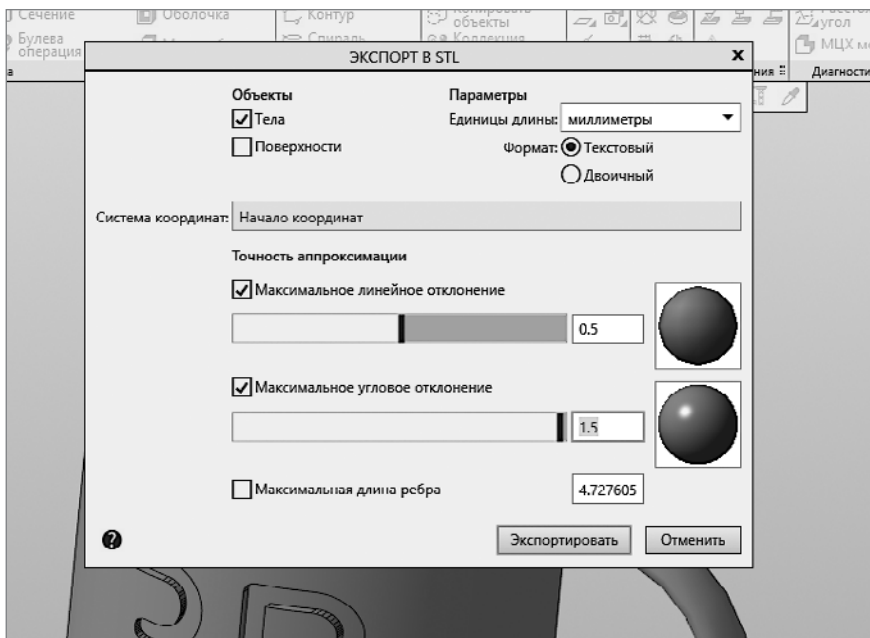
Запустите команду **Вырезать выдавливанием**. Задайте параметры: **До объекта** (укажите наружную грань кружки). Затем задайте **Смещение 2**, чтобы вырезать эскиз на 2 мм за грань.



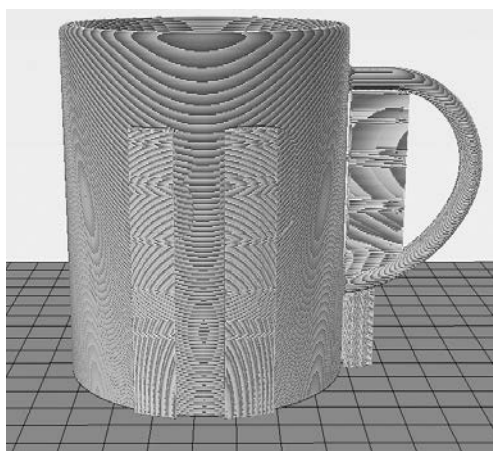
Нажмите колесо мыши, чтобы создать элемент. Выберите Скрыть все вспомогательные объекты. В результате получается подобная кружка.



Сохраните в Stl. Установите параметры. Поскольку деталь образована в основном округлыми элементами, задайте угловое отклонение более точно, а линейное отклонение — менее. Максимальное линейное отклонение составляет $0,5$ мм, Максимальное угловое отклонение — $1,5$ градуса.



Эти настройки позволят получить объект с приемлемой гладкостью и относительно небольшим размером файла.



Для печати модели потребуется включить поддержки, без них напечатать ручку и надпись не получится.

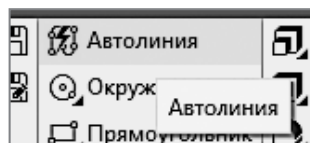
Для печати кружки лучше всего использовать пластик Segama или любой другой, имеющий сертификат пригодности для контакта с горячими пищевыми продуктами. Однако стоит помнить, что любой пластик лучше не использовать для приема пищи, а пользоваться данным изделием предпочтительно в чисто сувенирных целях. После печати можно зашлифовать кружку наждачной бумагой, а затем поместить в баню из растворителя для данного пластика в целях удаления шероховатостей с поверхности и получения эффекта глянца.

УРОК 2. КОЛЕСО ДЛЯ МОДЕЛИ

В этом уроке мы разберемся, как построить колесо для модели.



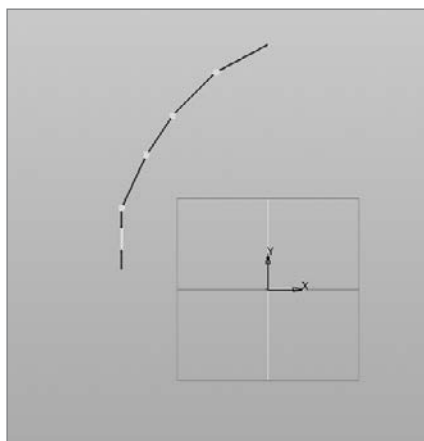
Создайте новую деталь. Запустите команду Автолиния.



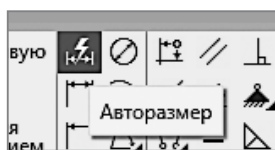
Укажите плоскость XY.



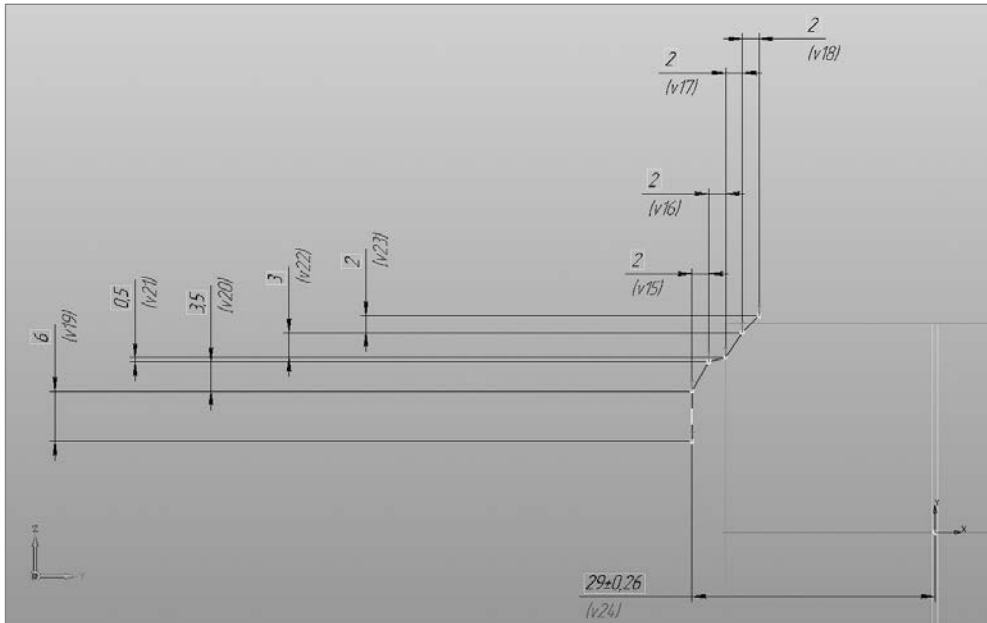
Постройте вертикальный отрезок произвольной длины, затем еще четыре произвольных отрезка.



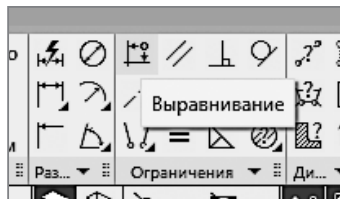
Запустите команду Авторазмер.



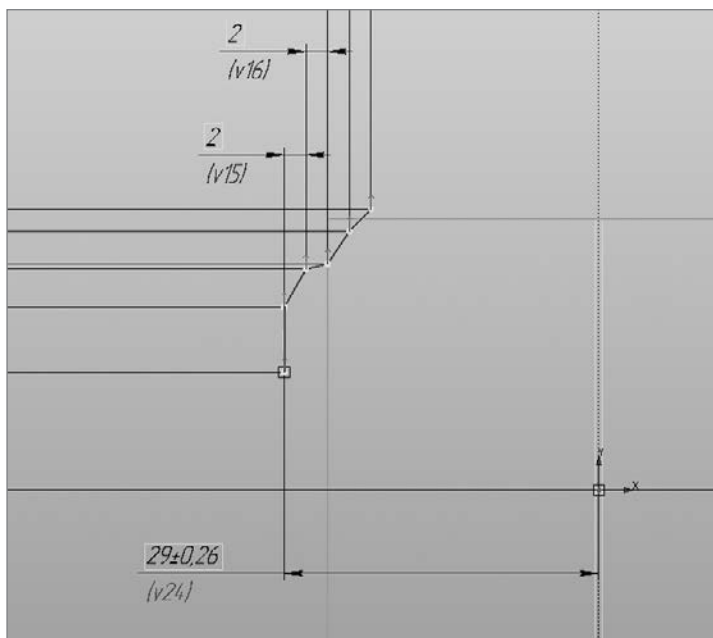
Нанесите размеры так, как показано на рисунке.



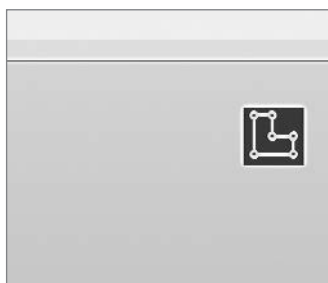
Запустите команду **Выравнивание**.



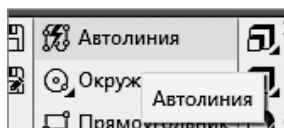
Укажите начало вертикального отрезка и начало координат, выровняйте их по горизонтали.



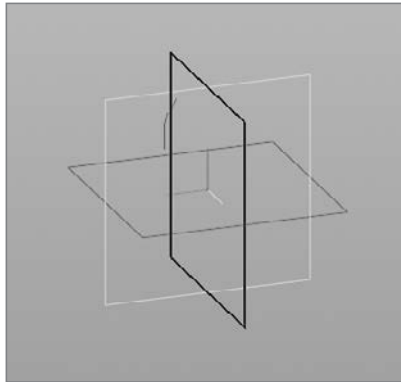
Выйдите из режима эскиза.



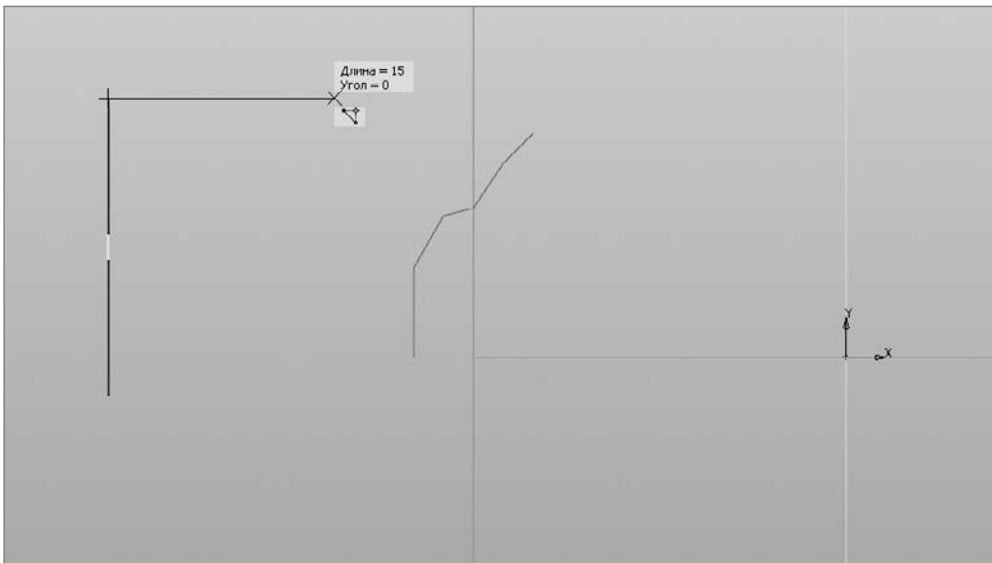
Снова запустите команду Автолиния.



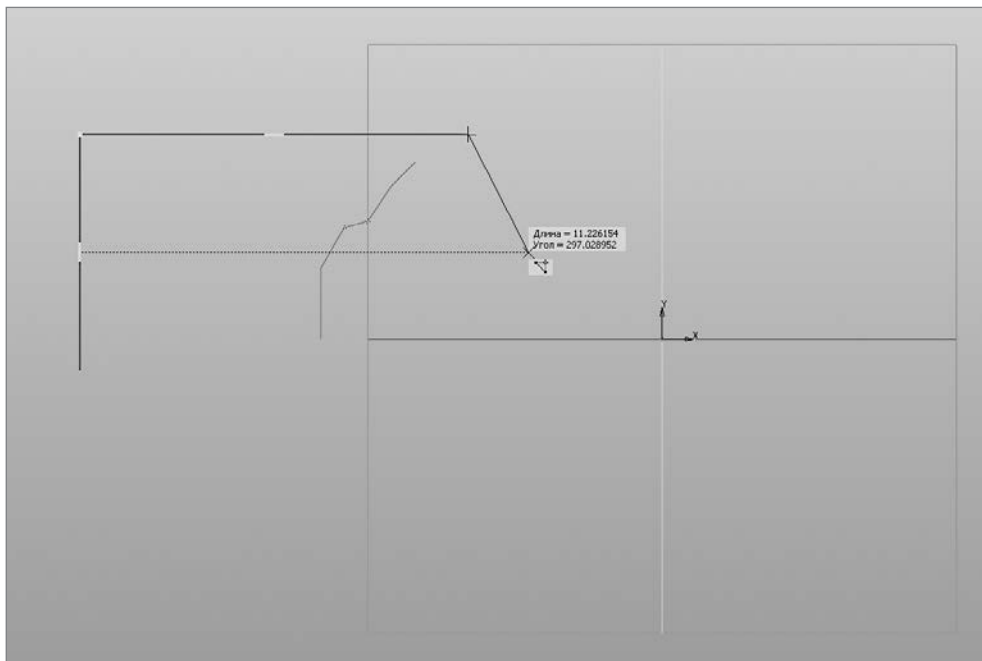
Укажите плоскость XY.



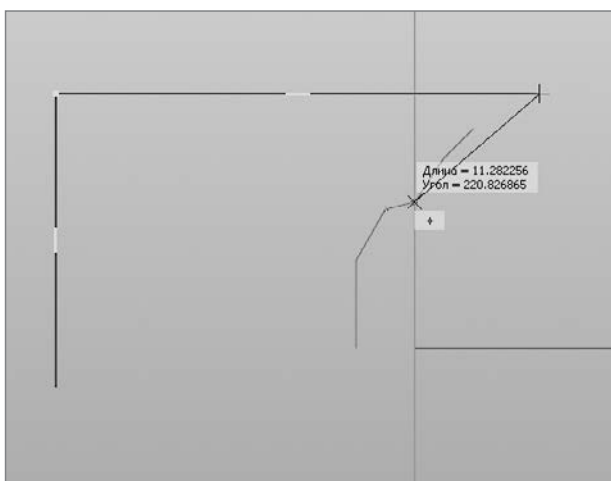
Проведите произвольный вертикальный отрезок, начиная с нижней точки.



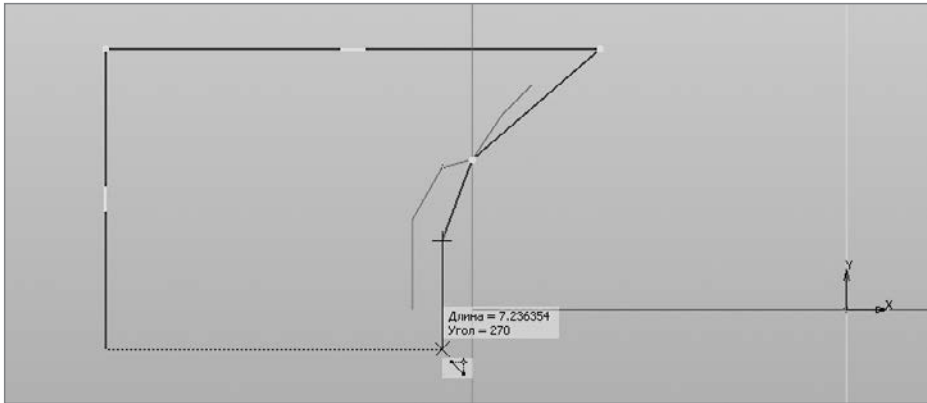
Проведите произвольный горизонтальный отрезок так, чтобы он перекрестнул предыдущий эскиз.



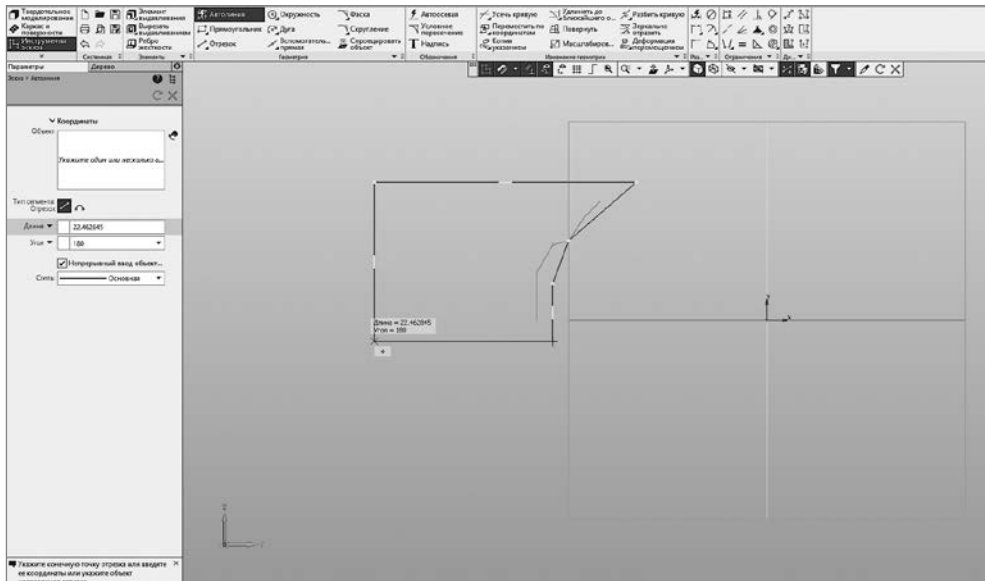
Проведите следующий отрезок так, чтобы его конец совпал с пересечением отрезков, как показано на рисунке.



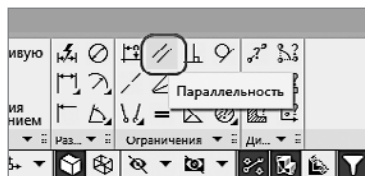
Проведите следующий отрезок произвольно, а вертикальный отрезок протяните так, чтобы его конец лежал на одной горизонтальной линии с началом первого отрезка в этом эскизе.



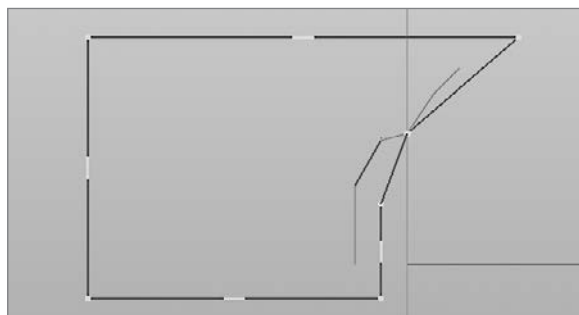
Замкните получившуюся фигуру.



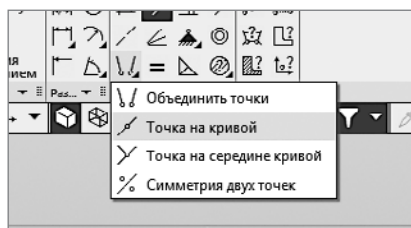
Запустите команду Параллельность.



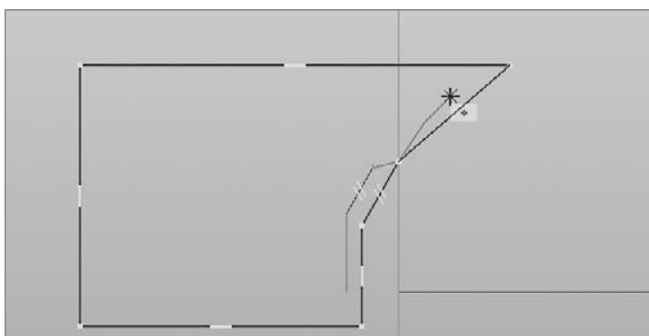
Укажите отрезки так, как показано на рисунке.



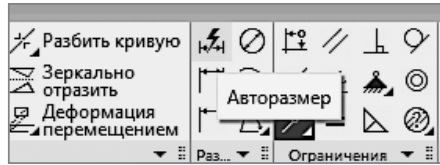
Запустите команду Точка на кривой.



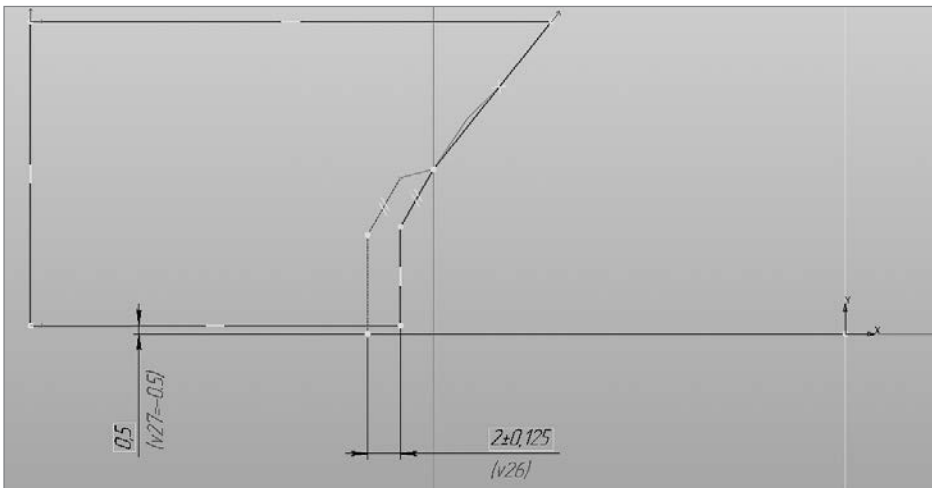
Укажите отрезок и точку так, как показано на рисунке.



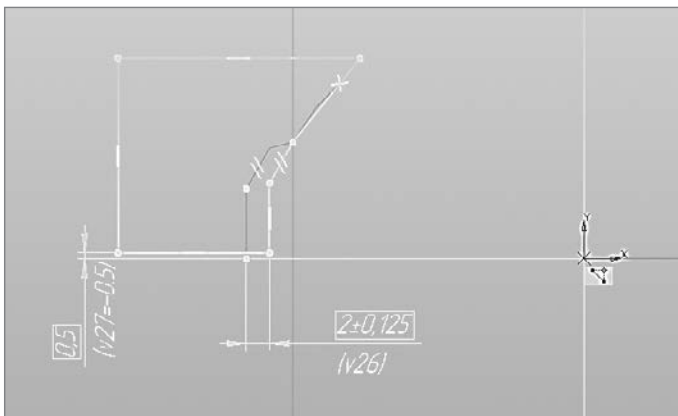
Запустите команду Авторазмер.



Расставьте размеры так, как показано на рисунке. Если нижний отрезок фигуры будет ниже начала координат, введите значение размера «-0,5 мм». Это сменит направление размера.



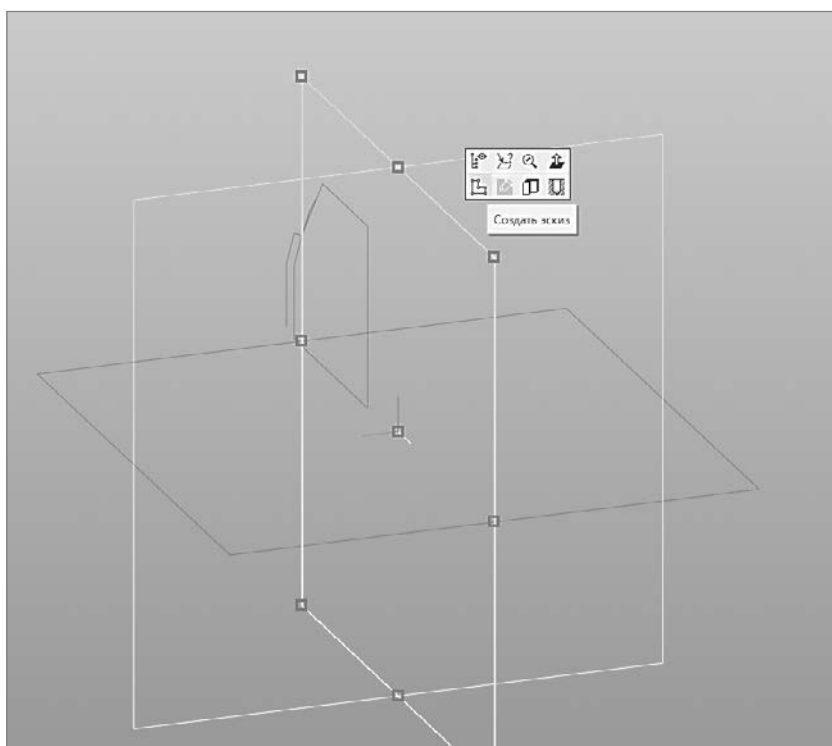
Скопируйте эскиз относительно начала координат. Для этого выделите все сочетанием Ctrl+A, нажмите Копировать (Ctrl+C) и укажите начало координат как точку копирования.



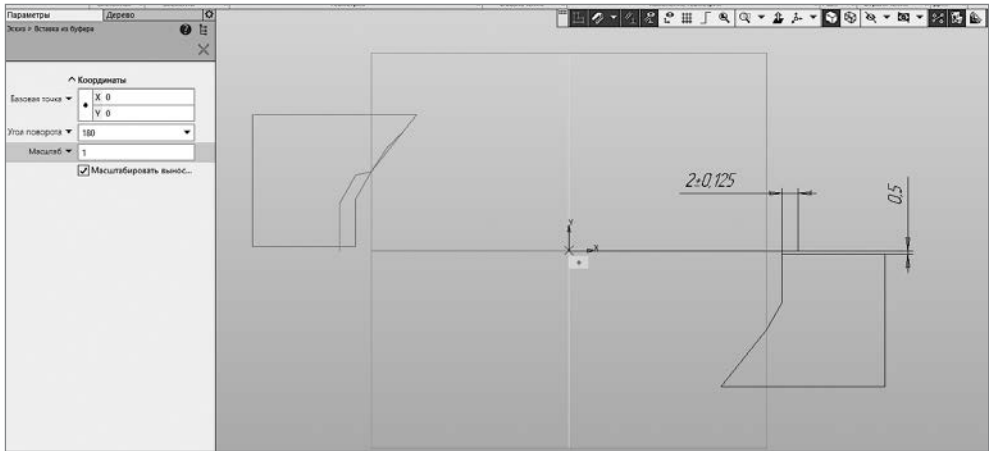
Выйдите из режима эскиза.



Создайте эскиз в плоскости XY.



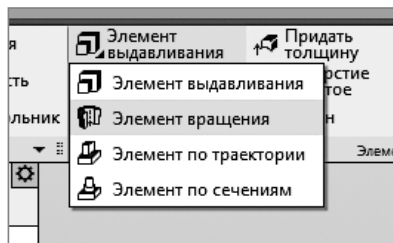
Вставьте геометрию из буфера (Ctrl+V), введите угол **180**, укажите начало координат в качестве точки вставки.



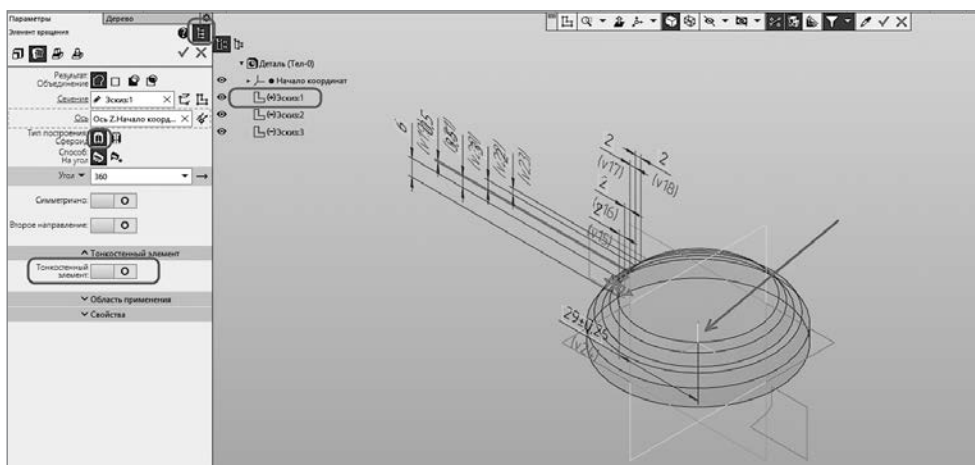
Выйдите из режима эскиза.



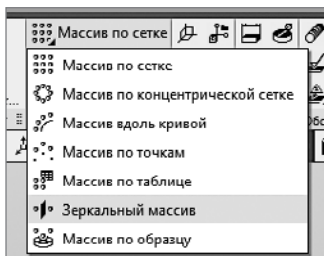
Запустите операцию Элемент вращения.



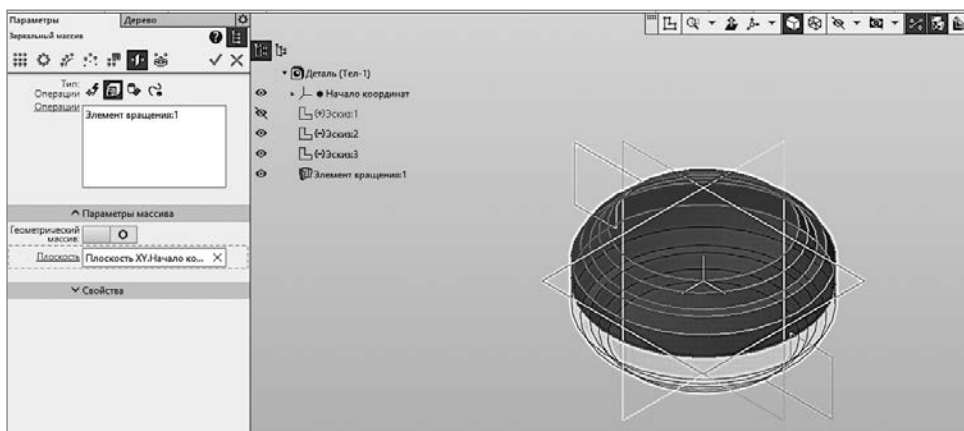
Раскройте прозрачное дерево. Укажите Эскиз:1. Укажите Ось Z. Отключите тонкую стенку и установите способ построения Сфероид.



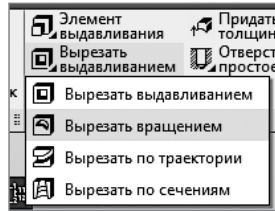
Запустите команду Зеркальный массив.



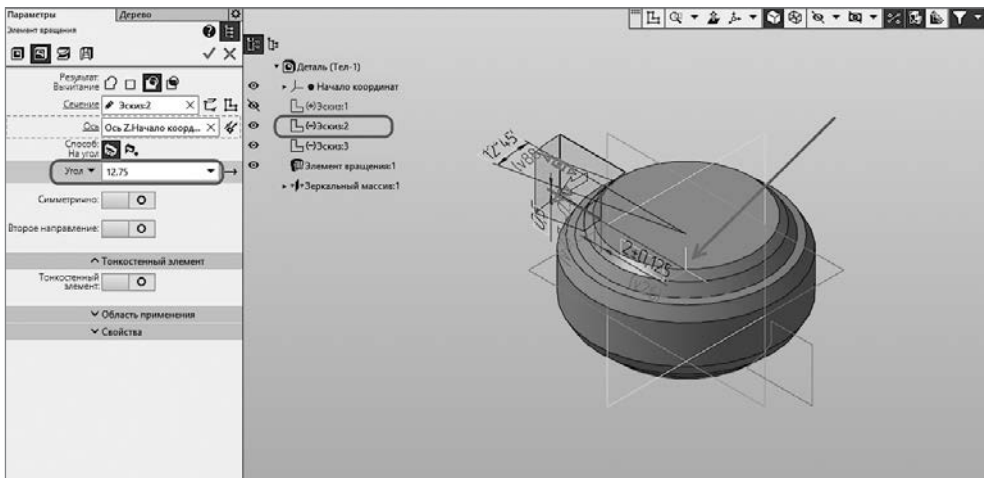
Укажите операцию вращения и плоскость XY.



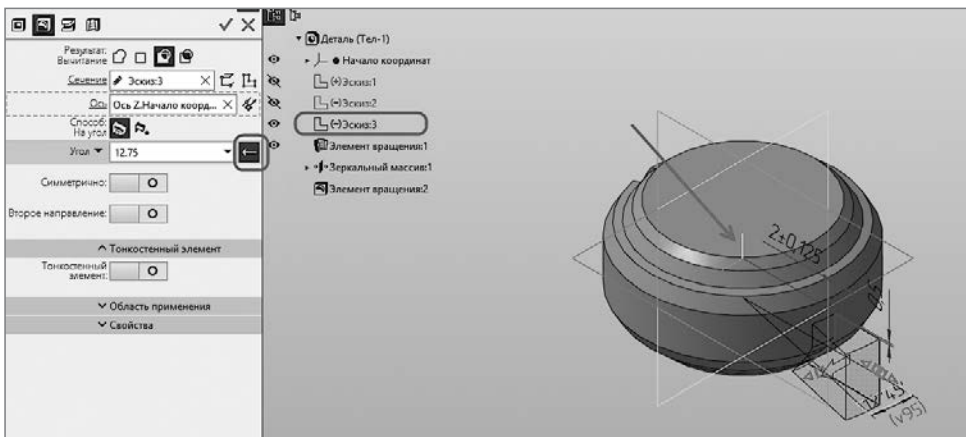
Запустите команду Вырезать вращением.



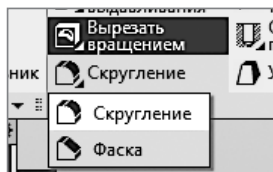
Укажите второй эскиз и Ось Z. Установите величину угла – 12,75 градуса.



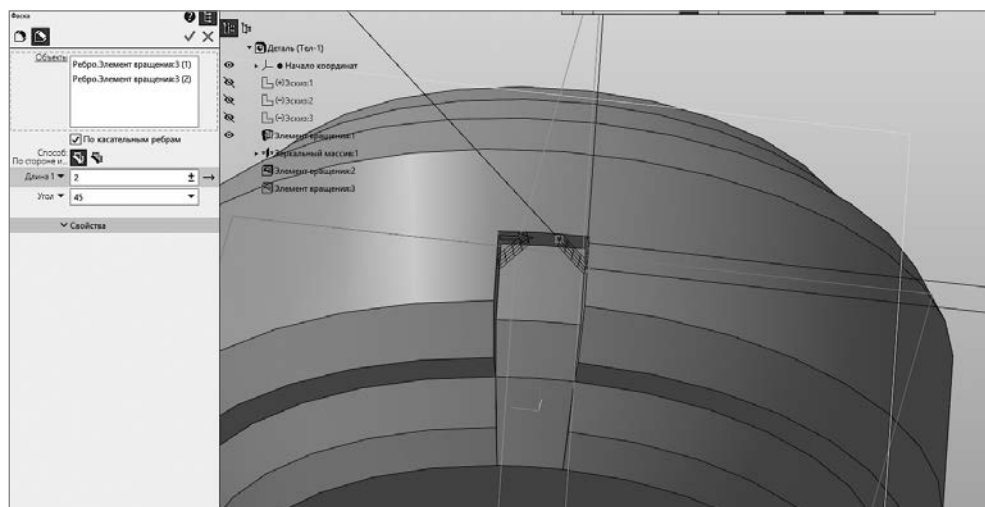
Нажмите колесо мыши, чтобы создать операцию. Укажите третий эскиз и Ось Z. Измените направление операции. Величина угла остается без изменений.



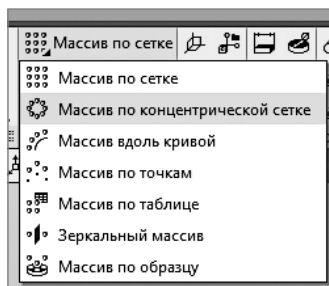
Запустите команду Фаска.



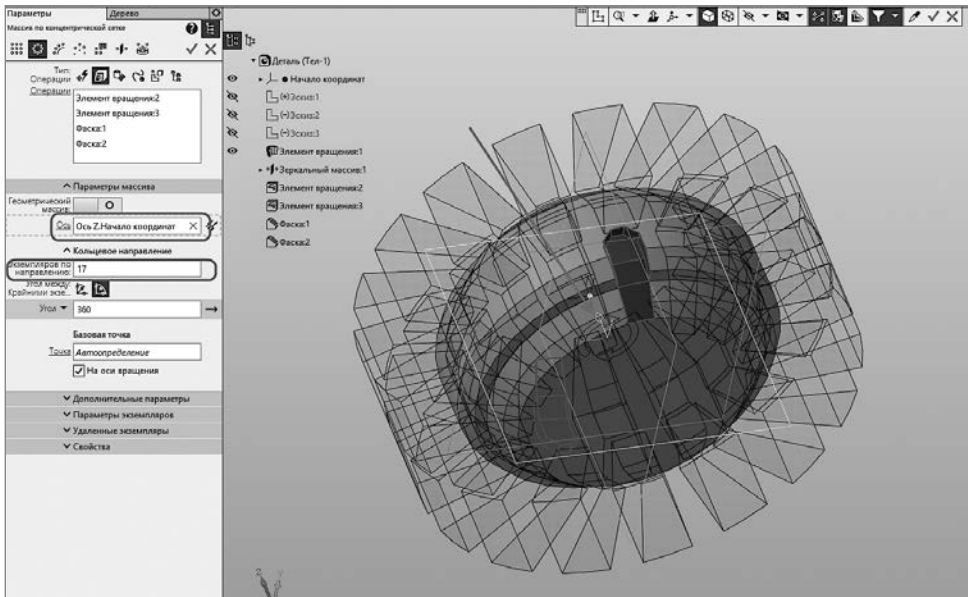
Постройте в углах канавки две фаски по 2 мм. Щелкните средней кнопкой мыши и проделайте аналогичные действия для второй канавки.



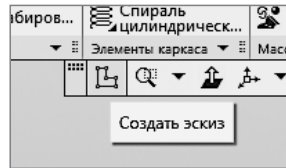
Запустите команду Массив по концентрической сетке.



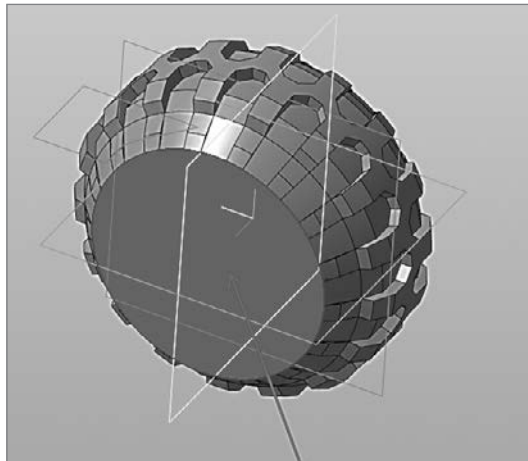
Укажите вырезанные элементы вращения и фаски. Укажите Ось Z. Установите количество элементов массива, равное 17.



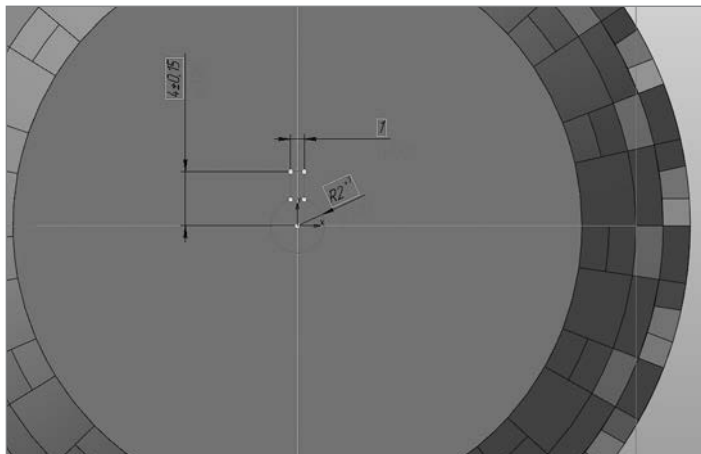
Создайте эскиз.



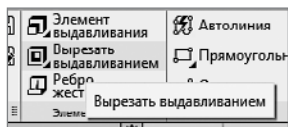
Укажите грань (как на рисунке).



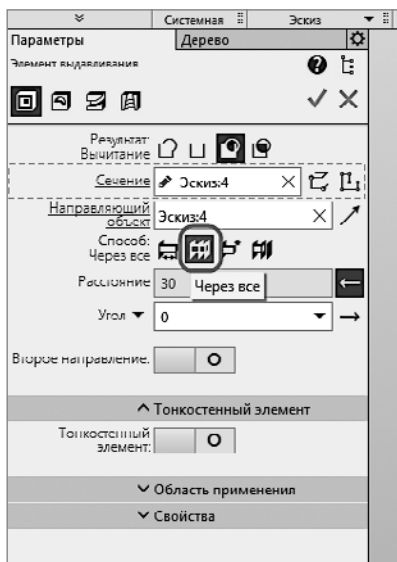
Постройте эскиз (как на рисунке).



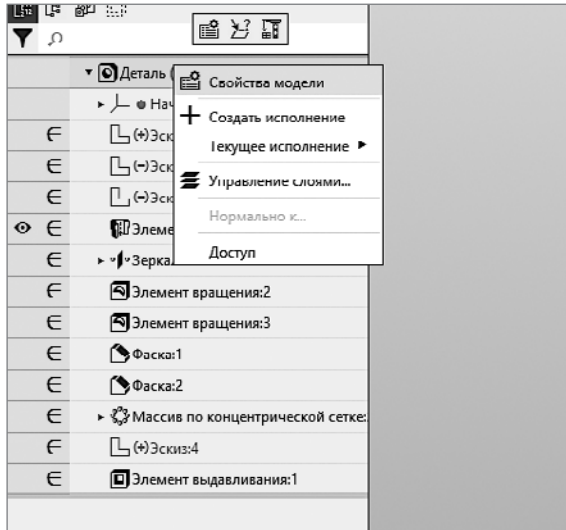
Запустите команду Вырезать выдавливанием.



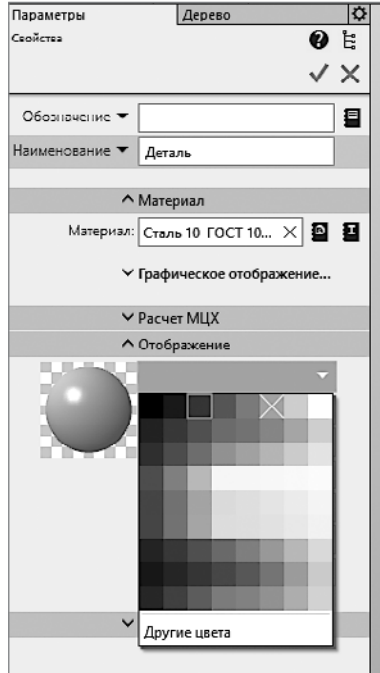
Выберите режим Через все. Нажмите колесо мыши. Выйдите из команды.



Щелкните правой кнопкой мыши на корневом элементе дерева.

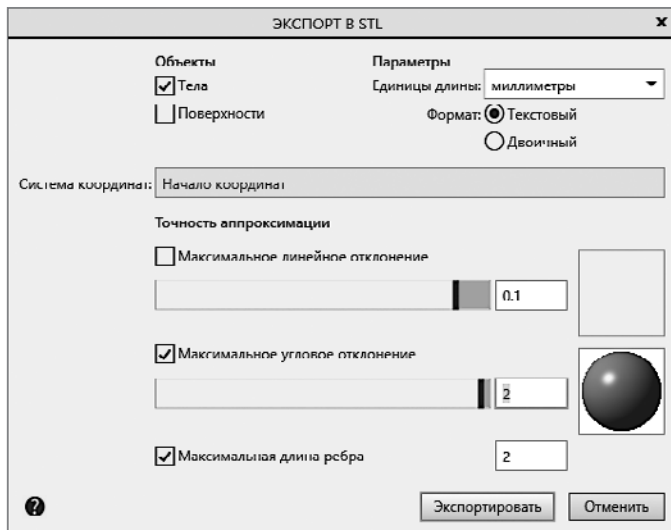


Измените цвет на более подходящий. Нажмите колесо мыши.



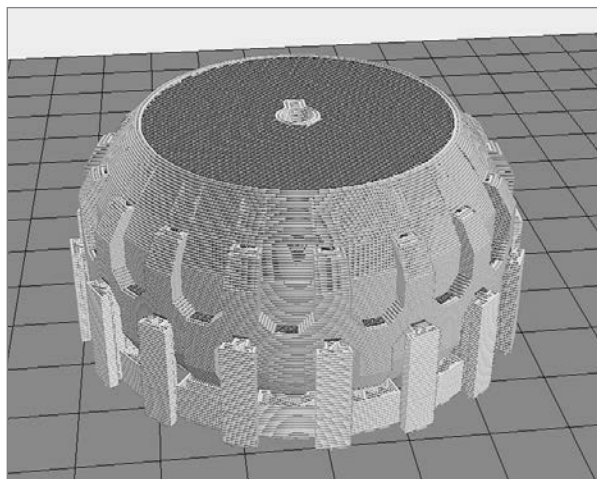
Напечатать колесо можно двумя способами: целиком с поддержками или же каждую половину по отдельности, а затем склеить их.

В обоих случаях сохраните в Stl с использованием следующих настроек.



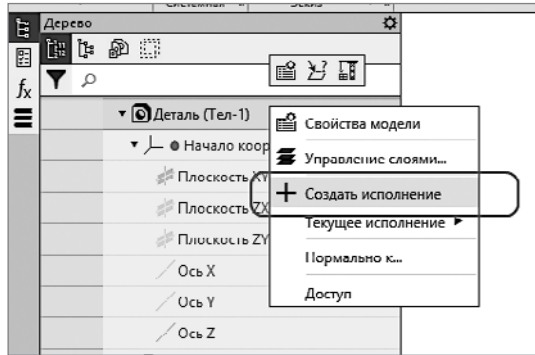
Первый способ

Печать с поддержками. Можно печатать на любой стороне.

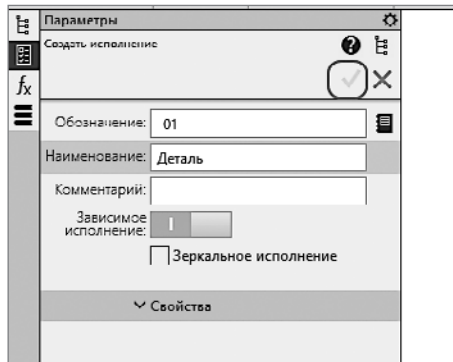


Второй способ

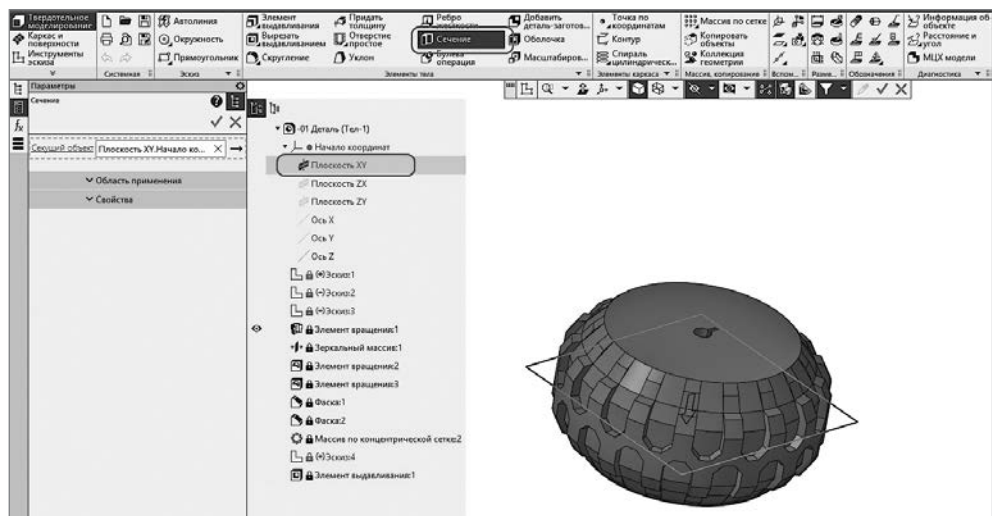
Создайте исполнение. Нажмите правой кнопкой мыши на корневом элементе дерева и выберите Создать исполнение.



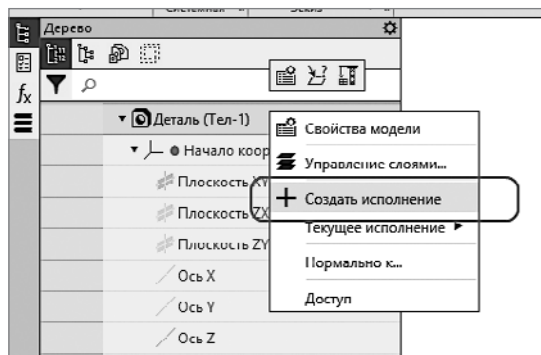
Здесь можно ничего не менять. Нажмите кнопку Создать.



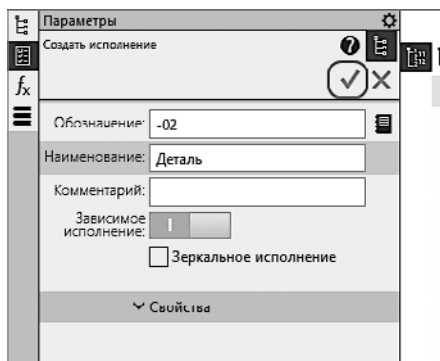
Запустите команду Сечение. Укажите Плоскость XY. Создайте операцию. Сохраните в Stl с указанными выше настройками.



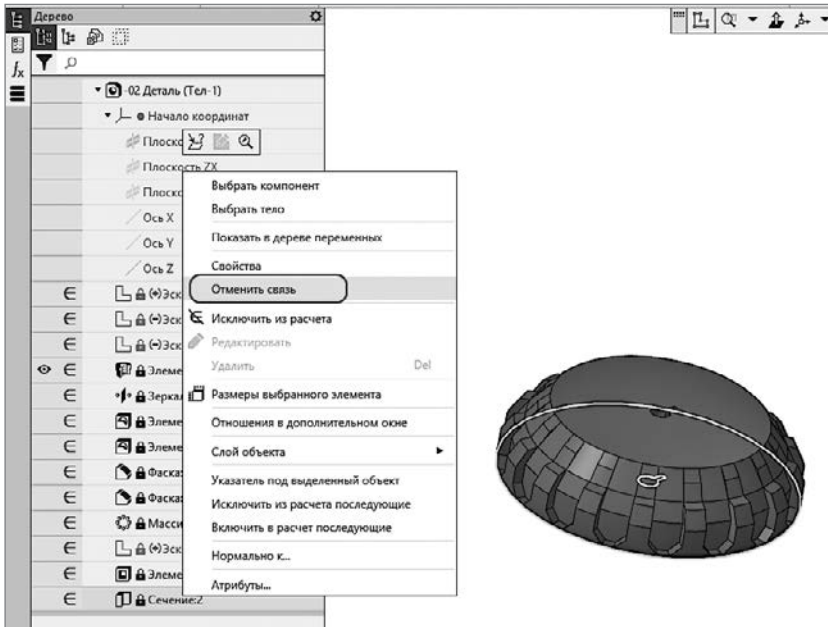
Создайте еще одно исполнение.



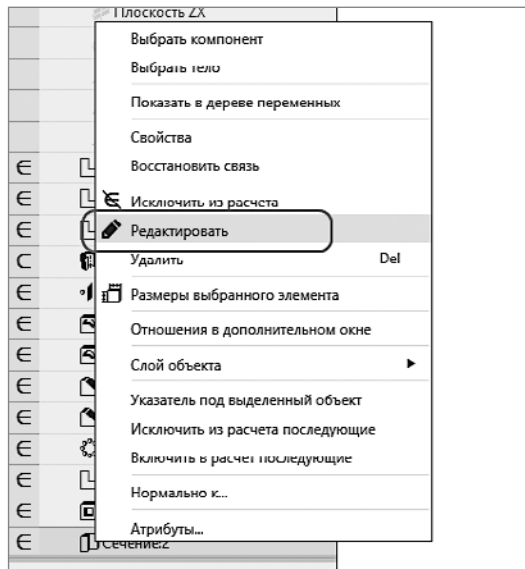
Здесь можно ничего не менять. Нажмите кнопку Создать.



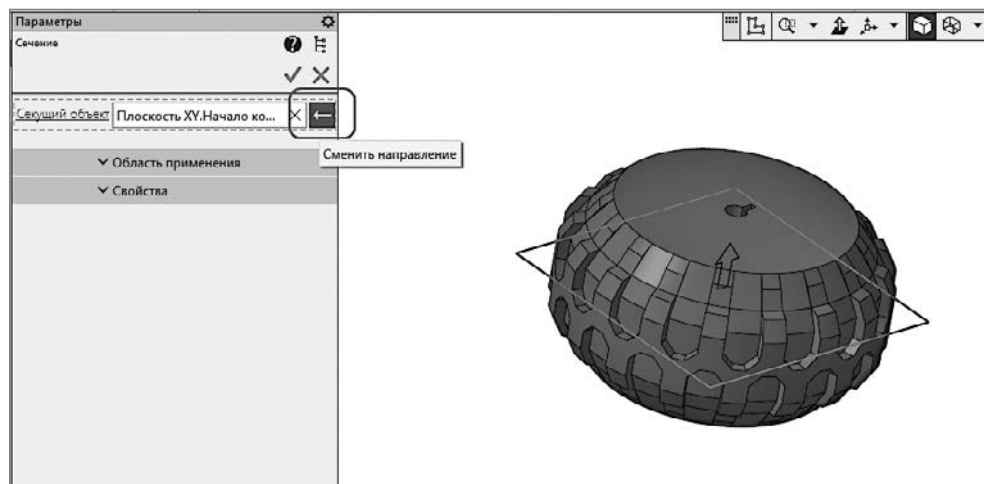
Нажмите правой кнопкой мыши на операции Сечение в дереве и выберите Отменить СВЯЗЬ.



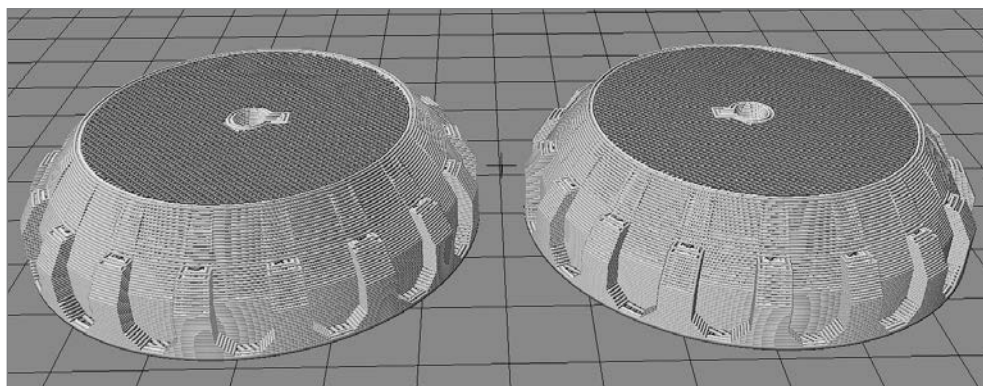
Нажмите правой кнопкой мыши на операции Сечение в дереве и выберите Редактировать.



Измените направление сечения. Создайте операцию. Сохраните в Stl под другим именем с указанными выше настройками.



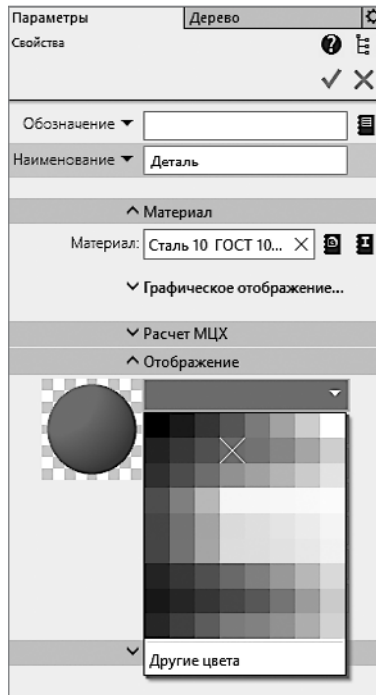
Добавьте оба Stl-файла в слайсер и разместите их на столе плоской стороной, образованной сечением. Печатать можно без поддержек.



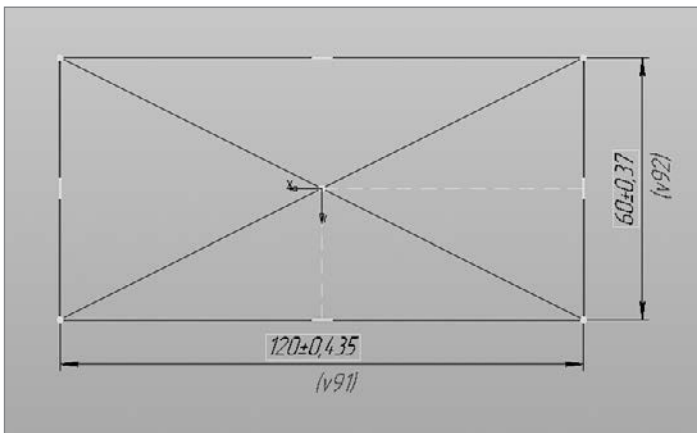
УРОК 3. МЫЛЬНИЦА СО СЛИВОМ ВОДЫ

В этом уроке мы разберемся, как построить мыльницу со сливом воды.

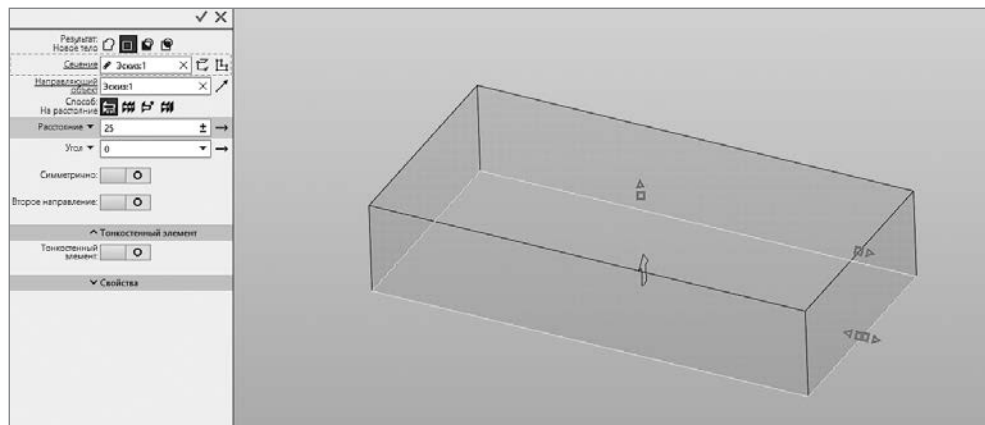
Создайте новую деталь и установите в свойствах нужный цвет.



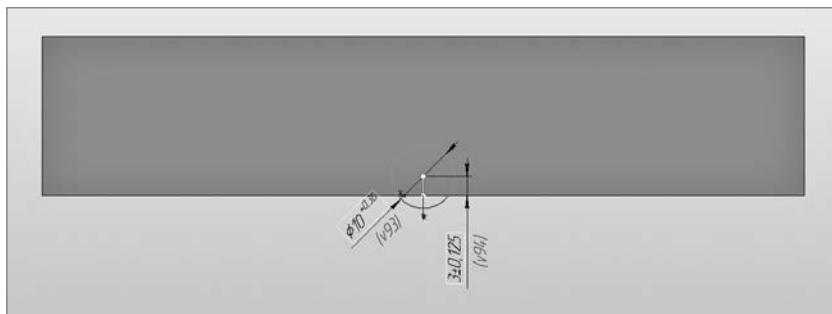
Запустите команду Прямоугольник и постройте такой эскиз в плоскости ZY.



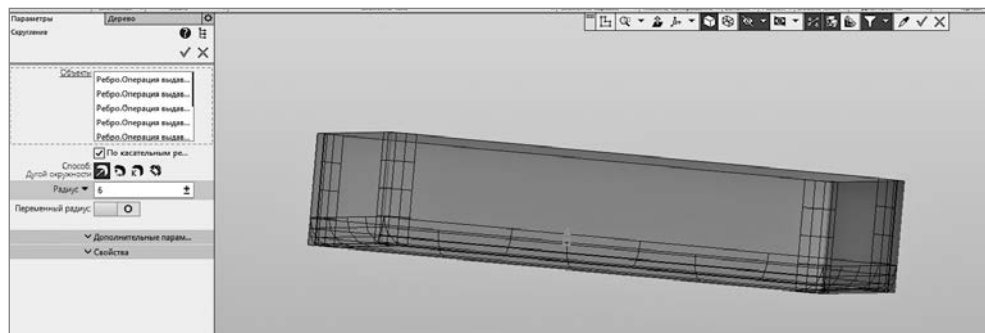
Запустите команду Элемент выдавливания и выдавите получившийся эскиз на 25 мм.



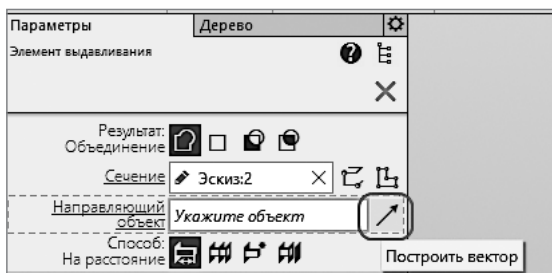
Постройте на передней стенке такой эскиз.



Постройте скругление радиусом 6 мм по всем ребрам, кроме верхней грани.



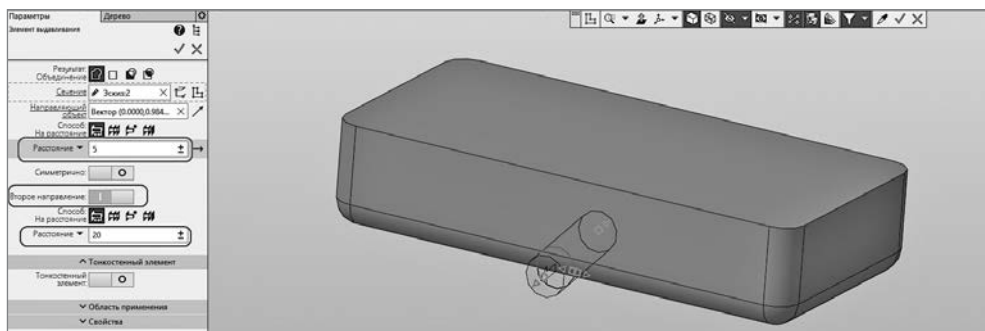
Запустите команду **Элемент выдавливания**, укажите полученный эскиз и запустите построение вектора.



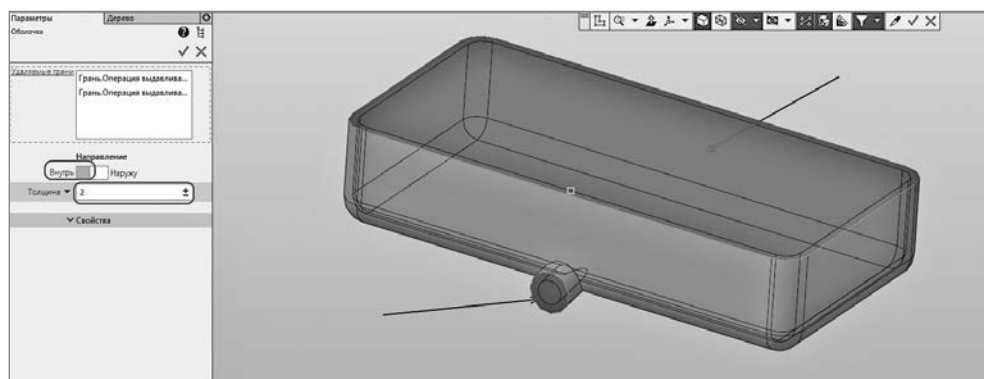
Выберите способ построения вектора **Угол в плоскости системы координат**, выберите **Ось Y** и введите угол **-10** градусов. Нажмите колесо мыши.



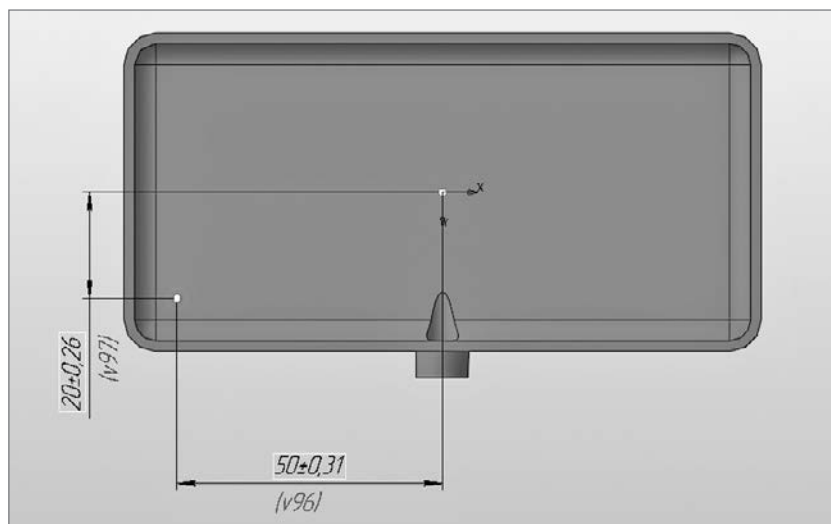
Включите **Второе направление**, первое расстояние назначьте **5 мм**, второе расстояние — **20 мм**.



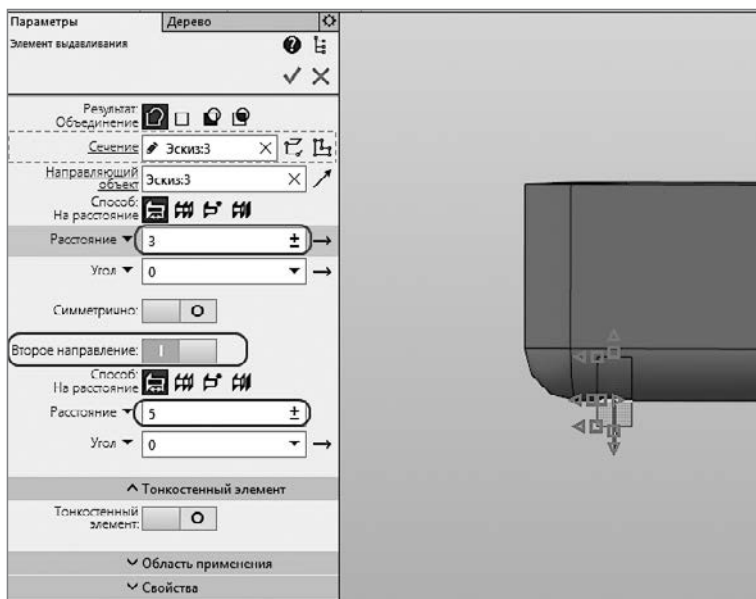
Запустите команду Оболочка. Укажите верхнюю грань мыльницы и плоскую грань носика. Установите направление внутрь и толщину 2 мм.



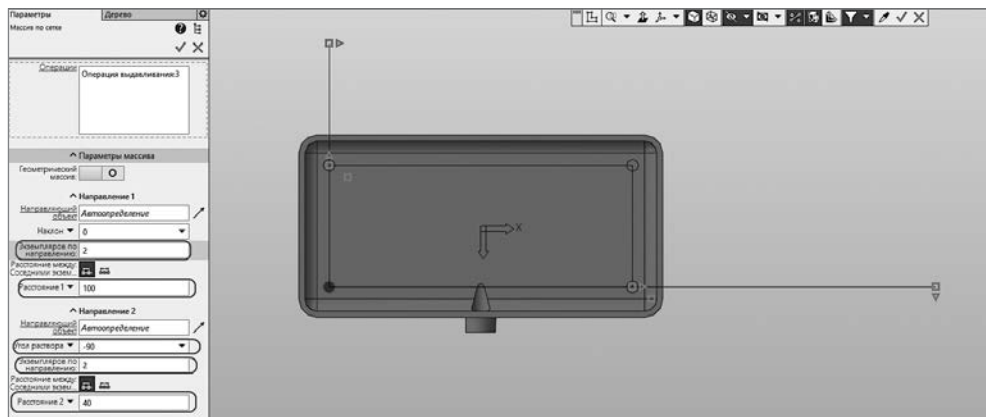
Постройте эскиз на нижней грани мыльницы.



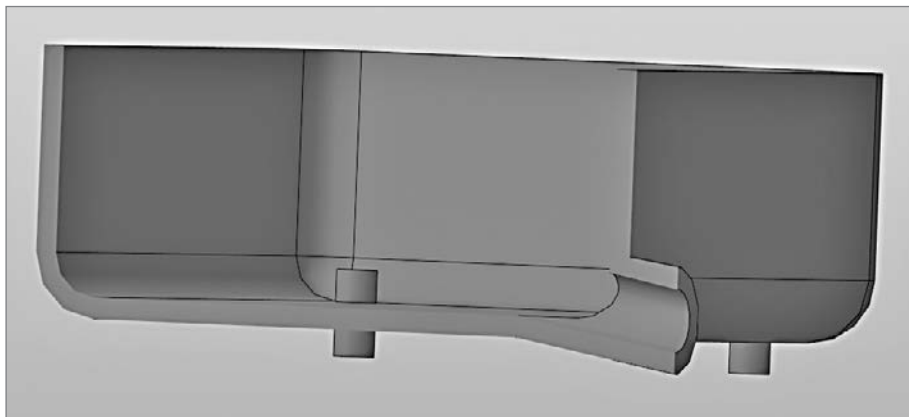
Запустите команду Элемент выдавливания: включите Второе направление, первое расстояние укажите 3 мм, второе — 5 мм.



Создайте Массив по сетке. Укажите созданный элемент выдавливания, Экземпляров по направлению 2, Расстояние 1 — 100. Подключите второе направление, Угол раствора установите -90, Экземпляров по направлению 2, Расстояние 2 — 40.

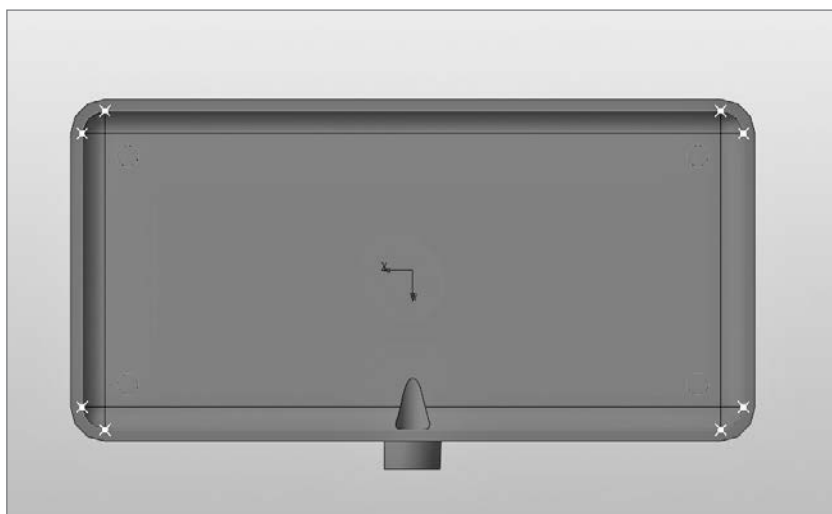


Ниже показан результат, который должен получиться. Для наглядности дано поперечное сечение модели. На ножках будет стоять мыльница, а с внутренней стороны на них будет лежать подставка.

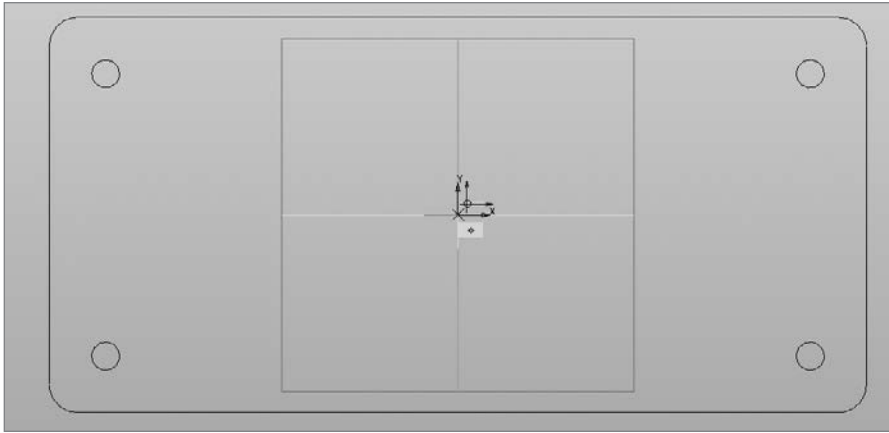


Построение подставки

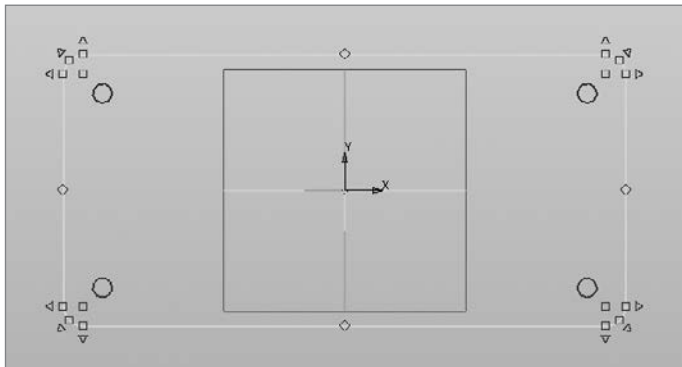
Создайте в плоскости XU новый эскиз. Запустите команду **Спроецировать объект** с панели **Геометрия**. Укажите внутренние ребра мыльницы и ножки.



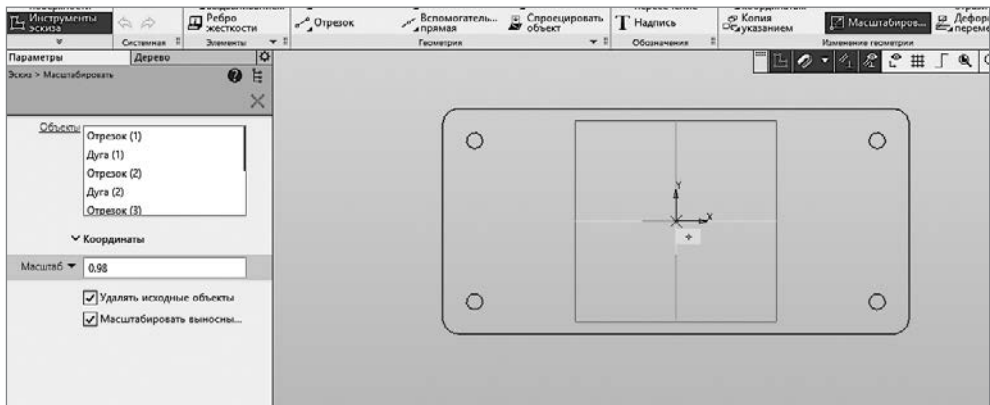
Скопируйте все содержимое эскиза относительно начала координат. Создайте новую деталь, постройте новый эскиз в плоскости XU и вставьте в начало координат содержимое буфера.



Выделите эскиз, кроме окружностей ножек.

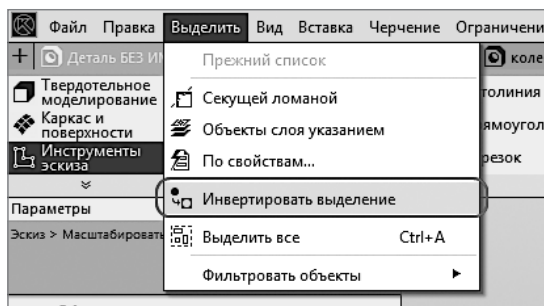


Запустите команду Масштабировать, установите масштаб 0,98 и укажите начало координат.

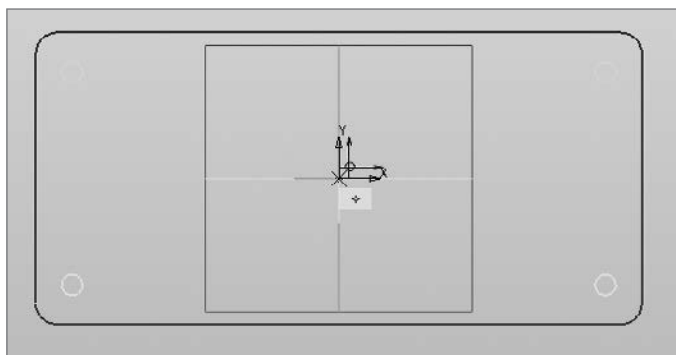


Масштабирование требуется, чтобы подставка свободно помещалась внутри мыльницы.

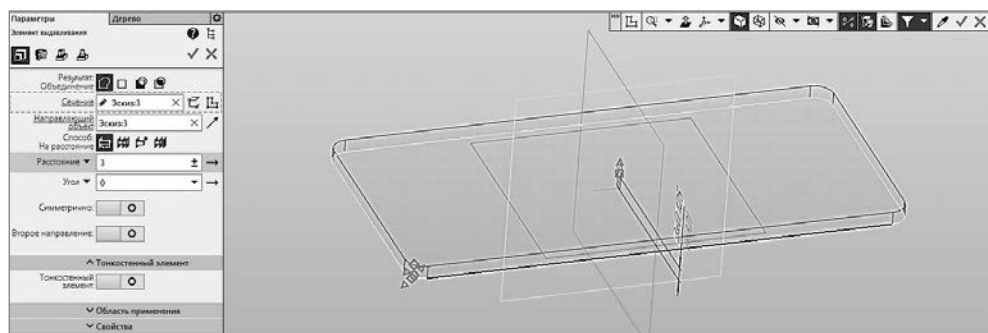
В меню Выделить выберите команду Инvertировать выделение.



Запустите команду Вырезать (Ctrl+X) и вырежьте выделенные окружности относительно начала координат.

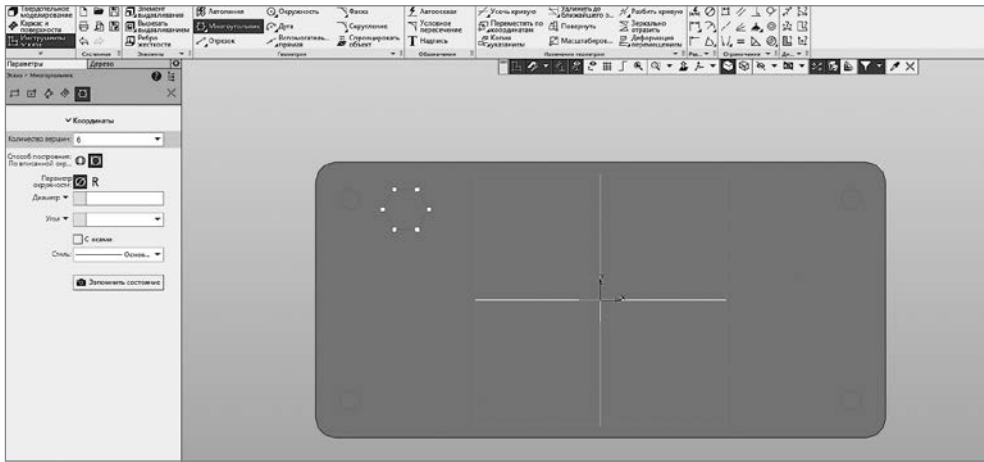


Запустите команду Элемент выдавливания. Выдавите эскиз на 3 мм.



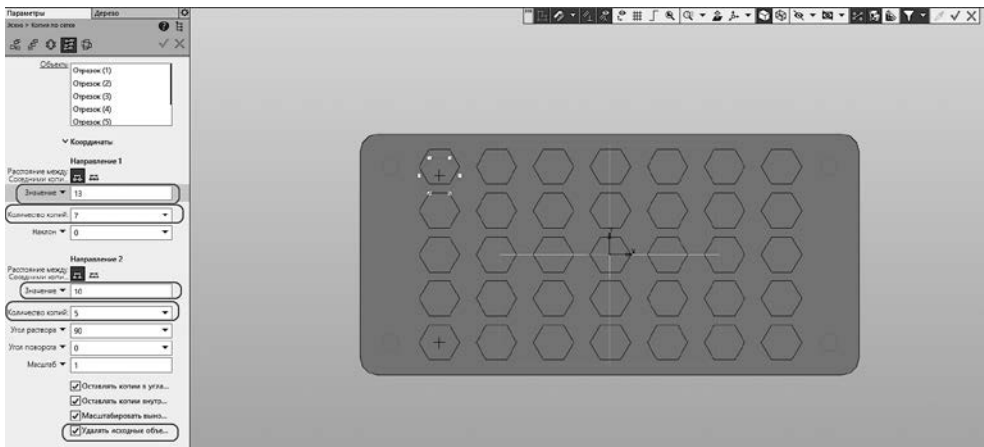
Создайте новый эскиз на верхней грани элемента выдавливания. Вставьте окружности из буфера обмена и расположите их относительно начала координат.

Запустите команду Многоугольник с панели Геометрия. Постройте многоугольник с параметрами, показанными на рисунке.



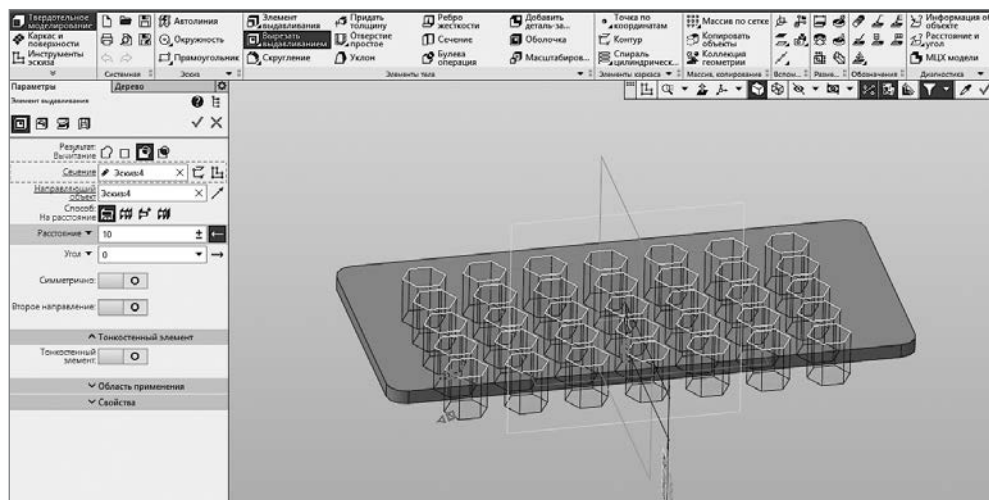
Окружности нужны для расположения вырезов так, чтобы в них не проваливались ножки.

Выделите многоугольник. Запустите команду Копия по сетке с указанными на рисунке параметрами. Не забудьте параметр Удалять исходные объекты. Укажите центр многоугольника. Затем расположите полученную сетку так, чтобы не затронуть края подставки и окружности (чтобы ножки не проваливались в отверстия). Для создания операции нажмите колесо мыши.

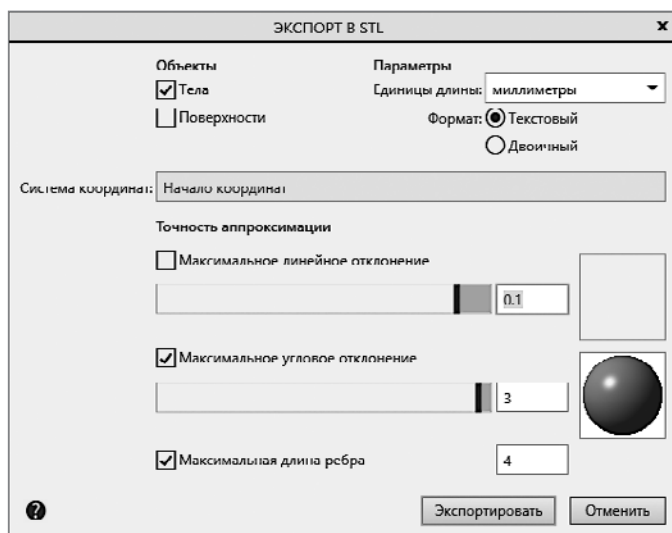


При необходимости самостоятельно скорректируйте параметры многоугольника и расположение элементов.

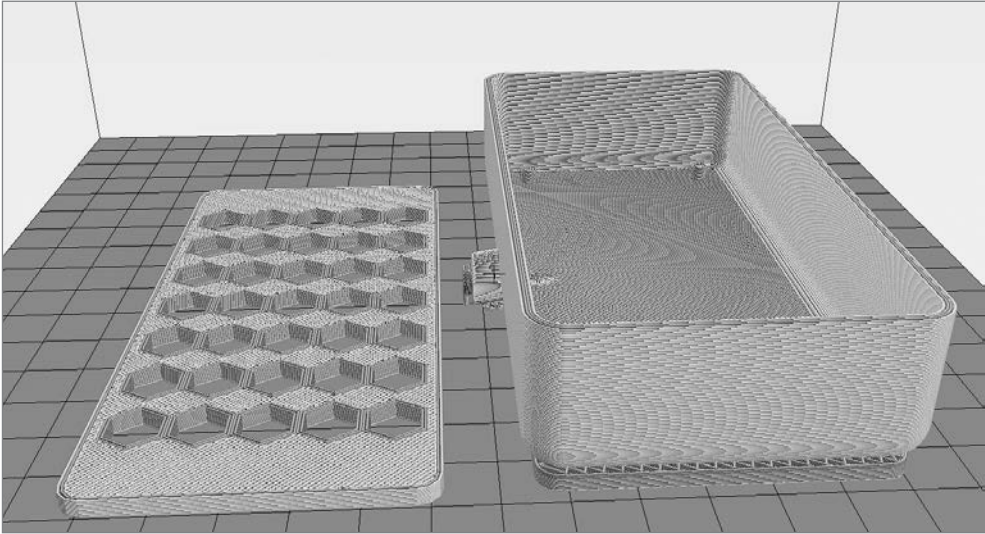
Удалите окружности и вырежьте элемент выдавливания.



Сохраните в **Stl** подставку со стандартными параметрами, а мыльницу — с использованием указанных на рисунке настроек.



Для печати мыльницы нужны поддержки, а для подставки они не требуются.

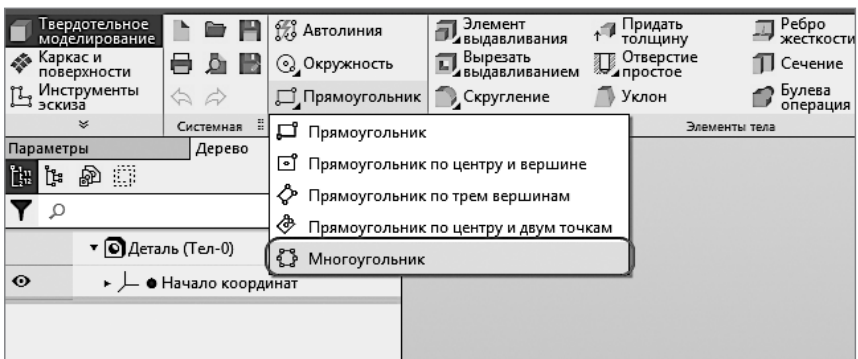


УРОК 4. ДЕРЖАТЕЛЬ ДЛЯ БУМАЖНЫХ ПОЛОТЕНЕЦ

В этом уроке мы разберемся, как построить держатель для бумажных полотенец. Для этого воспользуемся операциями Уклон, Отверстие и Вычесть компоненты.

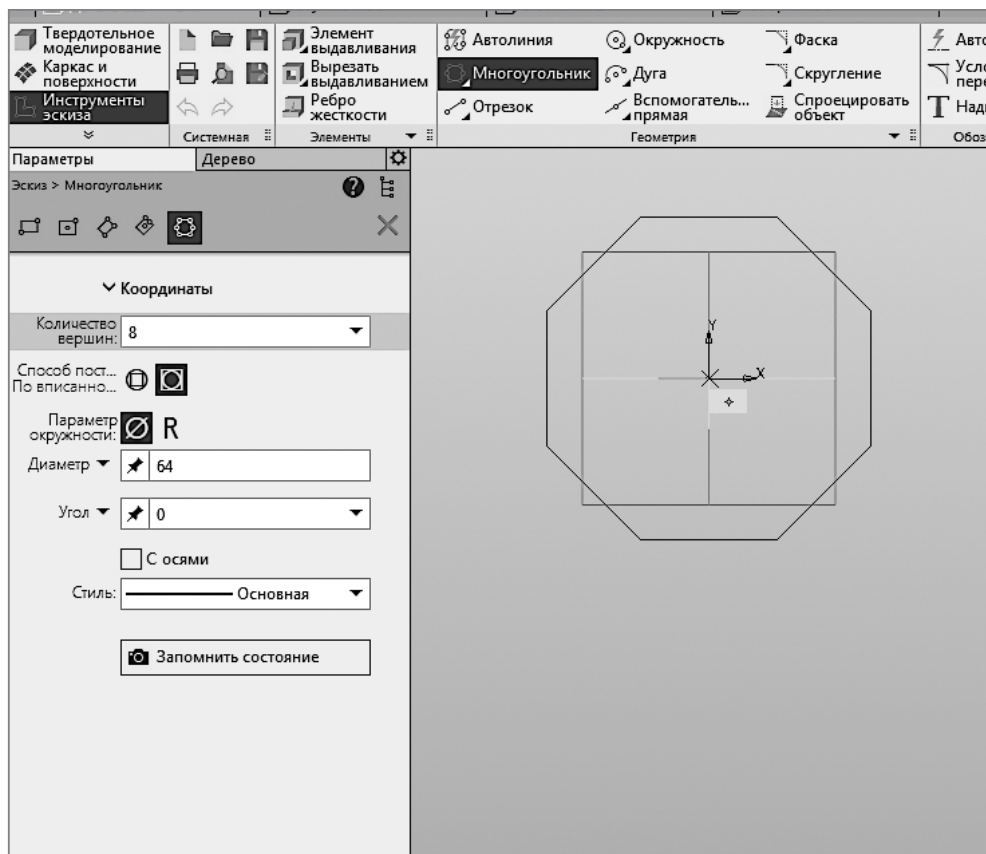
Создание втулки

Создайте новую деталь, запустите команду Многоугольник.

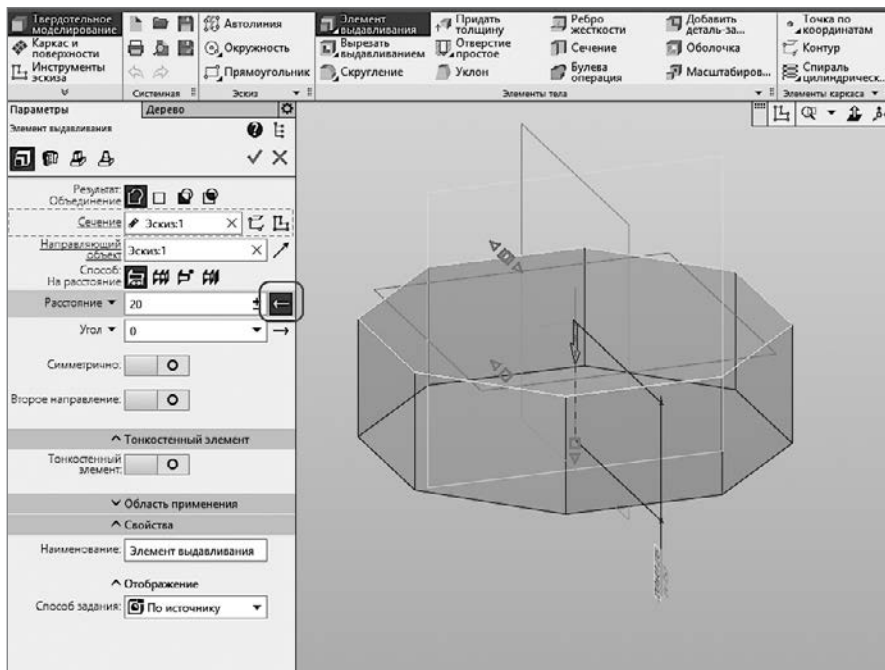


Разместите эскиз в плоскости XU .

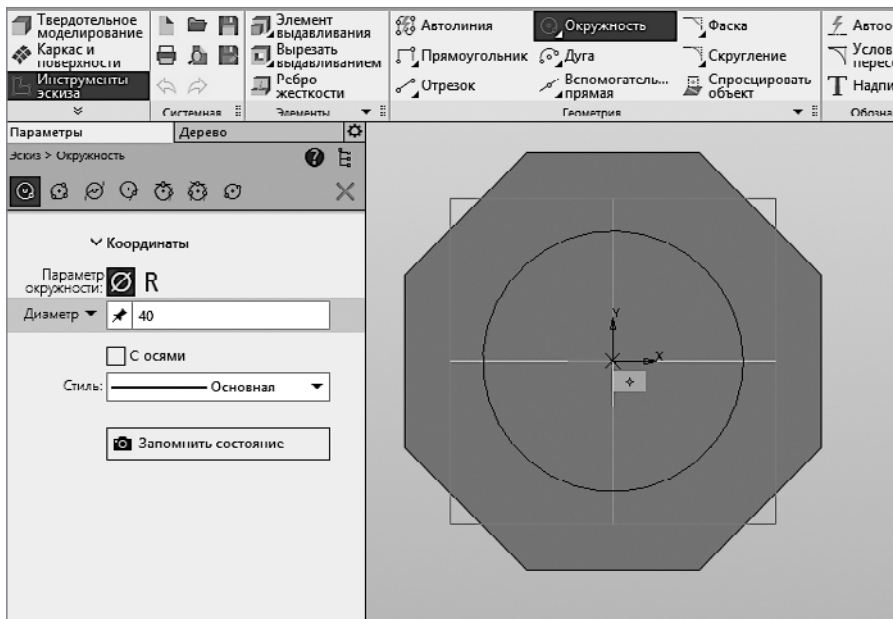
Постройте в начале координат многоугольник с восемью вершинами по вписанной окружности диаметром 64 мм. Угол установите нулевым.



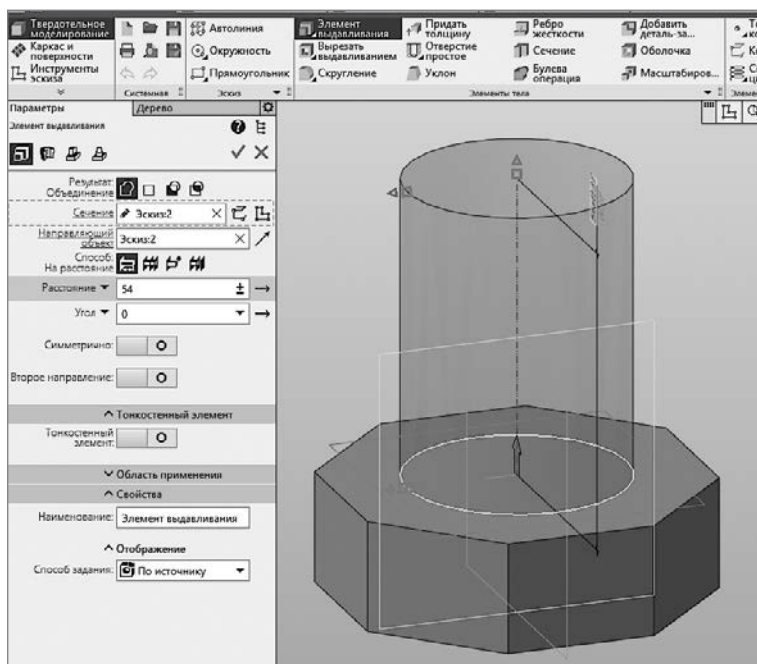
Создайте элемент выдавливания и выдавите эскиз в обратном направлении на 20 мм.



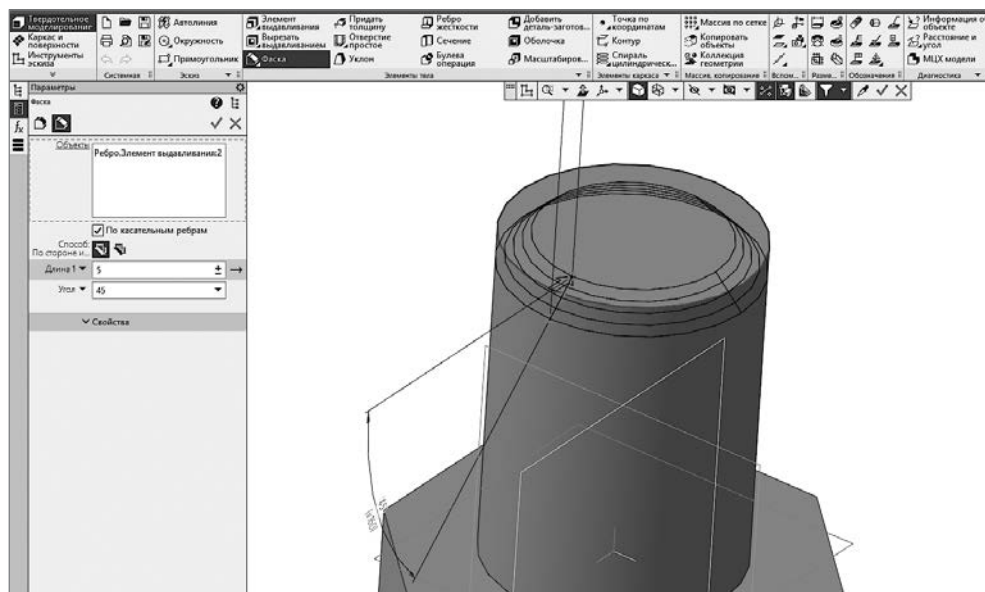
Запустите команду **Окружность**. Снова укажите плоскость XY. Постройте окружность диаметром **40 мм**.



Создайте элемент выдавливания и выдавите эскиз в прямом направлении на 54 мм.



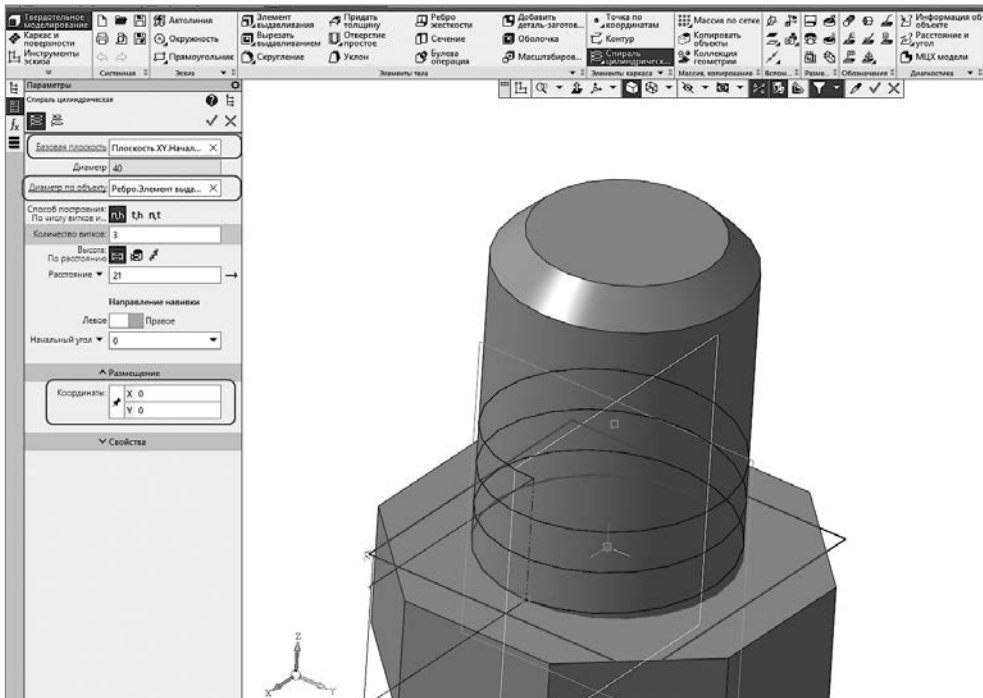
Постройте на верхней грани цилиндра фаску 5 мм.



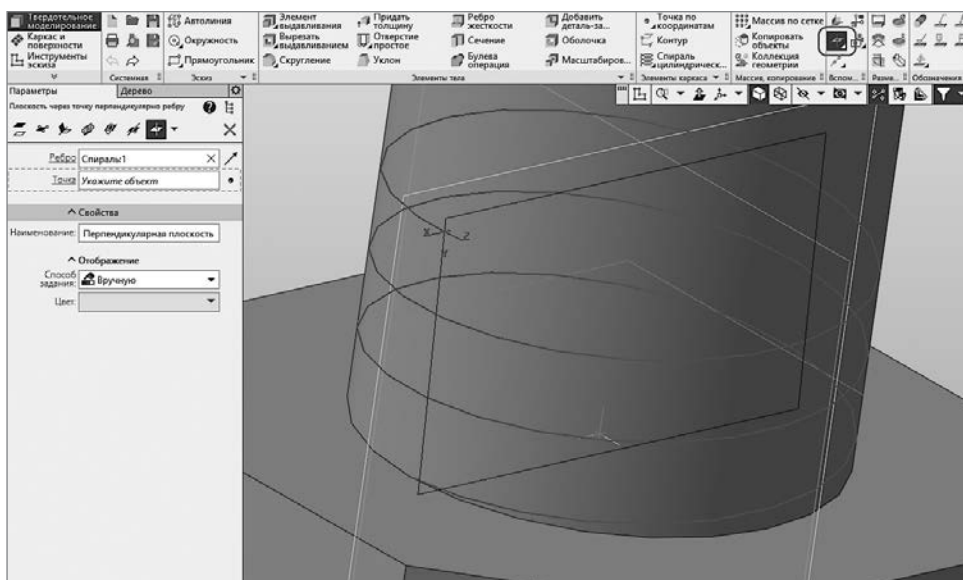
Запустите команду **Спираль цилиндрическая**.

Укажите количество витков равным 3, а расстояние — 21. Нажмите **Диаметр по объекту**, укажите верхнее ребро цилиндра. В поле **Координаты группы Размещение** введите $0;0$.

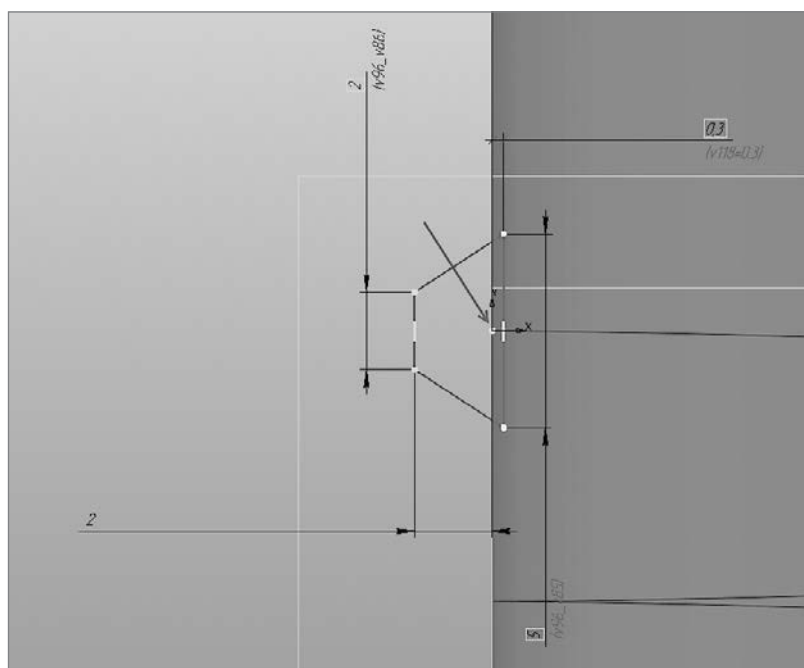
В данном случае трех витков вполне достаточно, соединение не нагруженное. Если вам потребуется резьба большей длины, то количество витков можно увеличить.



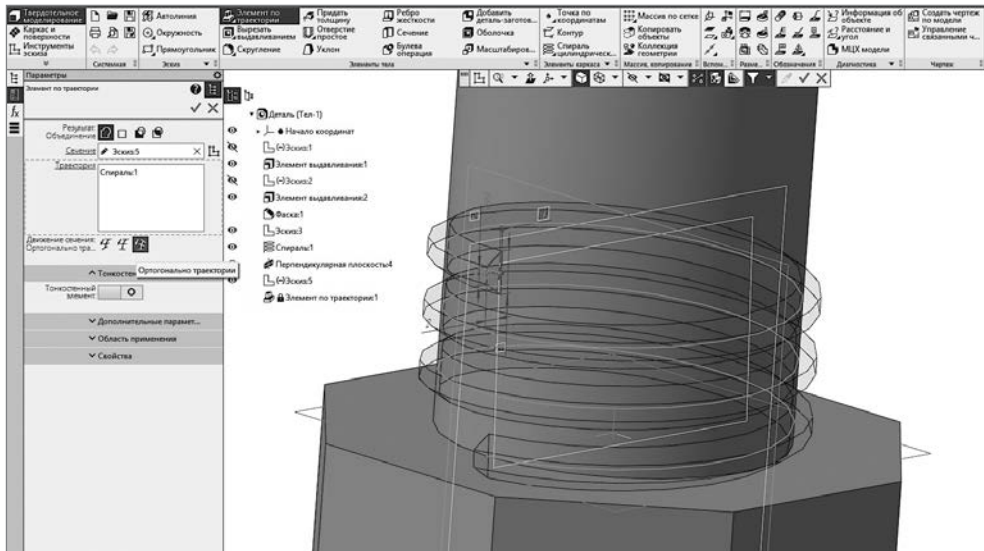
Постройте **Плоскость** через точку перпендикулярно ребру. Укажите спираль, затем точку в конце спирали.



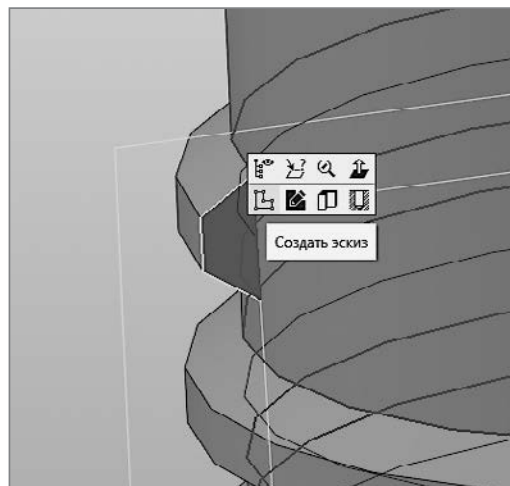
Создайте на этой плоскости эскиз и спроецируйте в него точку (конец спирали). Постройте профиль резьбы. Сделайте заступ ($\theta, 3$ мм) — он требуется, чтобы резьба наверняка слилась с остальным телом и не было граничных эффектов.



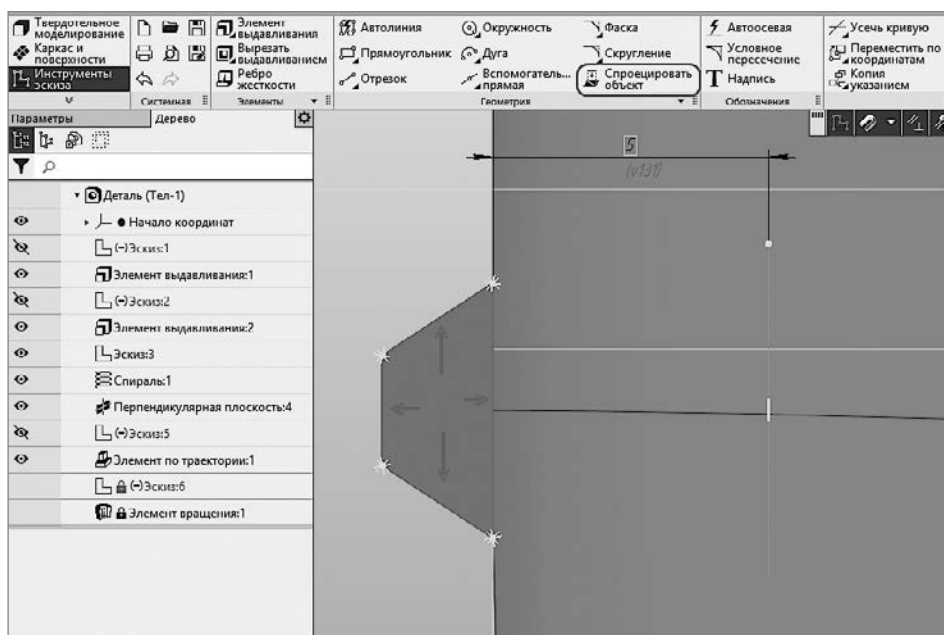
Постройте на основе эскиза и спирали элемент по траектории. При построении включите тип движения сечения Ортогонально траектории.



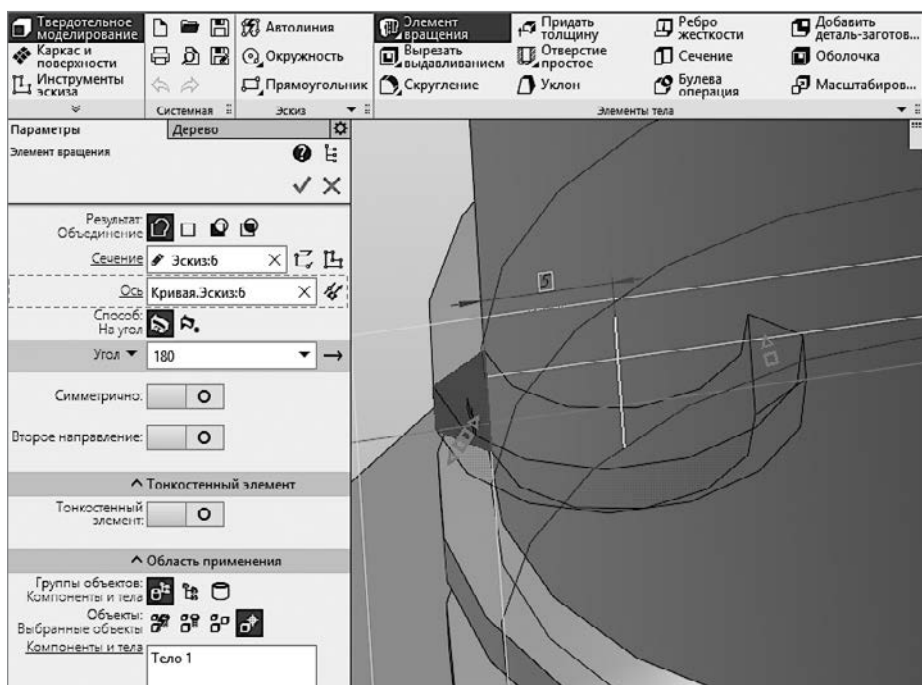
На получившейся грани элемента по траектории щелкните **Создать новый эскиз**.



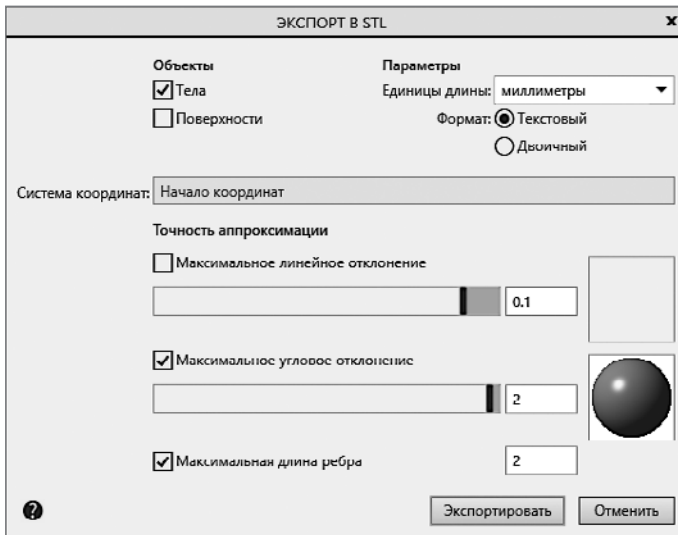
Спроецируйте в эскиз грань. Постройте на расстоянии 5 мм от ближайшего к цилиндру отрезка новый отрезок со стилем **Осевая**. Чтобы размер не построился через осевую, необходимо отложить размер до смены стиля отрезка на осевую или указать верхнюю точку осевой.



Запустите команду Элемент вращения. Установите Угол 180 градусов.

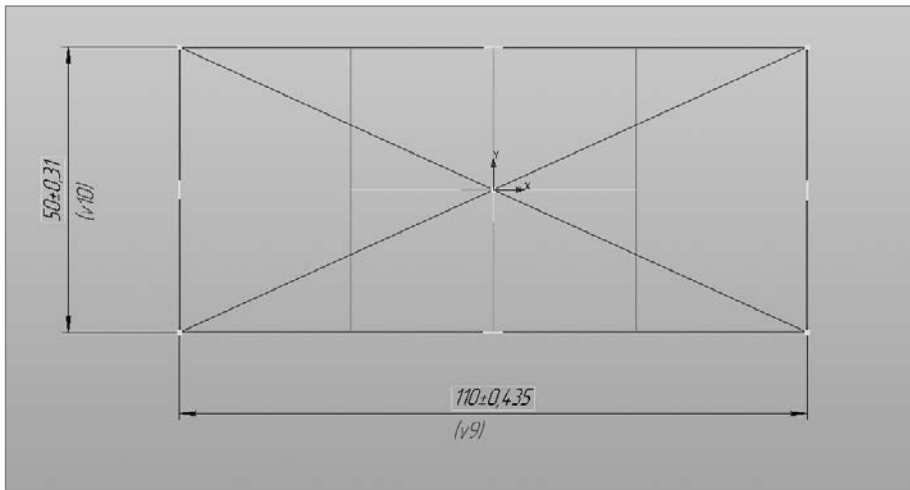


Сохраните втулку в Stl с использованием настроек, указанных на рисунке.

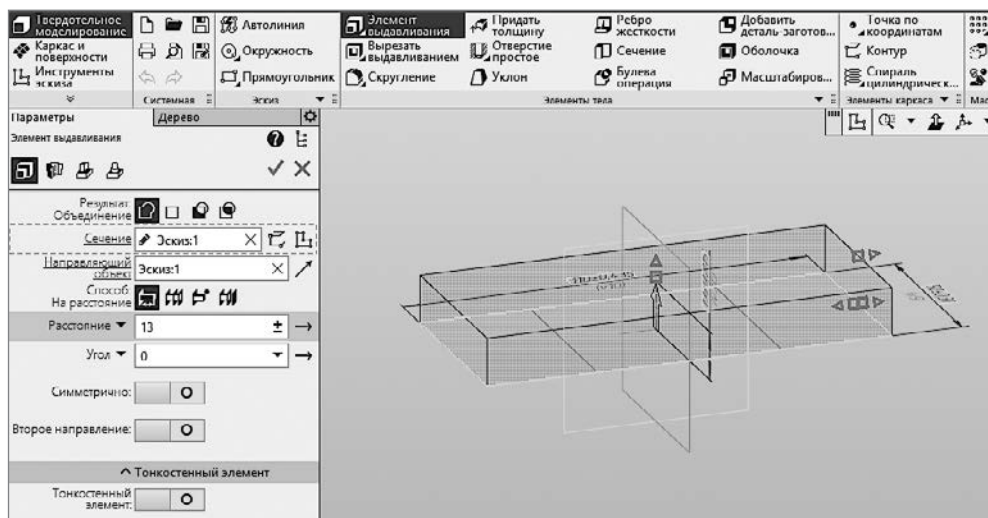


Создание стойки

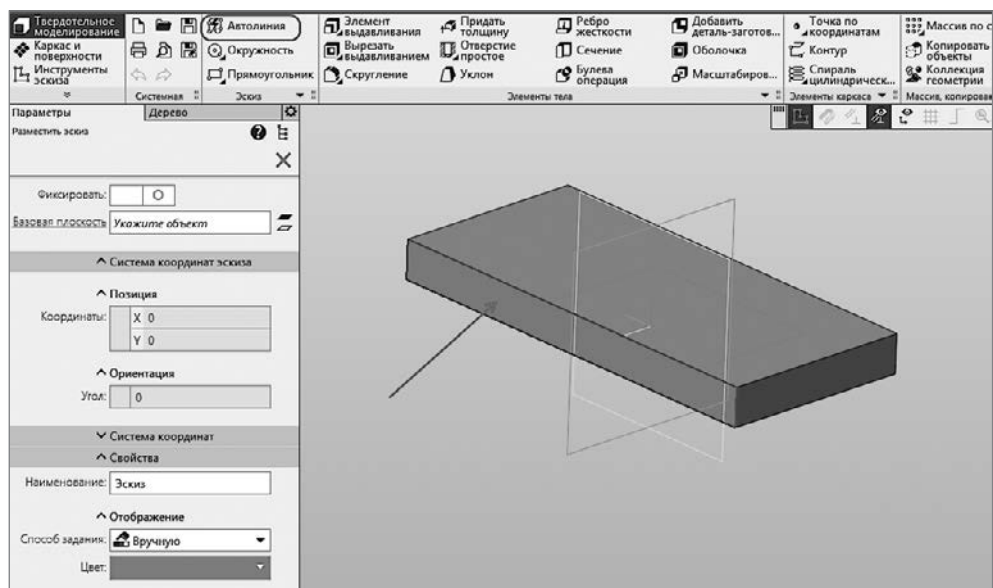
Создайте новую деталь, а в ней — эскиз в плоскости XY.



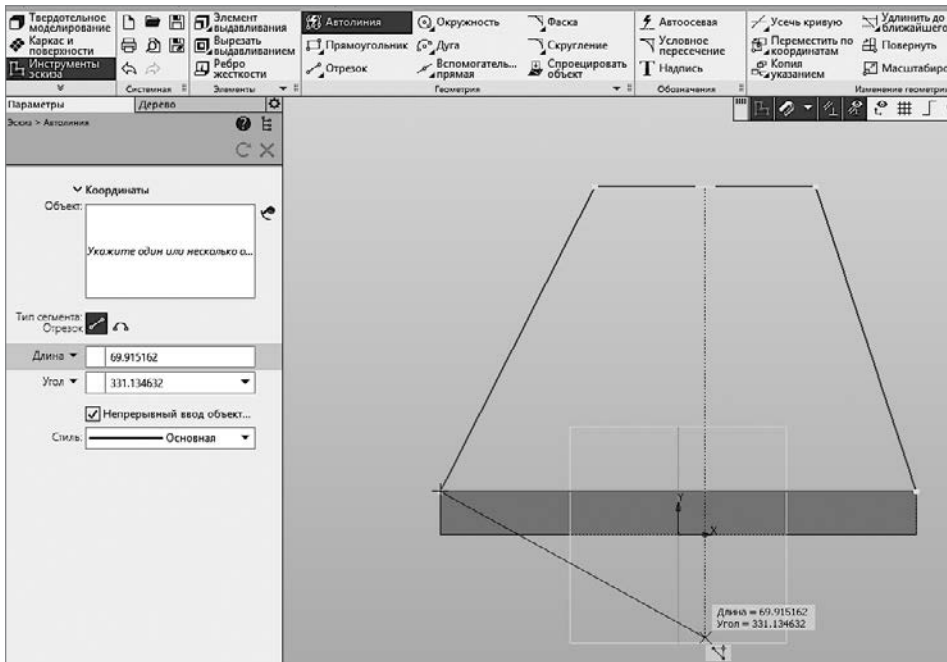
Запустите элемент выдавливания и выдавите эскиз на 13 мм.



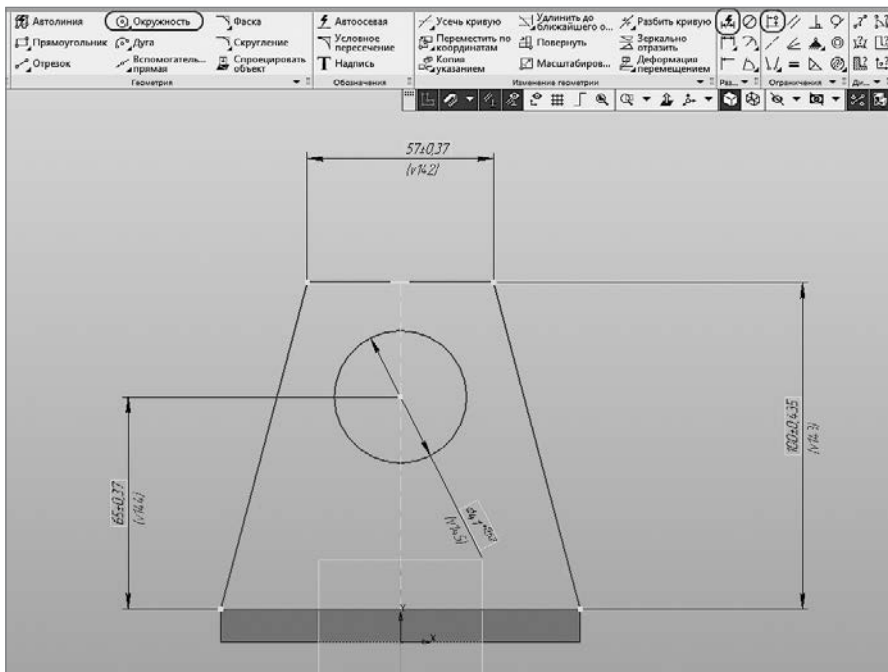
Запустите команду Автолиния и выберите грань элемента выдавливания.



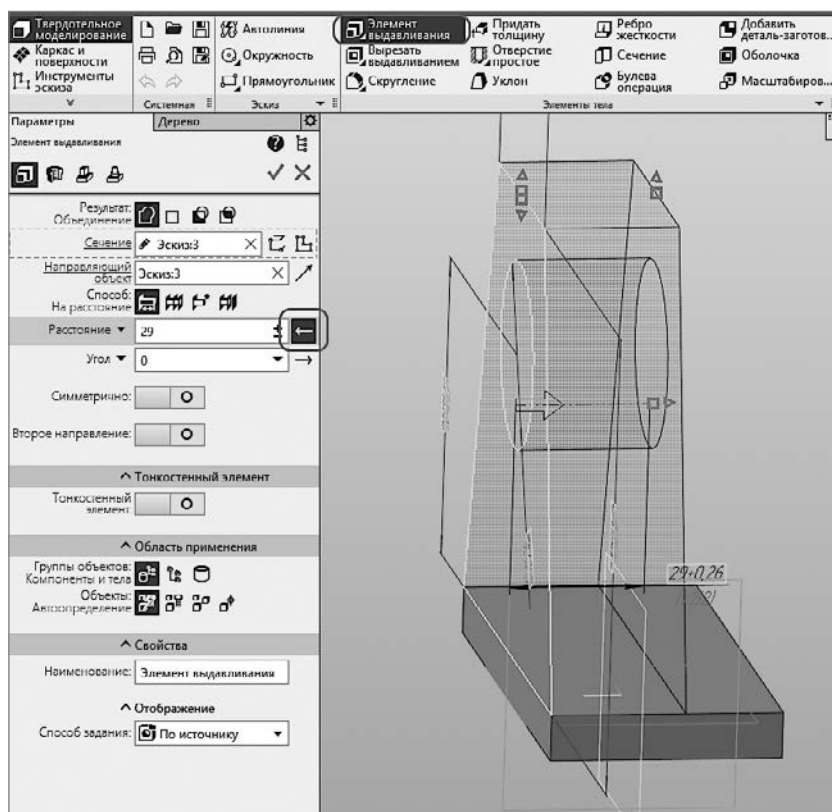
Постройте трапецию с помощью автолинии.



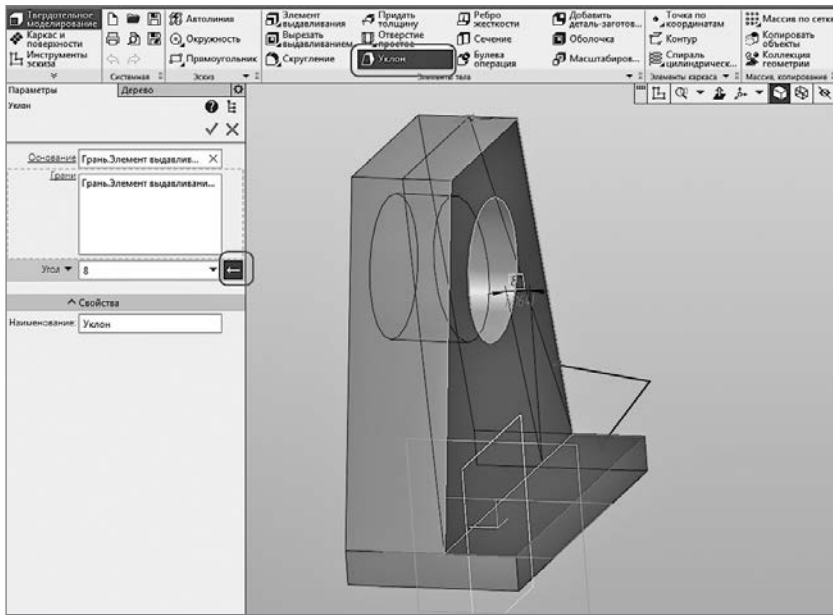
Постройте окружность, расставьте размеры и параметризируйте эскиз.



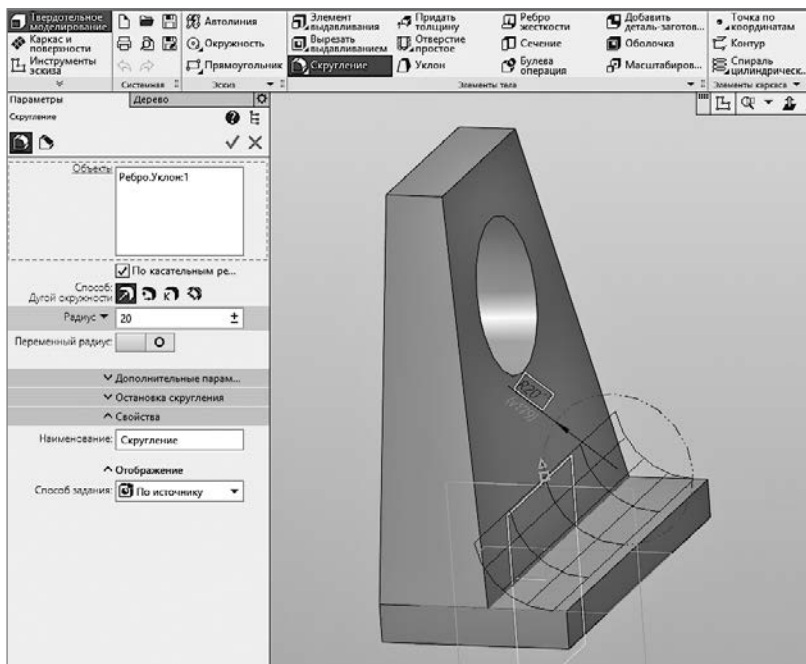
Запустите элемент выдавливания и выдавите эскиз в обратном направлении на 29 мм.



Выберите операцию Уклон на панели Геометрия и укажите верхнюю грань основания и вертикальную стенку. Установите обратное направление и Угол 8 градусов.

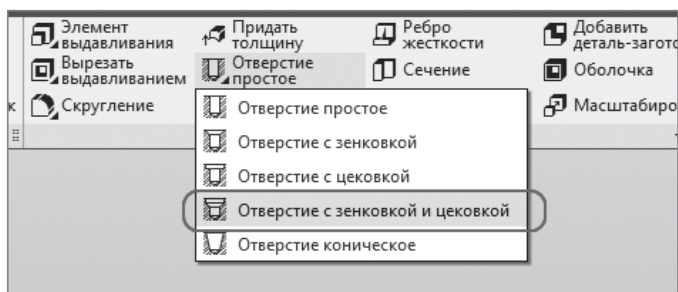


Запустите команду **Скругление**. Постройте между наклонной гранью и основанием скругление радиусом 20 мм.

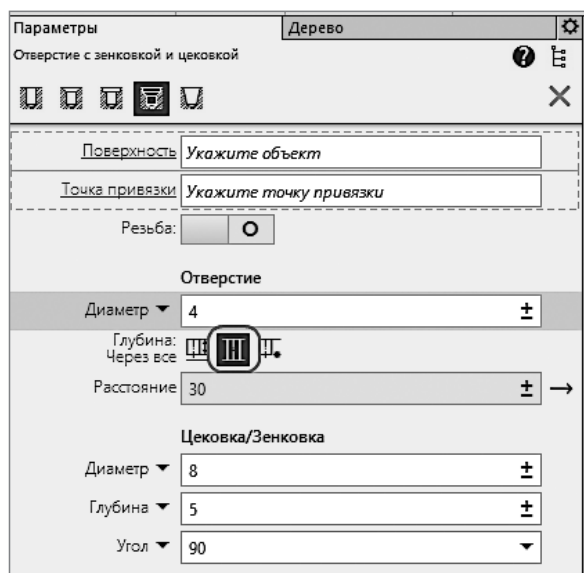


Запустите команду **Отверстие с зенковкой и цековкой** с панели **Геометрия**.

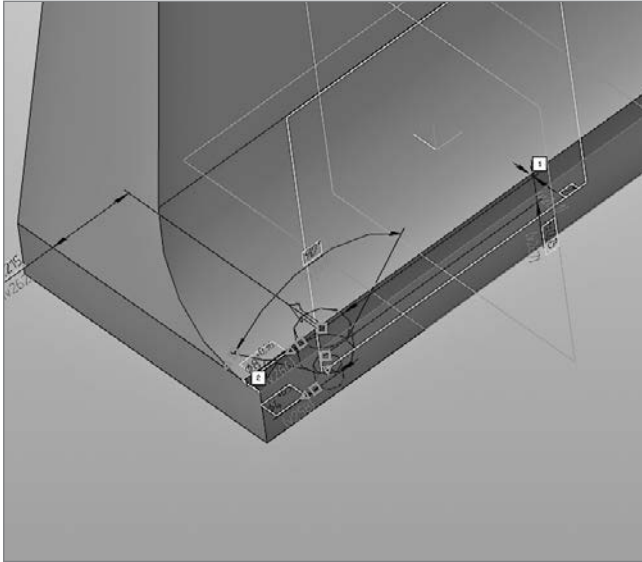
Эта команда строит отверстие с фаской и отверстием большего диаметра.



Установите параметры отверстия. Диаметр отверстия — 4 мм, Глубина — через все, диаметр цековки — 8 мм, глубина цековки — 5 мм, угол — 90 градусов.

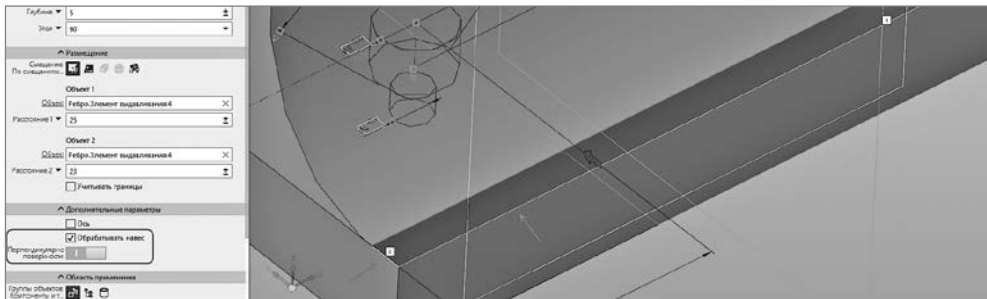


Укажите плоскую грань основания, которая показана на рисунке.

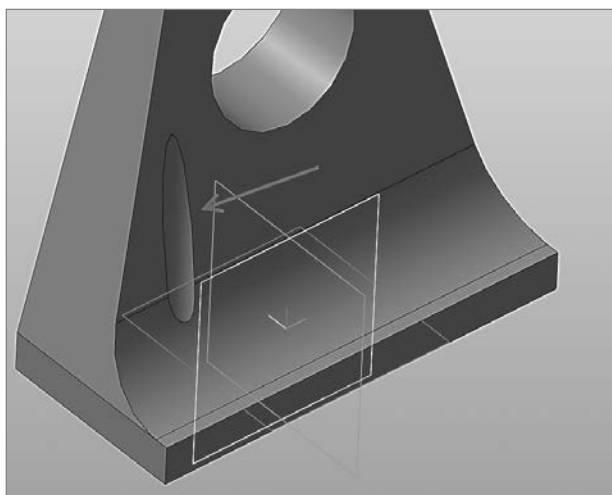


Раскройте появившуюся секцию Размещение.

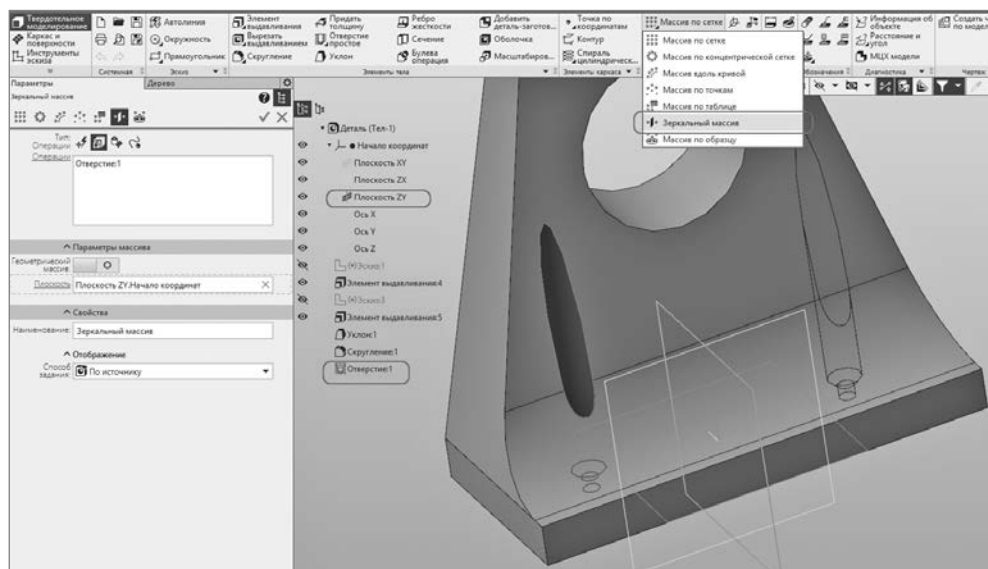
Укажите опорные объекты 1 и 2 так, как показано на рисунке. Установите Расстояние 1 — 25 мм, Расстояние 2 — 23 мм. Активируйте опцию Обработать навес, включите переключатель Перпендикулярно поверхности.



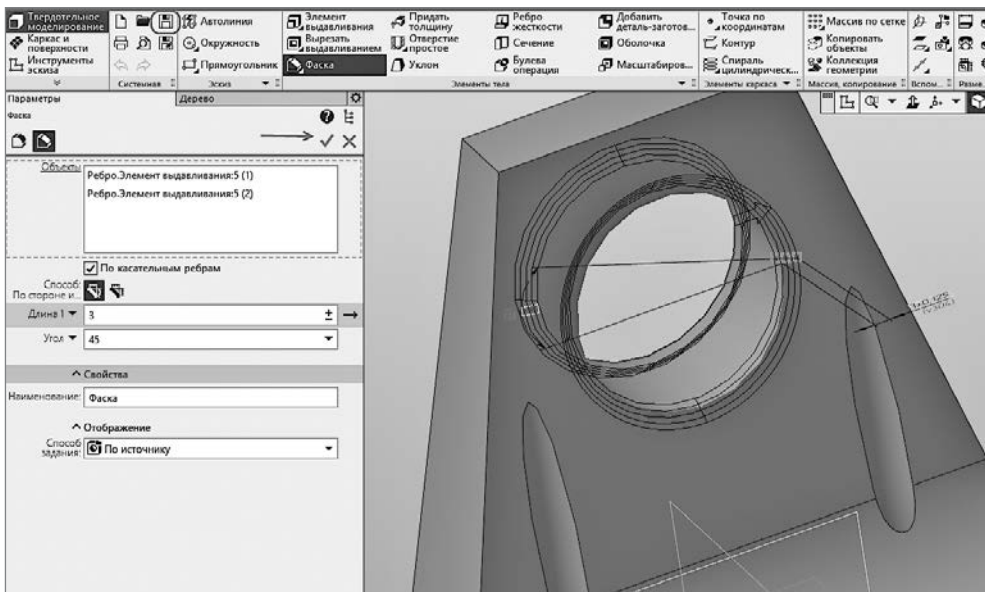
Создайте отверстие. Обратите внимание, что благодаря опции Обработать навес цековка автоматически прорезала тело детали.



Запустите команду Зеркальный массив, раскройте прозрачное дерево, укажите Отверстие:1, затем нажмите Плоскость в секции Параметры массива и укажите Плоскость ZY.

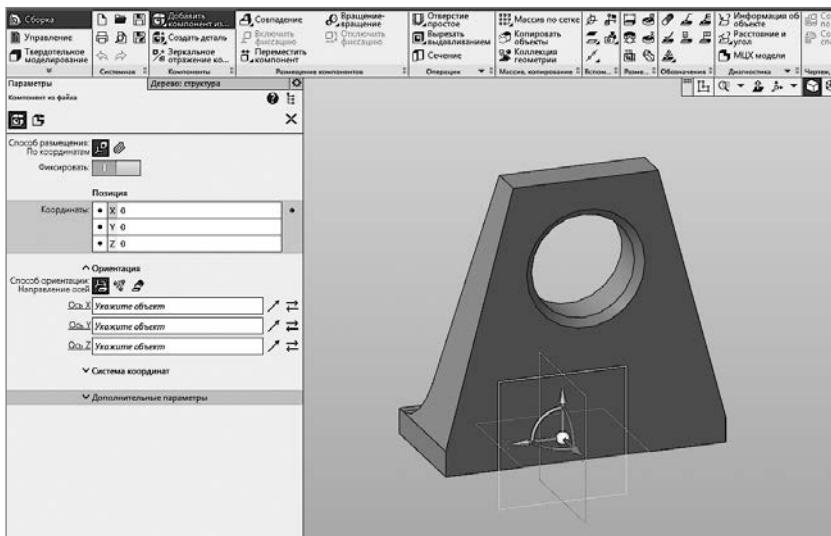


Запустите команду Фаска. Постройте фаску 3 мм с двух сторон большого отверстия в детали. Создайте операцию. Сохраните деталь.

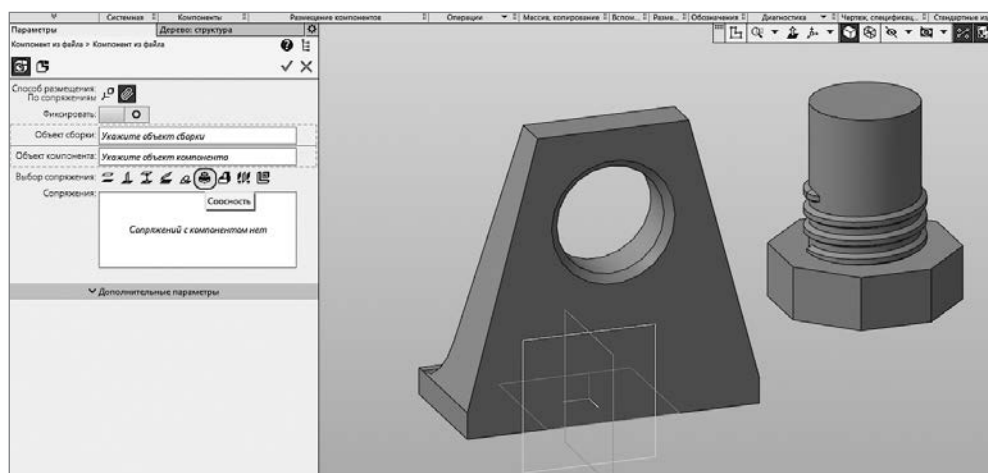


Создание сборки. Сборочные операции

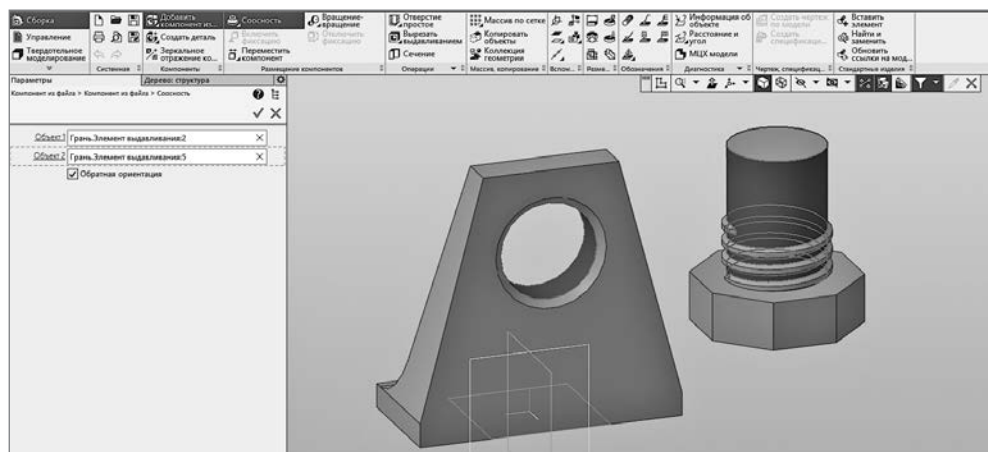
Создайте сборку. Вставьте стойку в начало координат сборки. Нажмите Создать или колесо мыши.



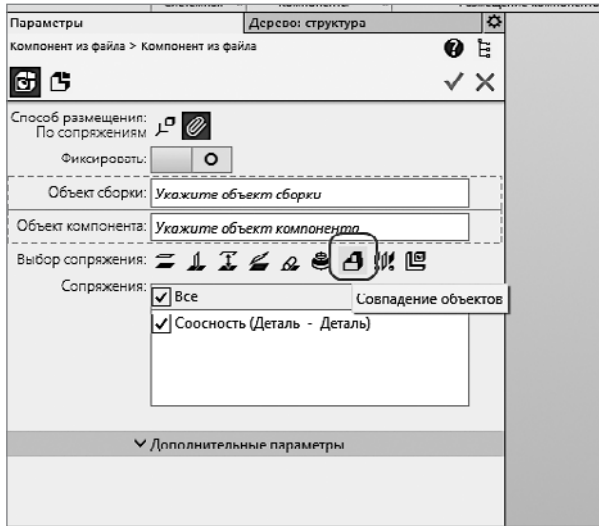
Добавьте в сборку втулку. Переключитесь на способ размещения компонента По сопряжениям. Выберите сопряжение Соосность.



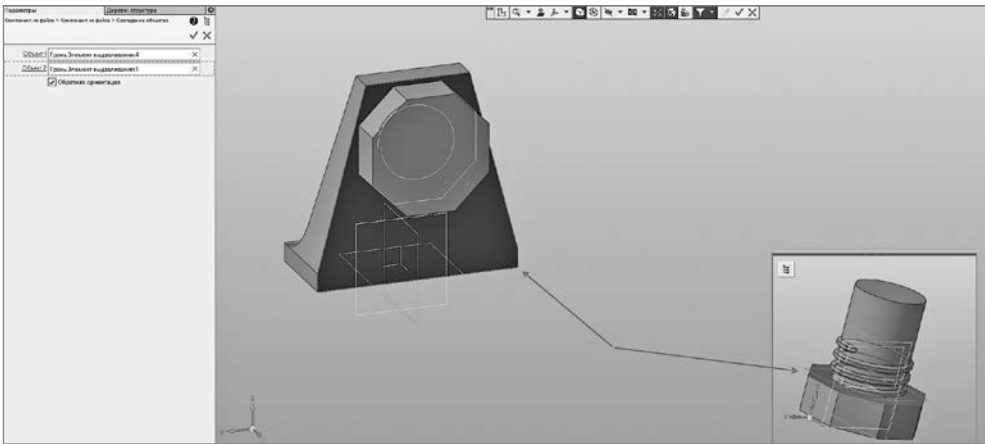
Укажите грань отверстия в стойке и цилиндрическую грань втулки. Втулка изменит свое положение. Создайте сопряжение.



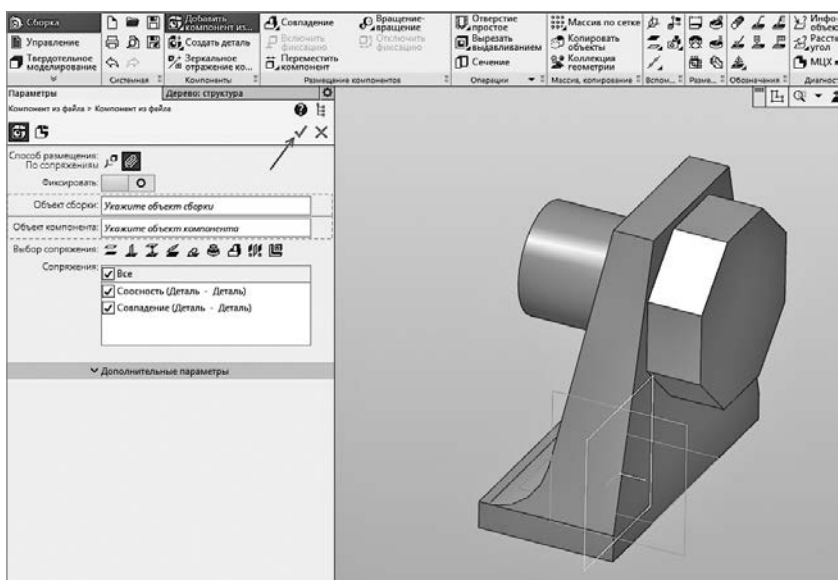
Выберите сопряжение Совпадение объектов.



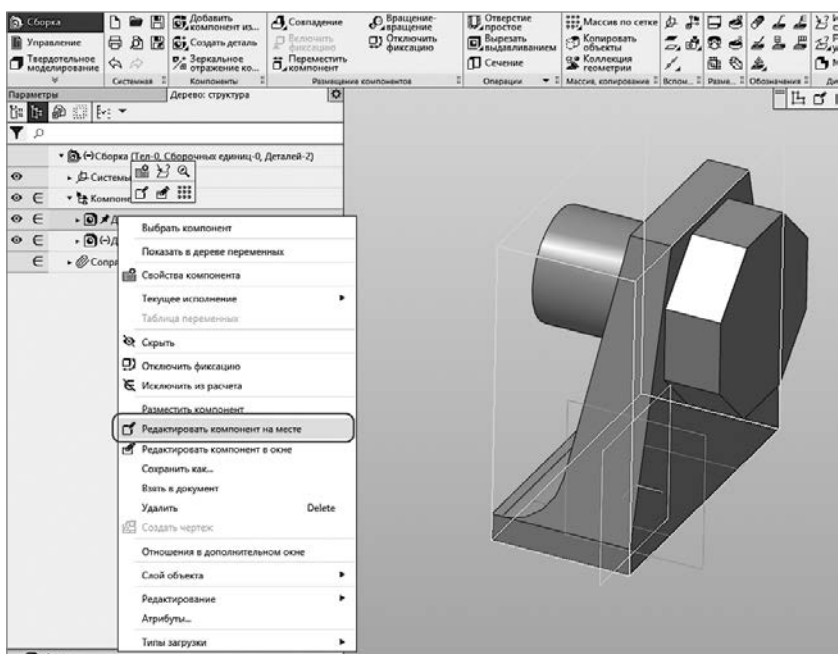
Укажите вертикальную грань стойки и грань втулки, используя дополнительное окно. Создайте сопряжение.



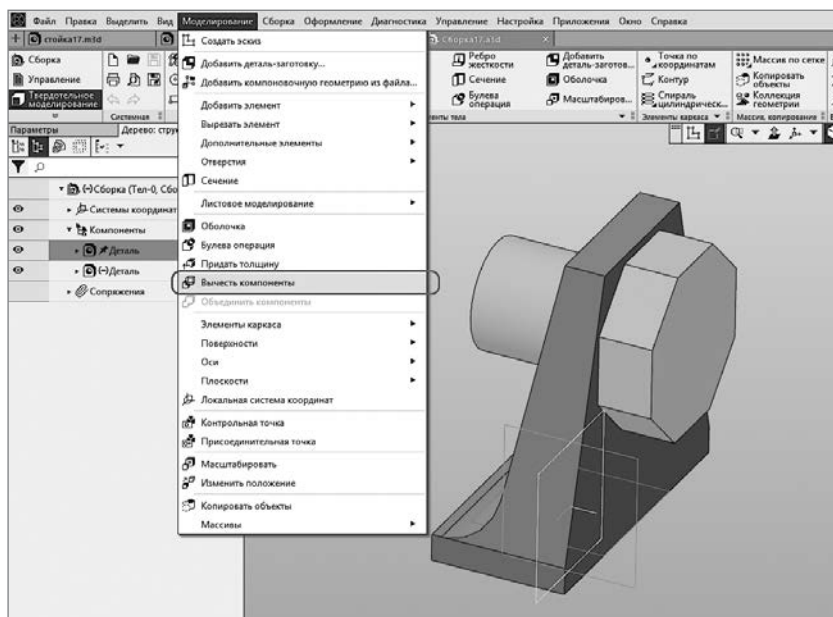
Нажмите Создать объект для завершения размещения компонента.



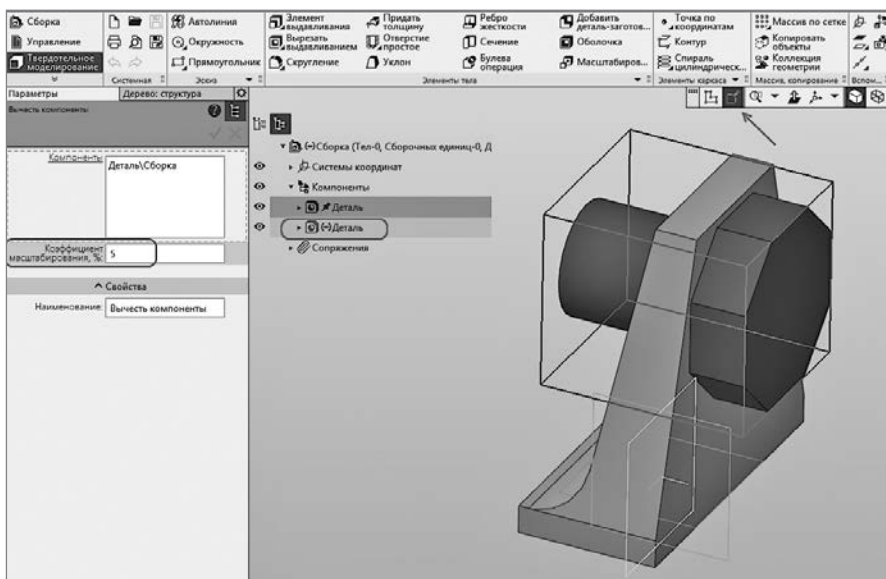
Выберите в дереве стойку и в контекстном меню пункт Редактировать компонент на месте.



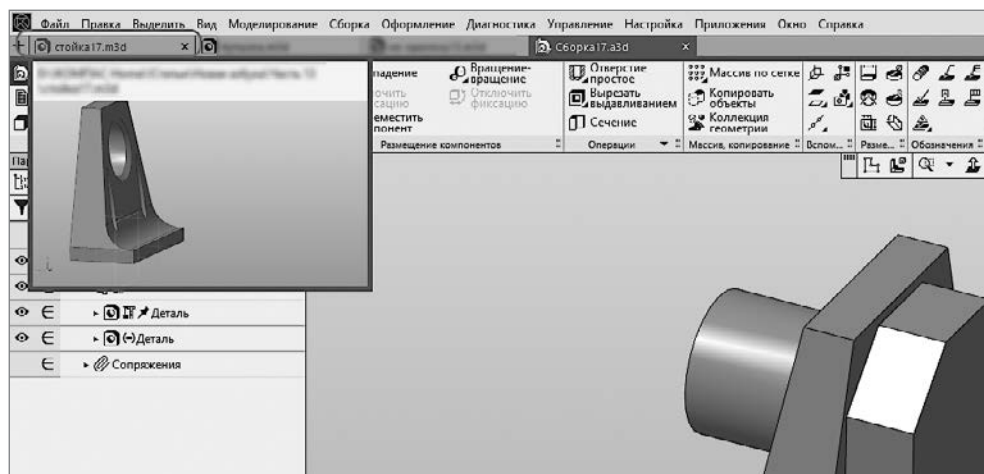
Запустите команду Вычесть компоненты из меню Моделирование.



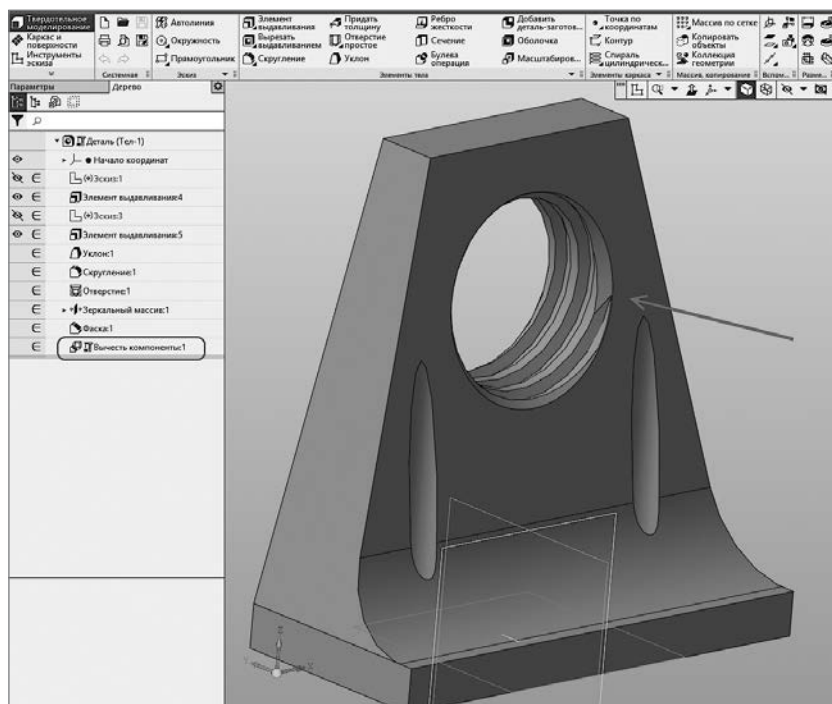
Укажите в дереве втулку. Установите коэффициент масштабирования 5 %. Нажмите Создать или колесо мыши. Выйдите из режима редактирования детали. В диалоге сохраните изменения.



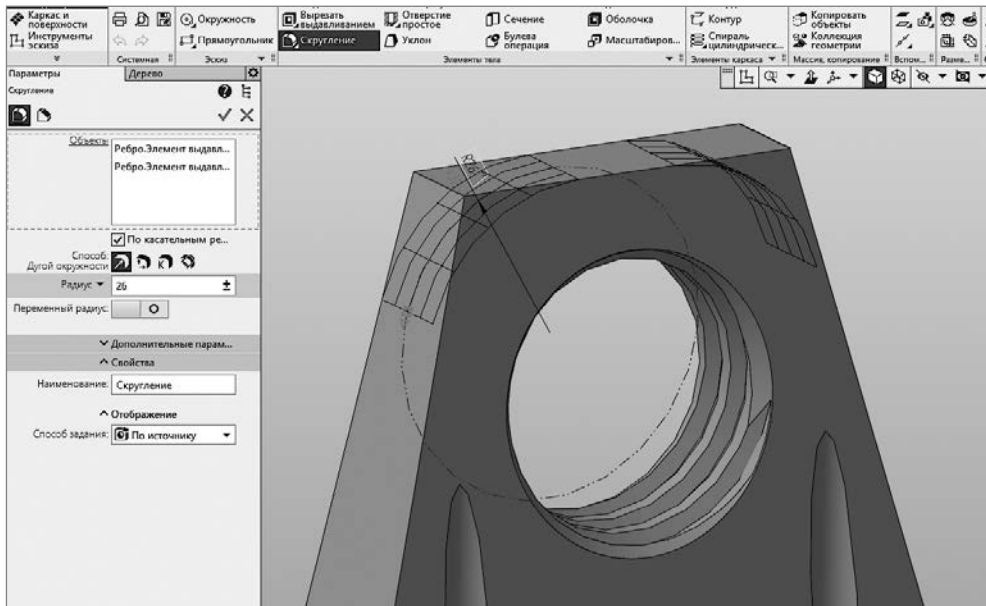
Переключите закладку на деталь стойка.



В отверстии появилась ответная резьба.



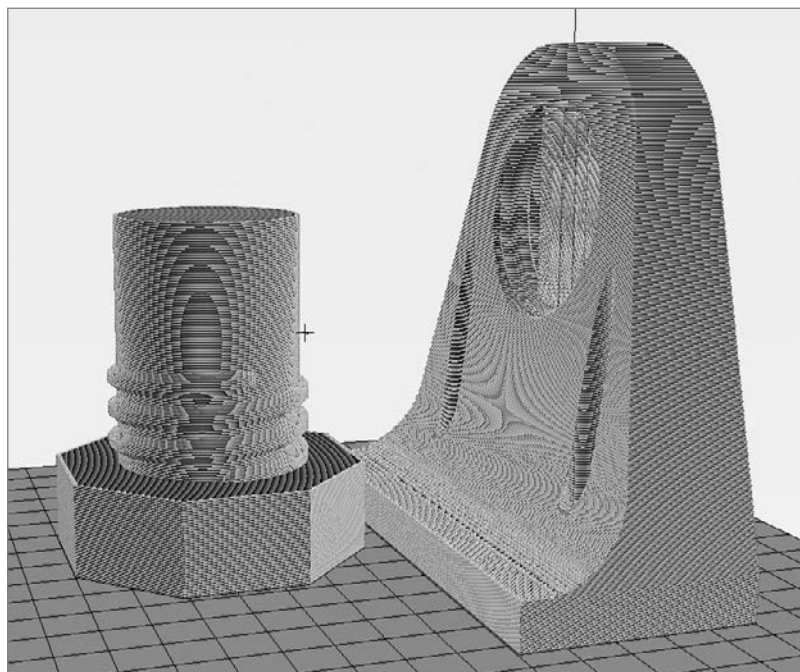
При желании можно также добавить на стойку скругления.



Сохраните стойку в Stl с использованием следующих настроек, указанных на рисунке.



Для печати стойки нужны поддержки, а для втулки можно обойтись без них.

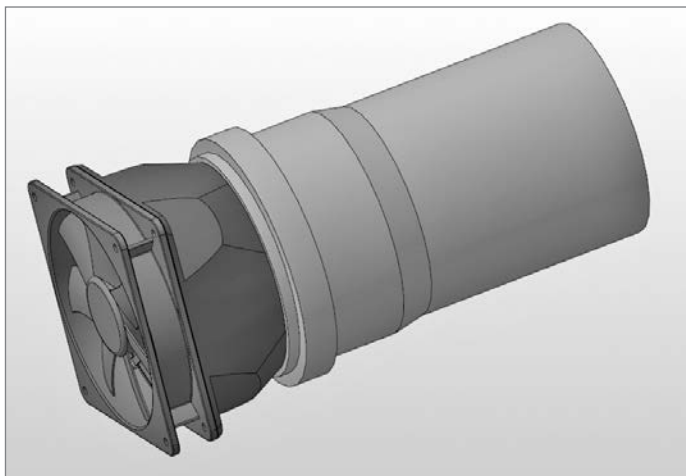


Для готового изделия нужны две втулки и две стойки.



УРОК 5. ПЕРЕХОДНИК С ВЕНТИЛЯТОРА НА ПЛАСТИКОВУЮ КАНАЛИЗАЦИОННУЮ ТРУБУ

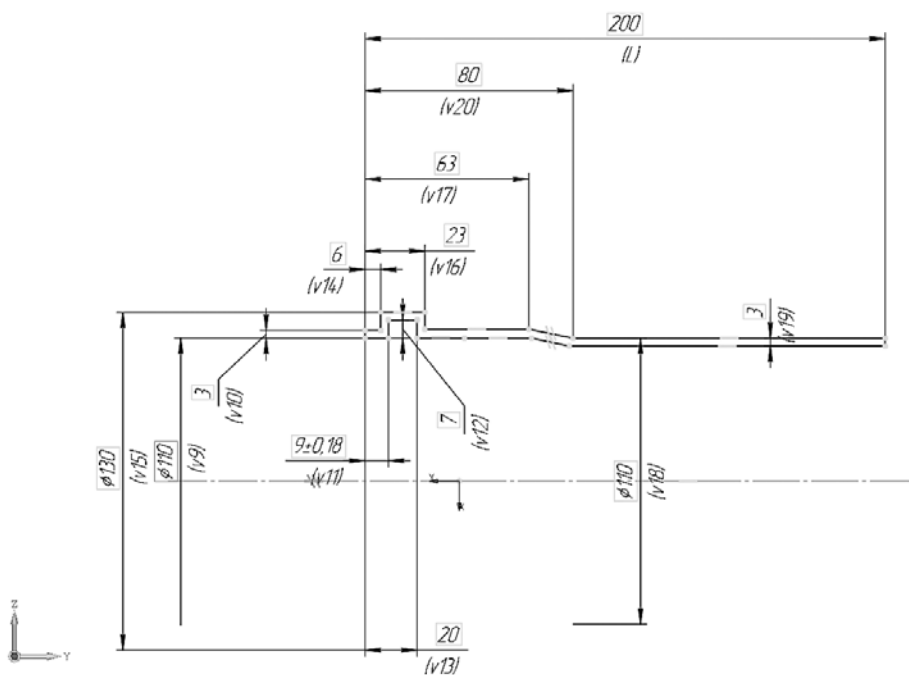
Постройте переходник с вентилятора на пластиковую канализационную трубу диаметром 110 мм. В этом уроке мы будем использовать сборку, сопряжения и контекстное редактирование модели.



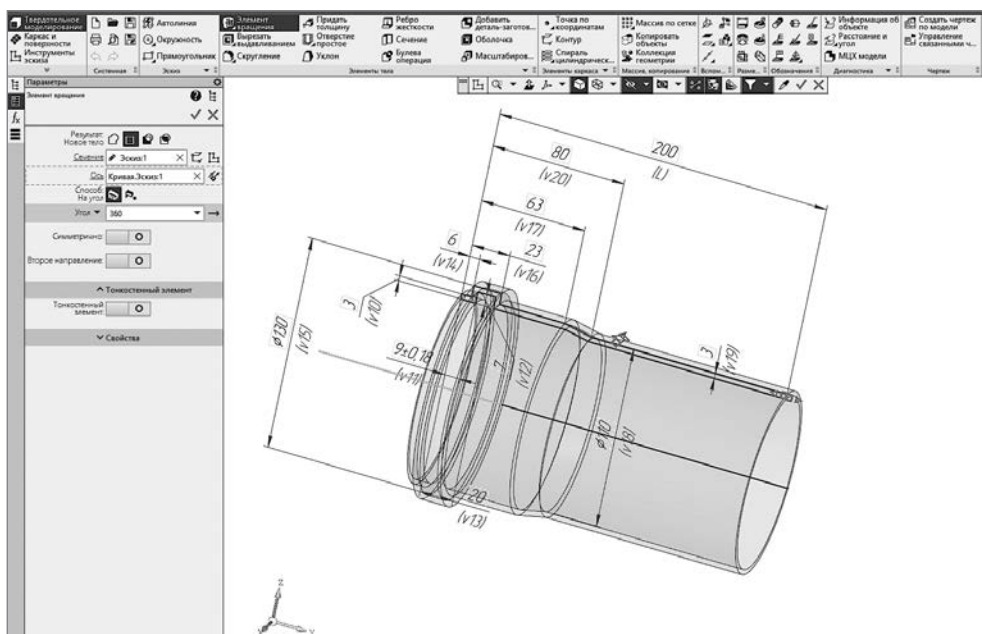
Для чего может понадобиться такая деталь? Допустим, вам надоело дышать испарениями от принтера, и вы захотели сделать вентиляцию для отведения вредных газов. Один из самых простых способов — накрыть принтер картонной или фанерной коробкой с компьютерным вентилятором и подключенной трубой для отведения на улицу или в вентиляционную систему многоквартирного дома. С таким переходником вы сможете использовать стандартный компьютерный вентилятор и стандартные пластиковые канализационные трубы, имеющиеся в наличии в любом магазине сантехники, для которых существует множество различных угольников, тройников и т. п.

Труба

Смоделируйте канализационную трубу диаметром 110 мм, к которой будем присоединять переходник. Приступим к конструированию детали: для этого создайте в новом документе **Деталь** эскиз на плоскости ZX. Постройте эскиз, как на рисунке.

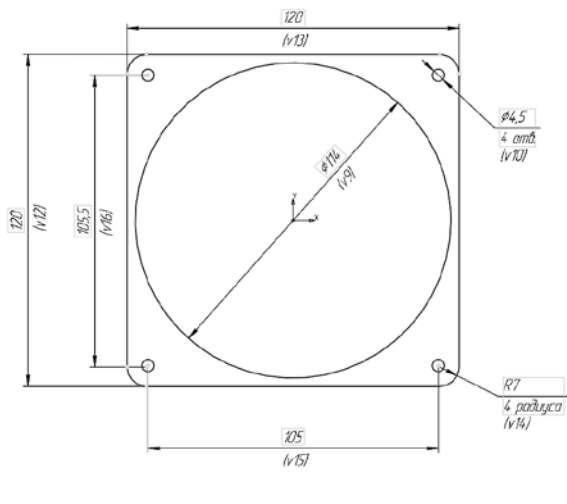


Запустите команду Элемент вращения. Создайте операцию. Сохраните деталь.

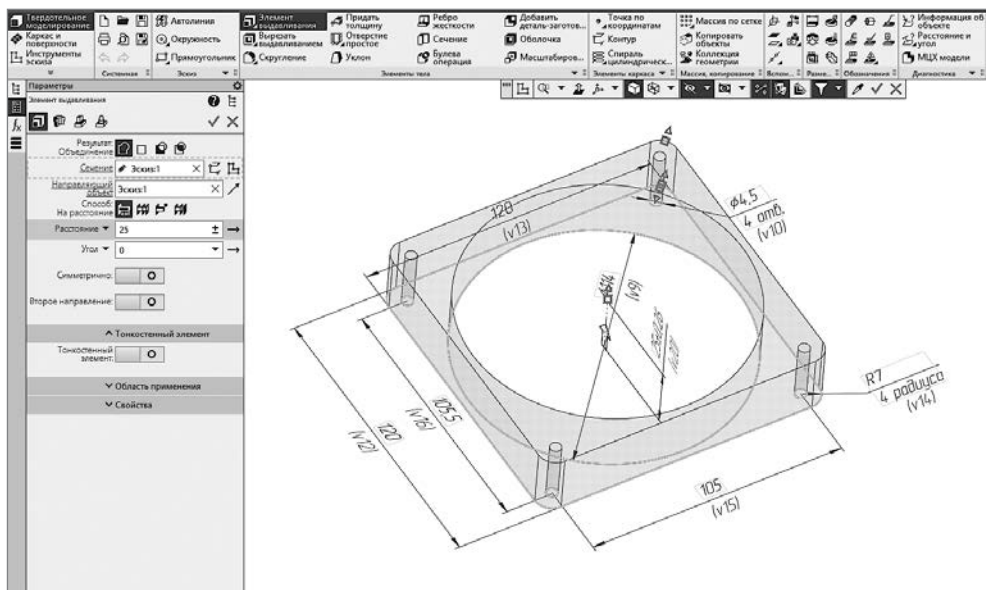


Вентилятор

Смоделируйте только крепежные элементы и проходное сечение вентилятора, полностью повторять форму вентилятора не требуется. Приступайте к конструированию детали. Создайте в новом документе Деталь эскиз на плоскости XY. Постройте эскиз, как на рисунке.



Запустите команду Элемент выдавливания. Создайте операцию. Сохраните деталь.



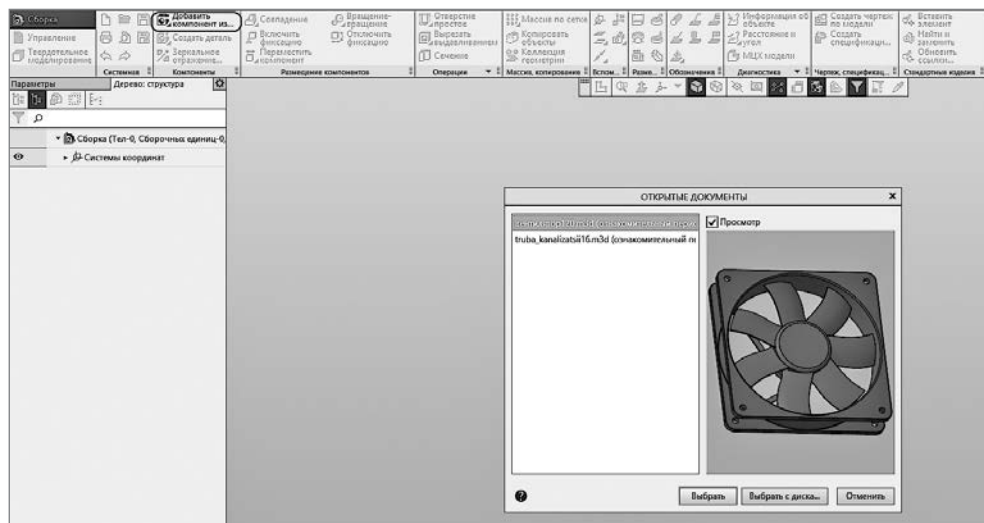
Переходник

Создайте сборку.

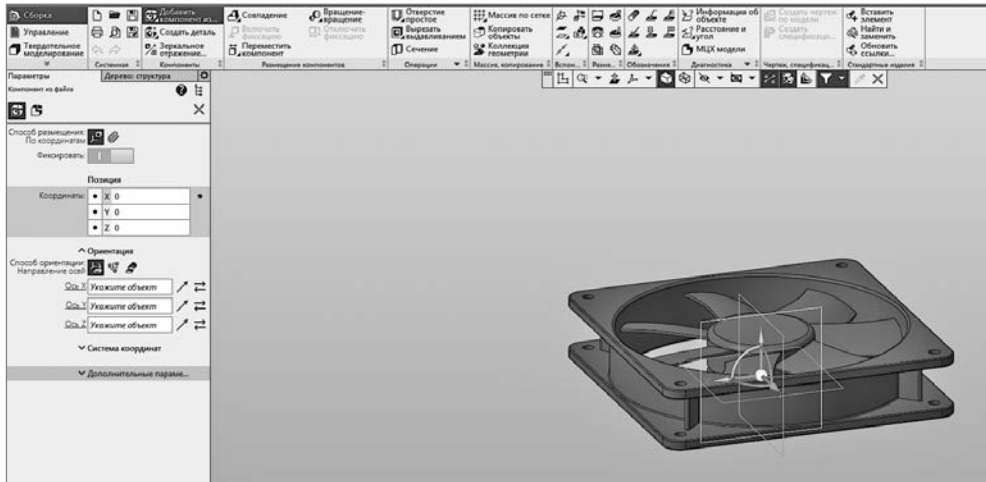


Запустите команду **Добавить из файла**.

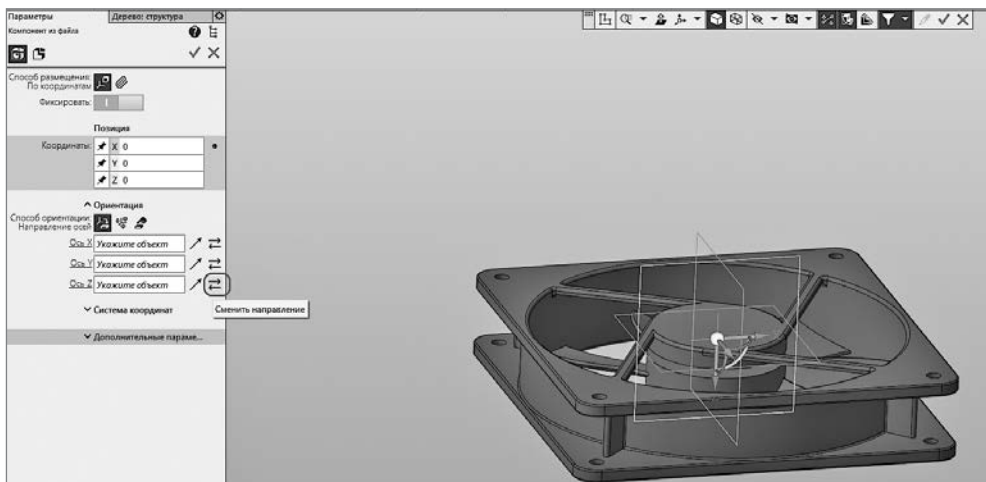
Выберите файл вентилятора.



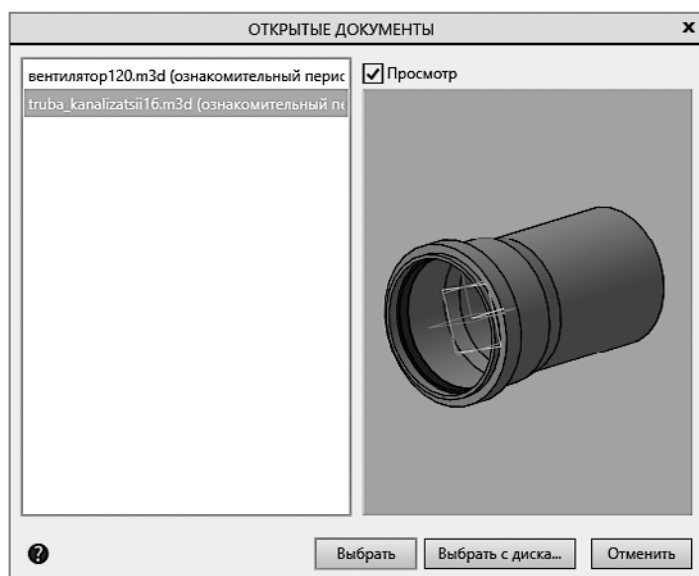
Укажите начало координат.



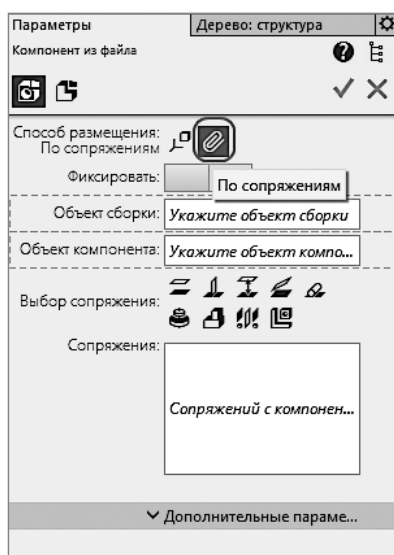
Нажмите кнопку Сменить направление около оси Z. Нажмите кнопку Создать объект или колесо мыши.



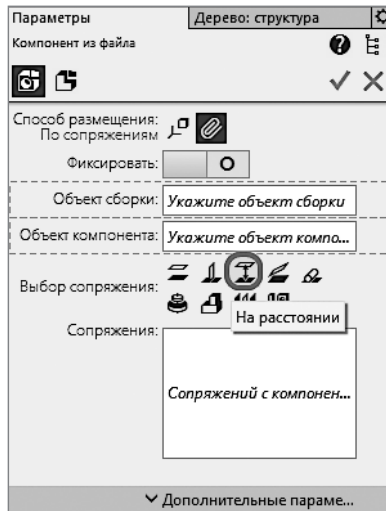
Теперь вставьте трубу. Запустите команду **Добавить из файла**. Выберите из открытых файлов трубу.



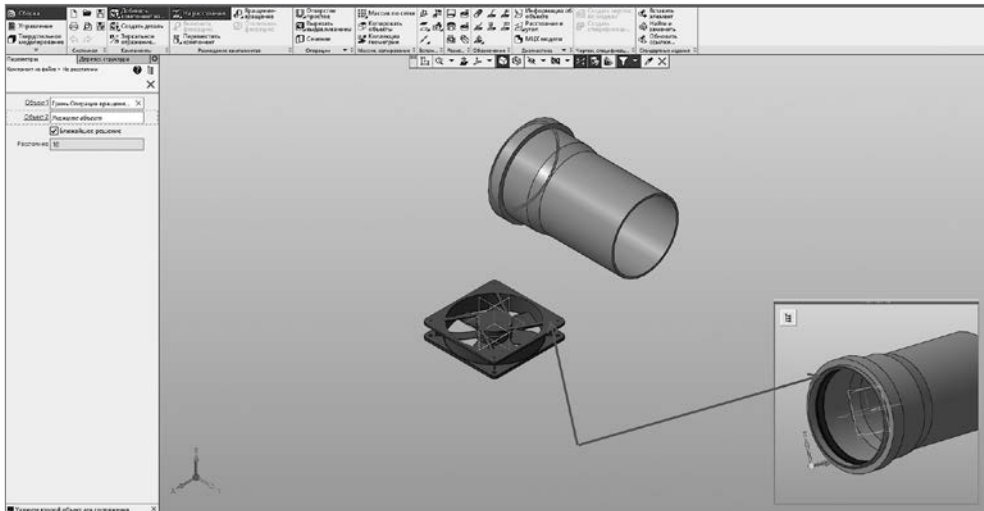
Укажите произвольную точку. Выберите способ вставки **По сопряжениям**.



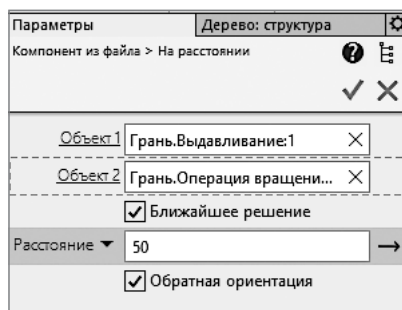
Выберите сопряжение На расстоянии.



Укажите ближайшую грань трубы и верхнюю грань вентилятора.

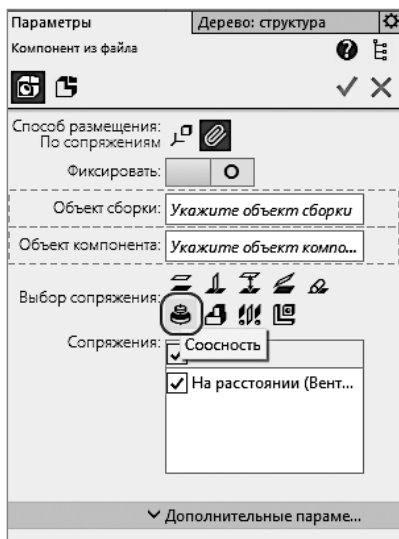


Введите расстояние 50 мм.

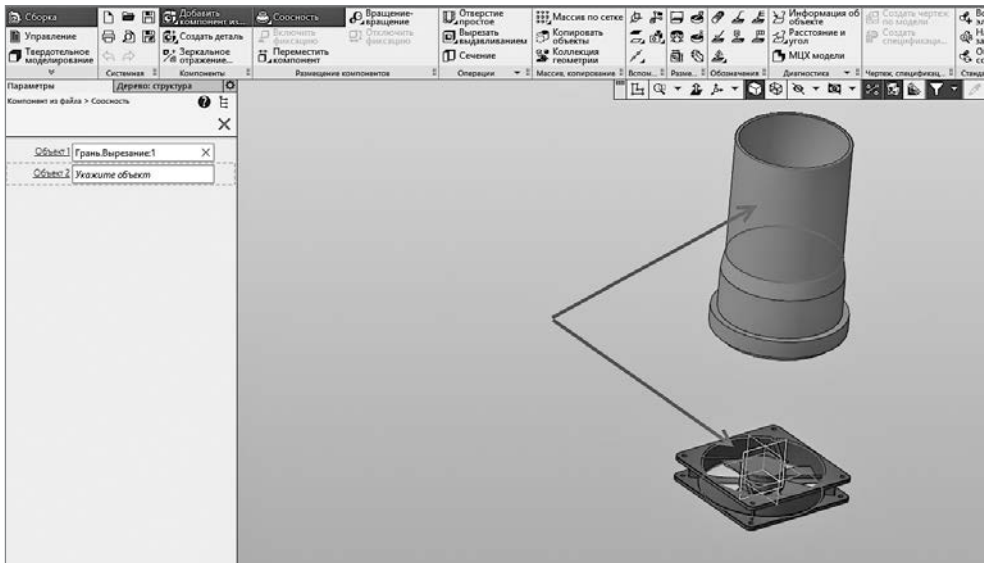


При необходимости переключите ориентацию и направление. Нажмите колесо мыши, чтобы создать сопряжение.

Теперь выберите сопряжение Соосность.



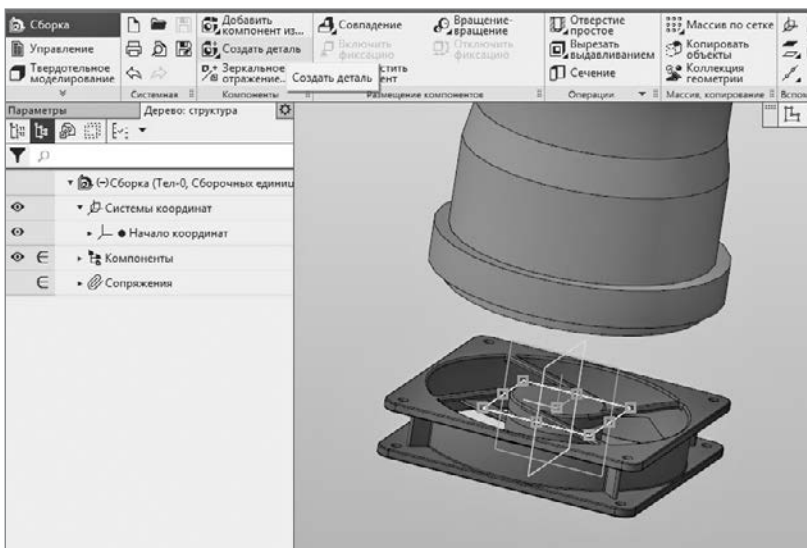
Укажите цилиндрические поверхности вентилятора и трубы. Нажмите колесо мыши, чтобы создать сопряжение.



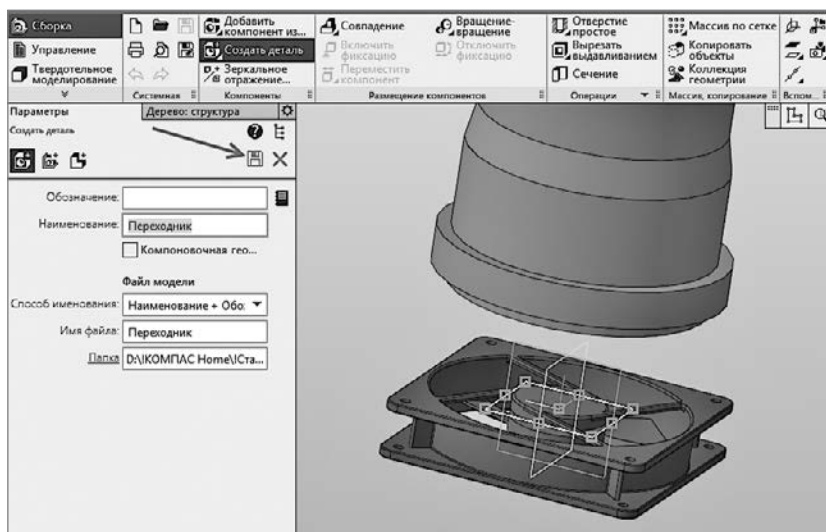
Нажмите кнопку **Создать объект** или среднюю кнопку мыши, чтобы завершить вставку детали.

Теперь постройте переходник, который соединит вентилятор с внутренней поверхностью трубы.

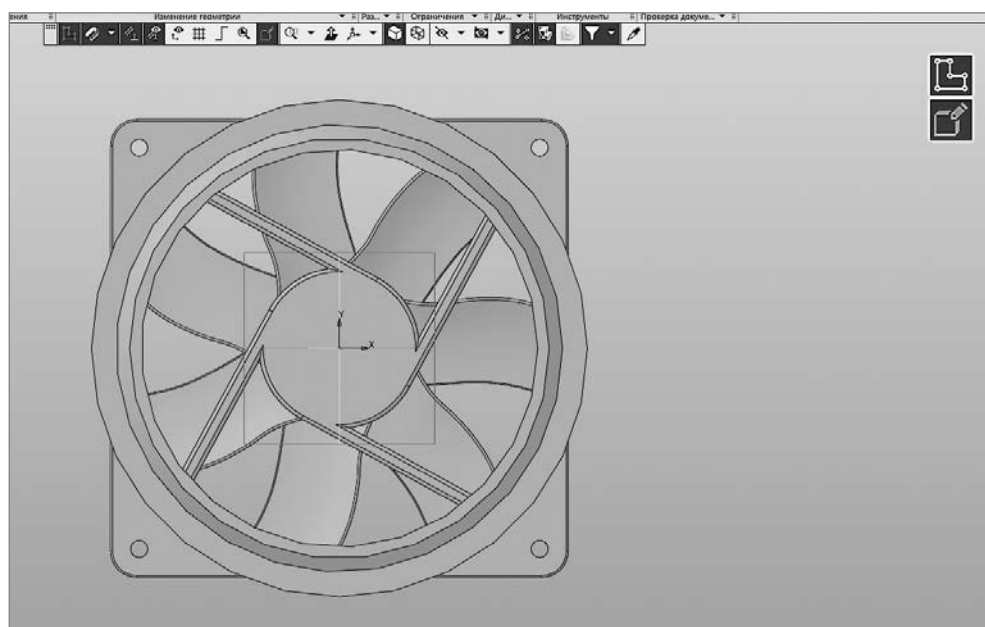
Выделите плоскость XY. Нажмите кнопку **Создать деталь**.



Введите название файла и нажмите кнопку Сохранить.



Сборка перешла в режим Контекстное редактирование. В этом режиме мы будем создавать деталь в контексте сборки. Обратите внимание, что на плоскости автоматически был создан эскиз, и мы находимся в режиме его редактирования.

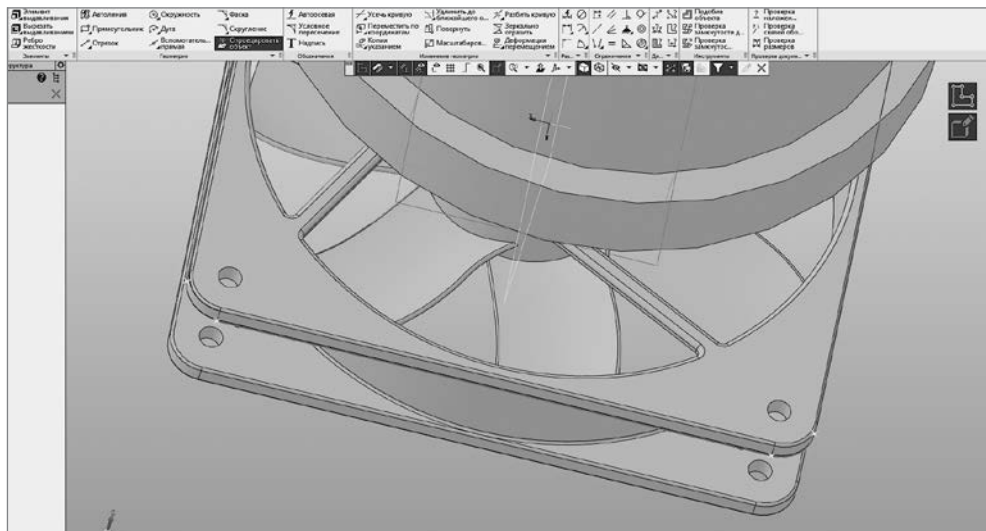


Нам нужно спроецировать наружный контур вентилятора.

На панели Геометрия запустите команду Спроецировать объект.

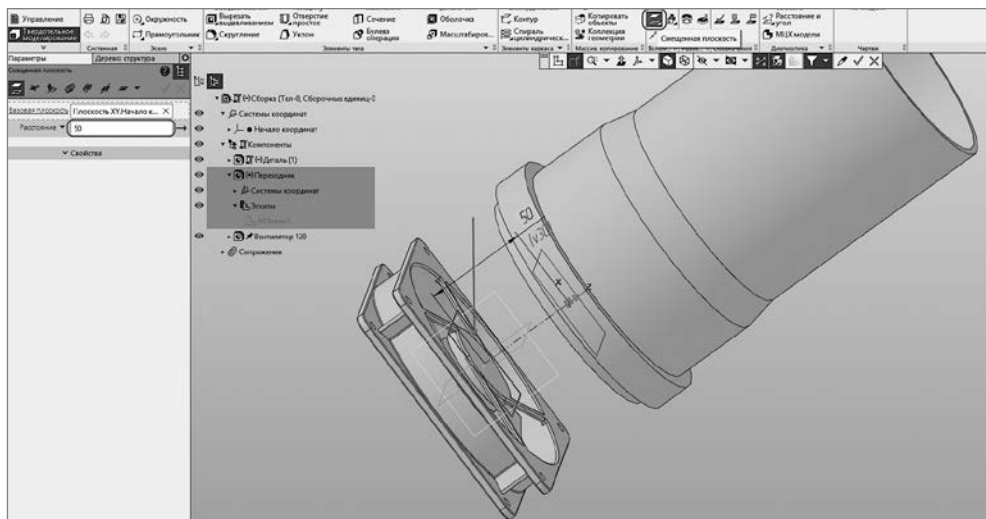
Последовательно укажите участки, составляющие наружный контур вентилятора.

При необходимости модель можно приближать и вращать.



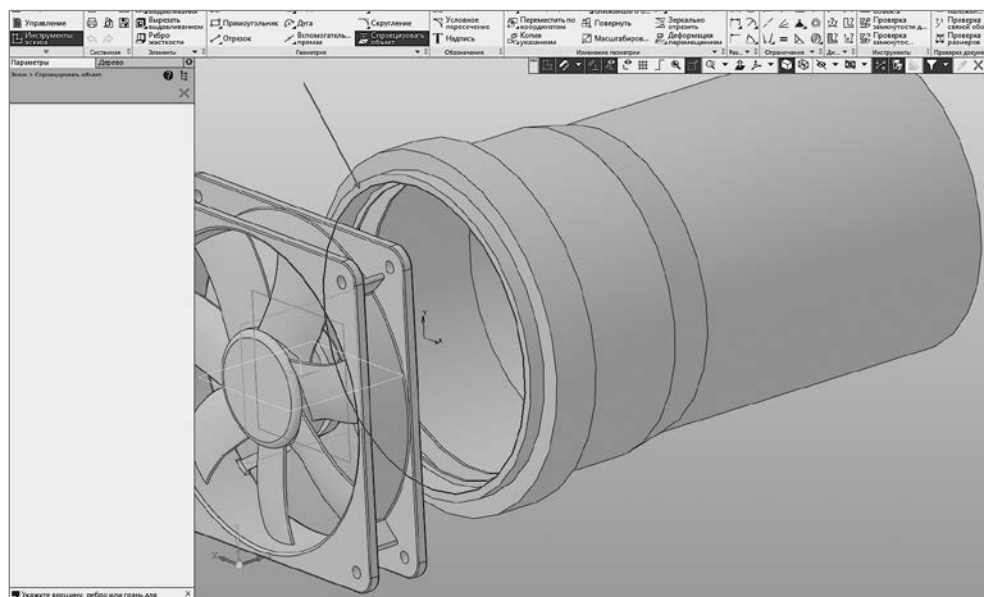
Выйдите из режима эскиза, не покидая режим Контекстное редактирование.

Выберите команду Смещенная плоскость. Укажите плоскость XY и введите расстояние 50 мм (как между трубой и вентилятором).

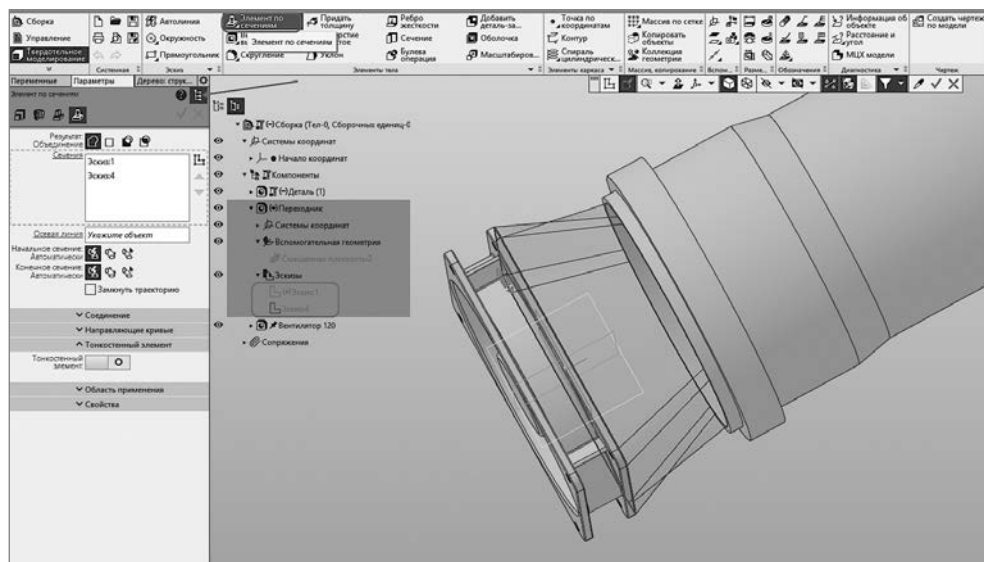


Создайте эскиз на этой плоскости.

Спроецируйте туда внутреннюю грань трубы. Выйдите из режима эскиза.

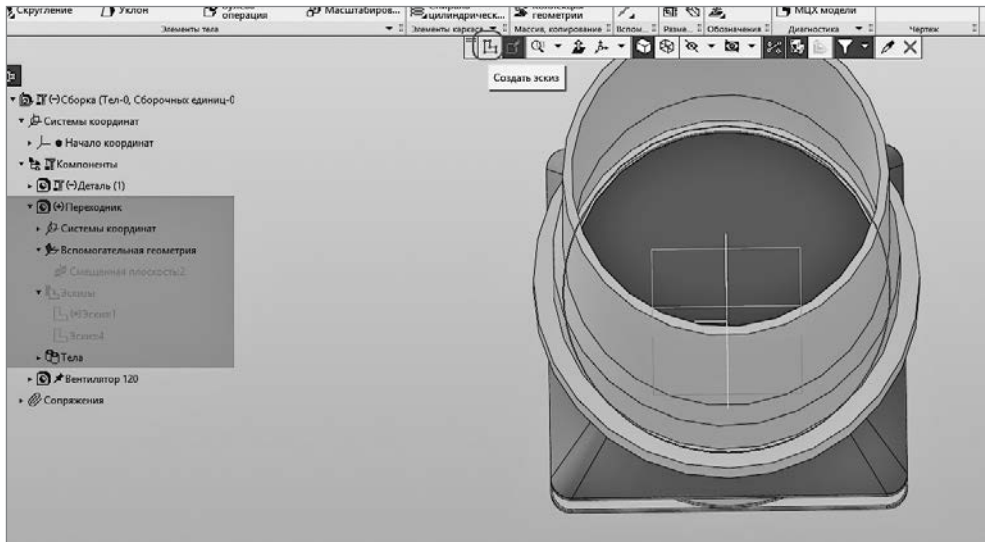


Запустите команду Элемент по сечениям. Укажите в дереве оба построенных эскиза.

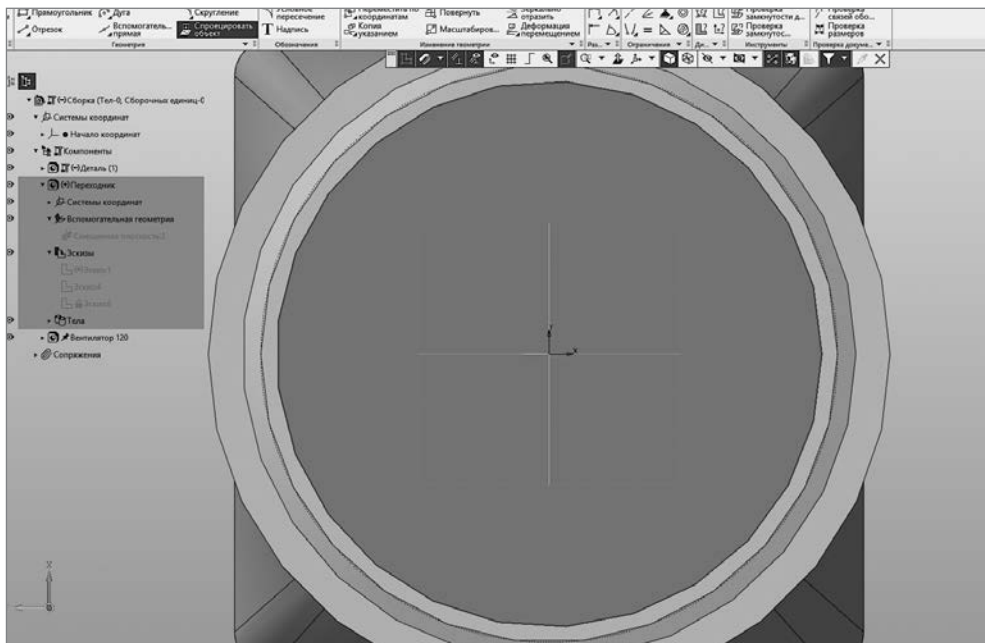


Теперь необходимо получить внутреннюю полость.

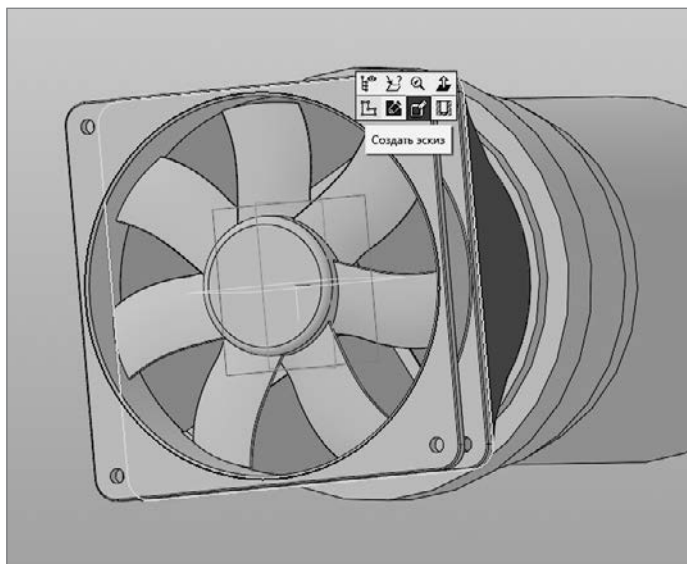
Создайте новый эскиз на верхней грани элемента по сечениям.



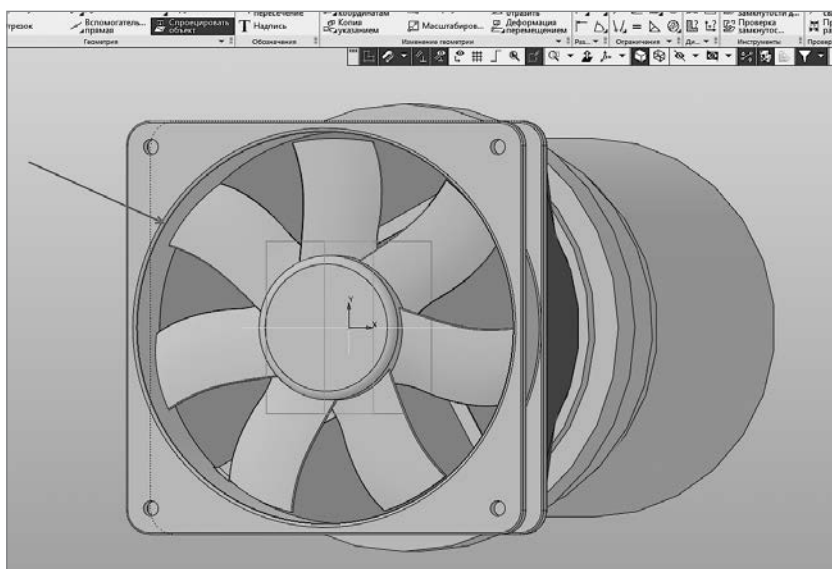
Спроецируйте в него внутреннюю грань трубы.



Создайте эскиз на нижней грани элемента по сечениям.

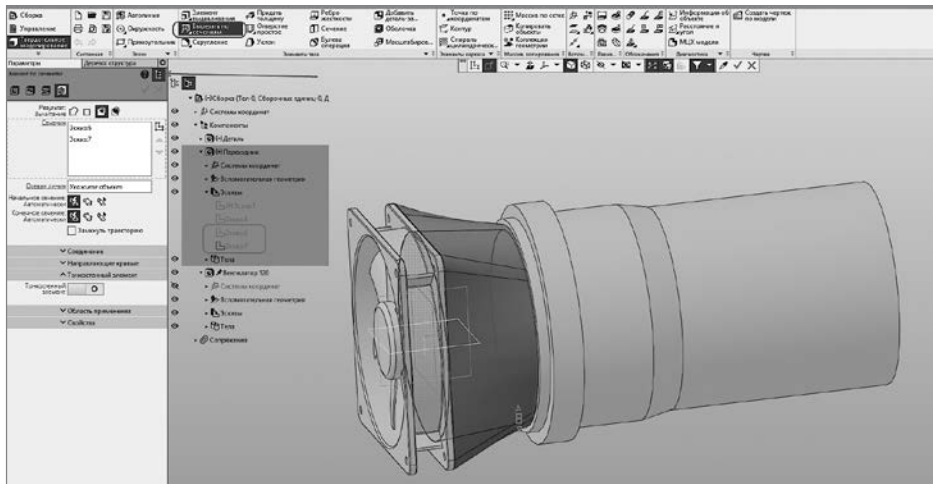


Спроецируйте в него внутреннюю грань вентилятора.



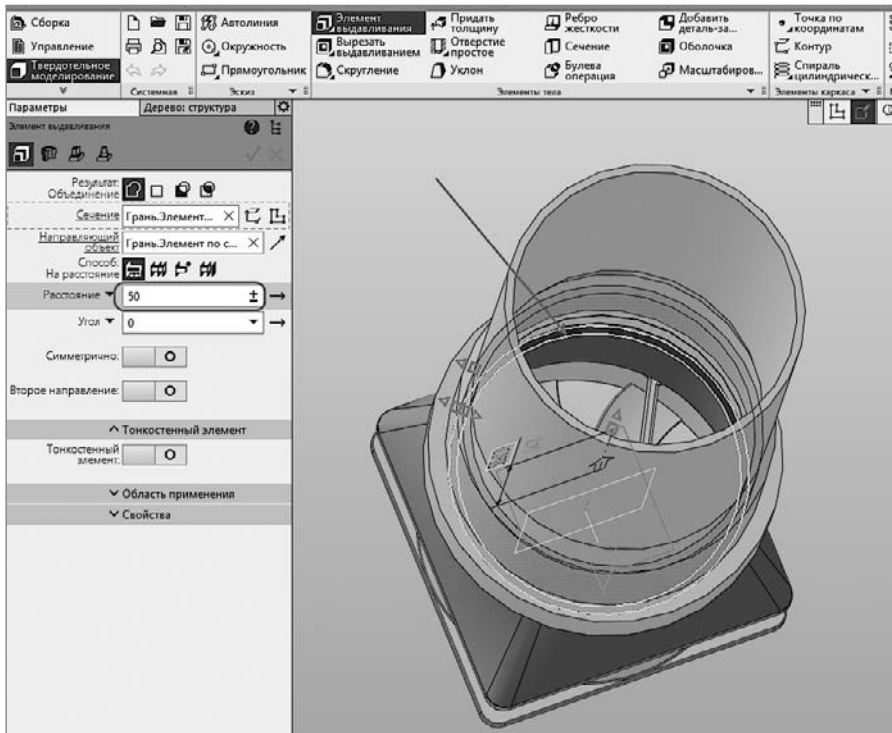
Запустите команду **Вырезать по сечениям**.

Укажите два последних созданных эскиза.

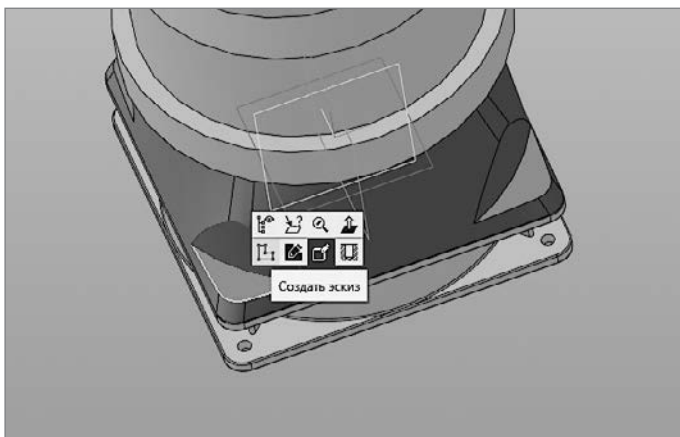


Теперь у переходника есть внутренняя полость.

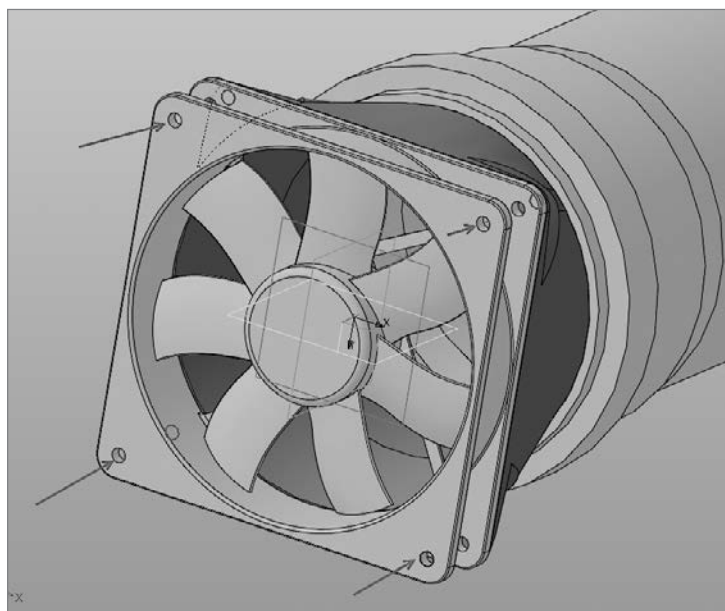
Для сопряжения с трубой необходимо продлить переходник. Для этого новый эскиз нам не потребуется. Запустите команду **Элемент выдавливания**, укажите верхнюю грань и расстояние 50.



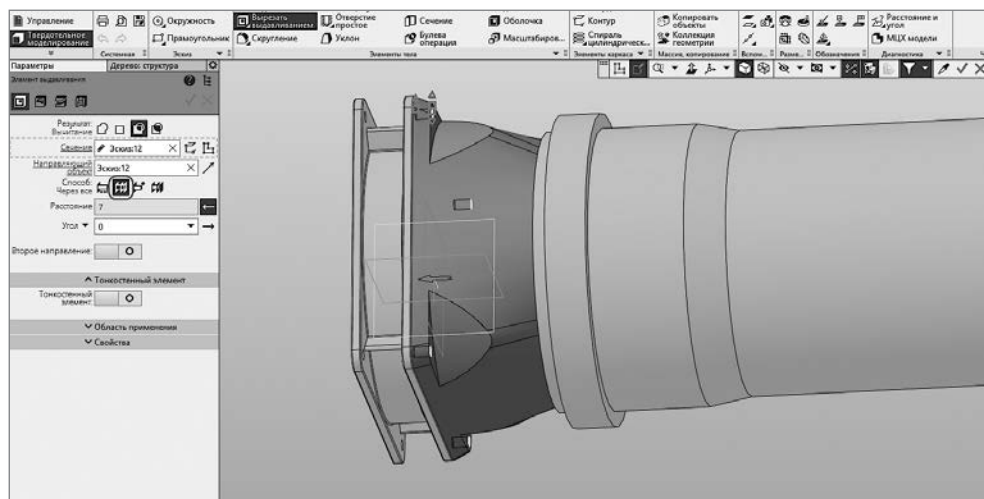
Создайте на одной из полученных площадок эскиз.



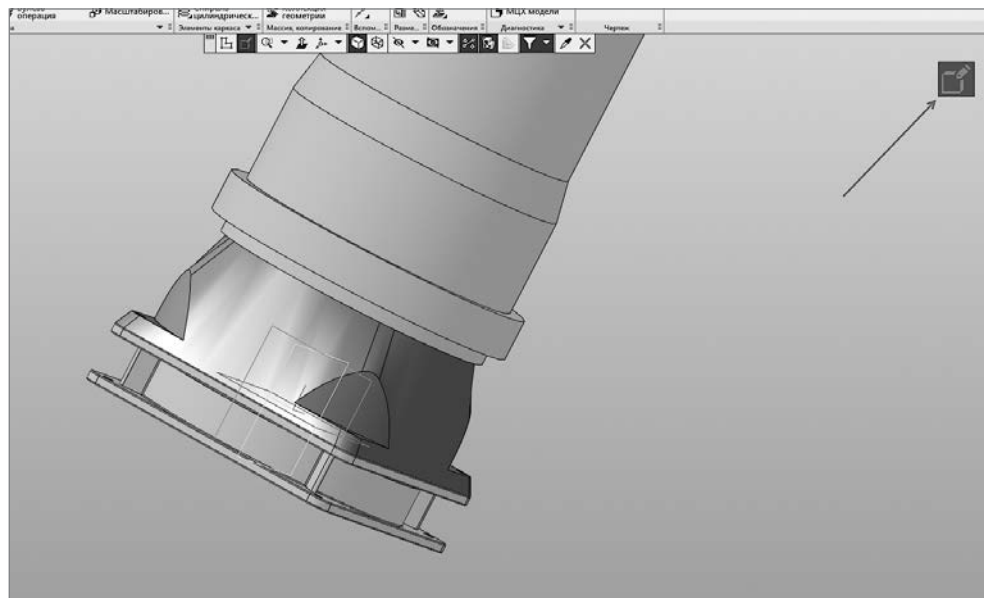
Спроецируйте в эскиз все четыре отверстия вентилятора.



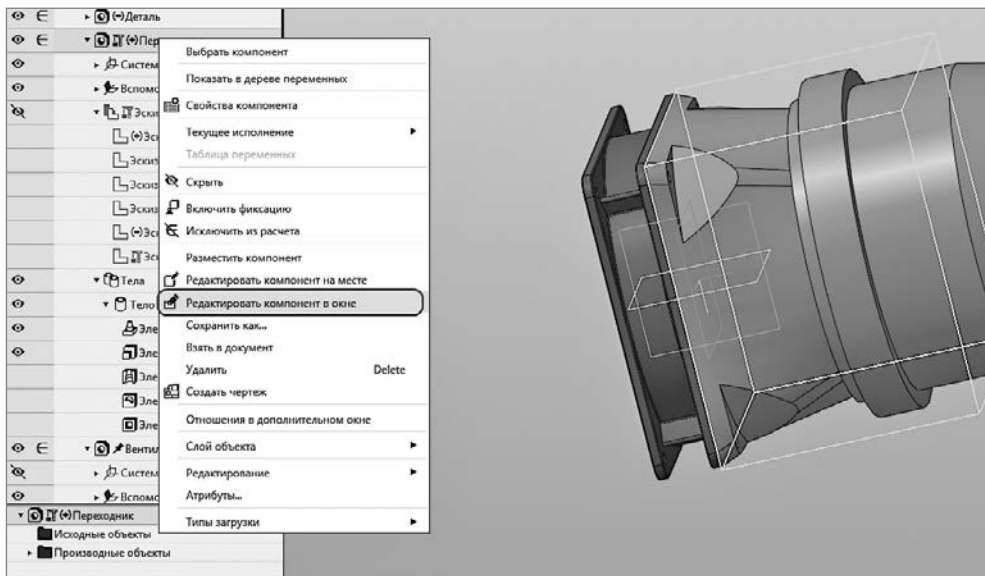
Запустите операцию Вырезать выдавливанием. Установите способ Через все.



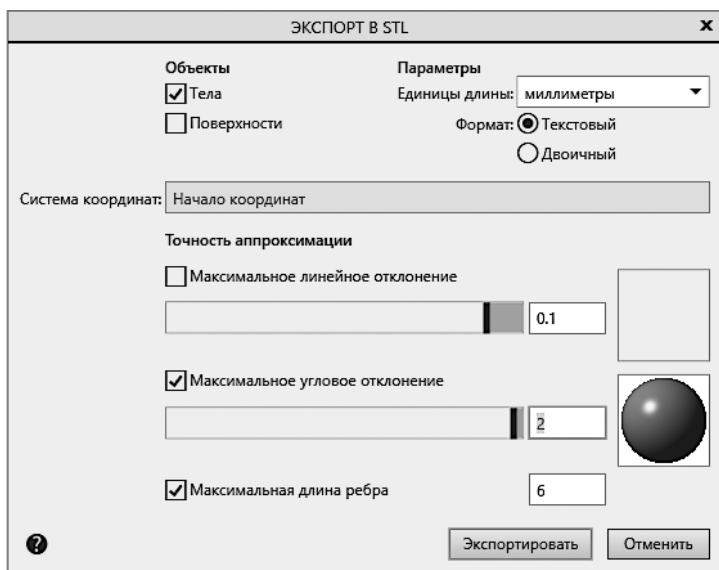
Выйдите из режима Контекстное редактирование. Сохраните изменения.



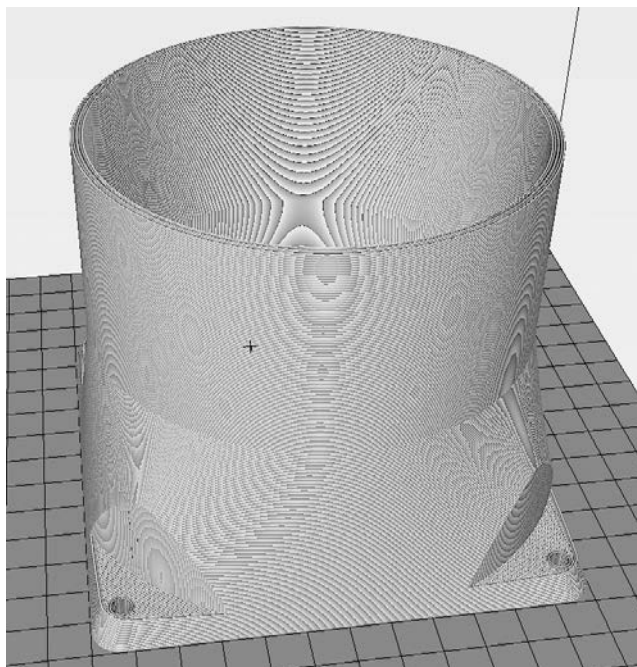
Откройте деталь в новом окне.



Сохраните ее в Stl со следующими параметрами (см. рисунок).



Печатать можно без поддержек.

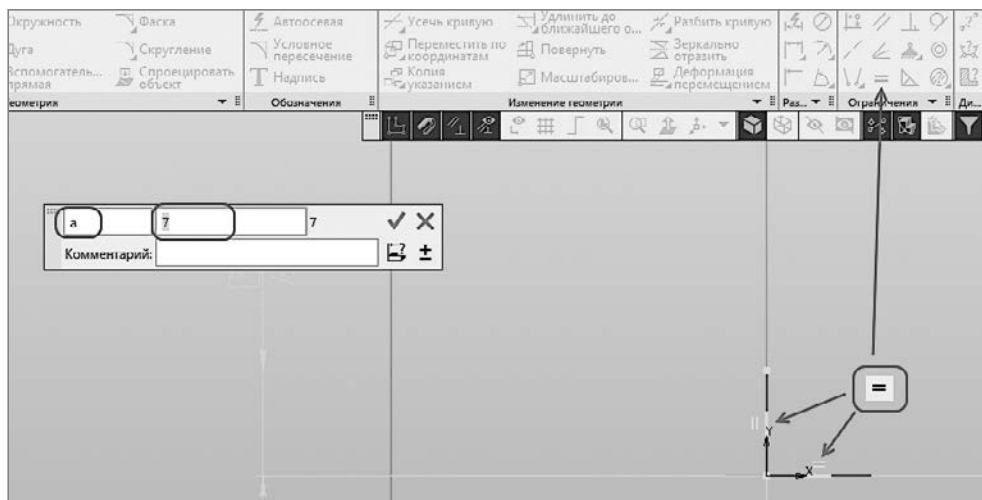


УРОК 6. СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ С ПОМОЩЬЮ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МАССИВА

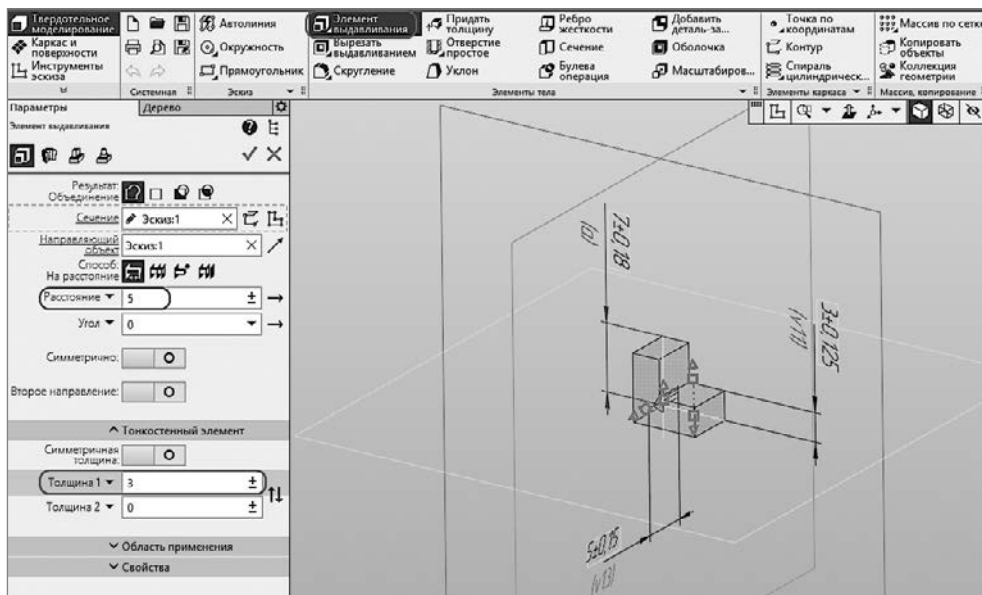
В этом уроке мы научимся делать модель с помощью параметрического массива с заданием шага изменения значений переменной.

Создайте новую деталь. В плоскости XU постройте новый эскиз.

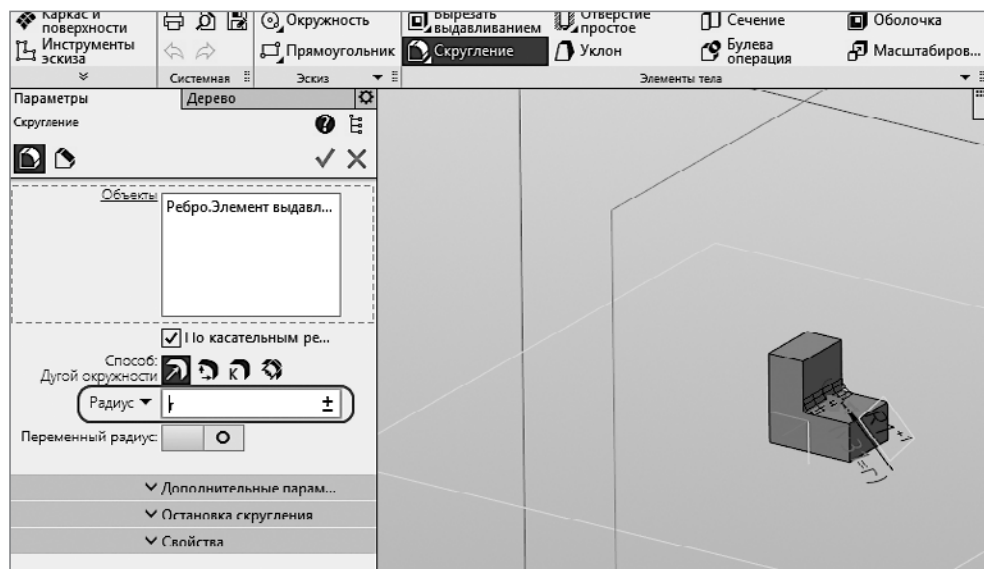
Проведите из начала координат вертикальный и горизонтальный отрезки. Задайте равенство длин и установите длину отрезка 7 мм и переменную « a ».



Запустите команду **Элемент выдавливания** и установите толщину стенки 3 мм, а расстояние — 5 мм.

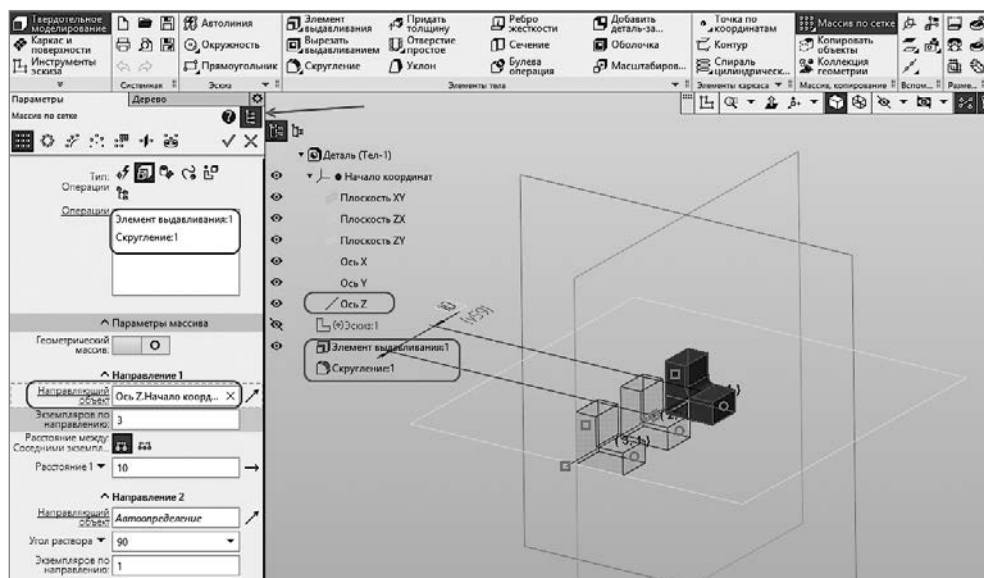


Постройте скругление, в поле Радиус введите переменную «r».

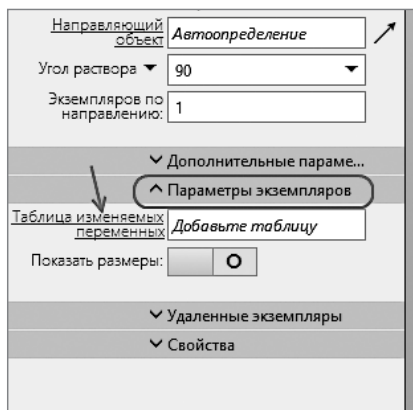


Запустите команду Массив по сетке. Укажите в дереве элемент выдавливания и скругление.

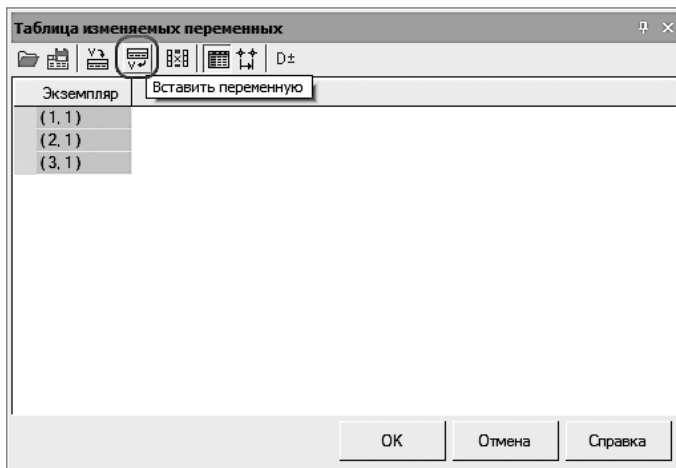
В качестве направляющего объекта выберите Ось Z.



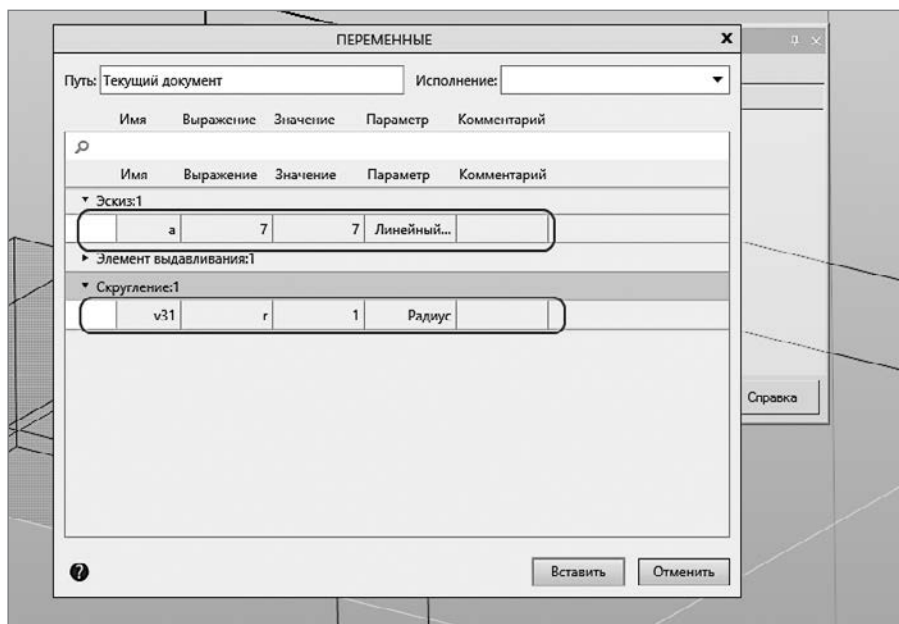
Раскройте вкладку Параметры экземпляров. Запустите команду Таблица изменяемых переменных.



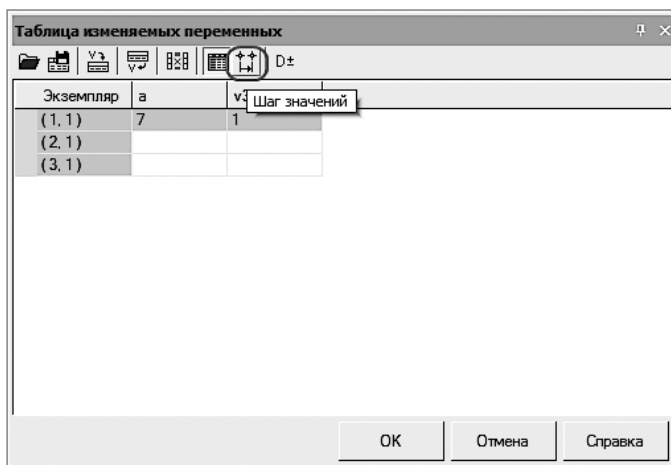
В открывшемся окне Таблица изменяемых переменных нажмите кнопку Вставить переменные.



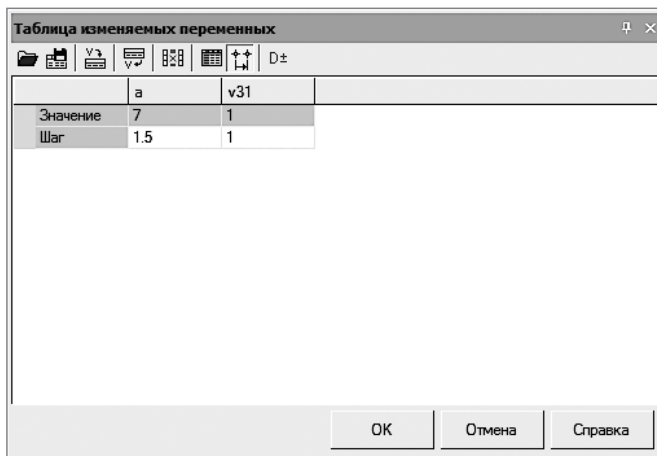
Укажите созданные вами переменные длины и скругления.



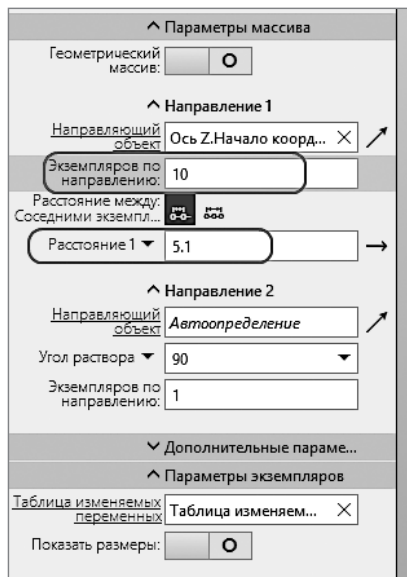
Переключите режим задания переменных на шаг значений.



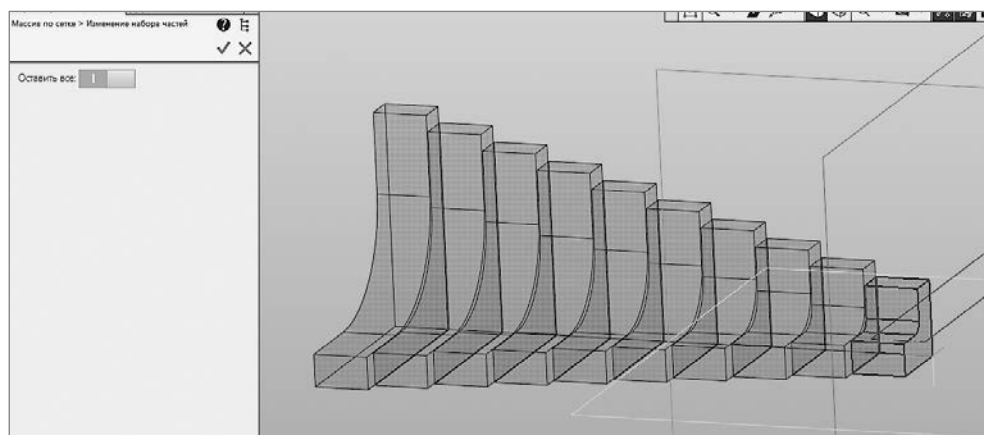
Задайте для длины шаг 1,5 мм, а для скругления — 1 мм.



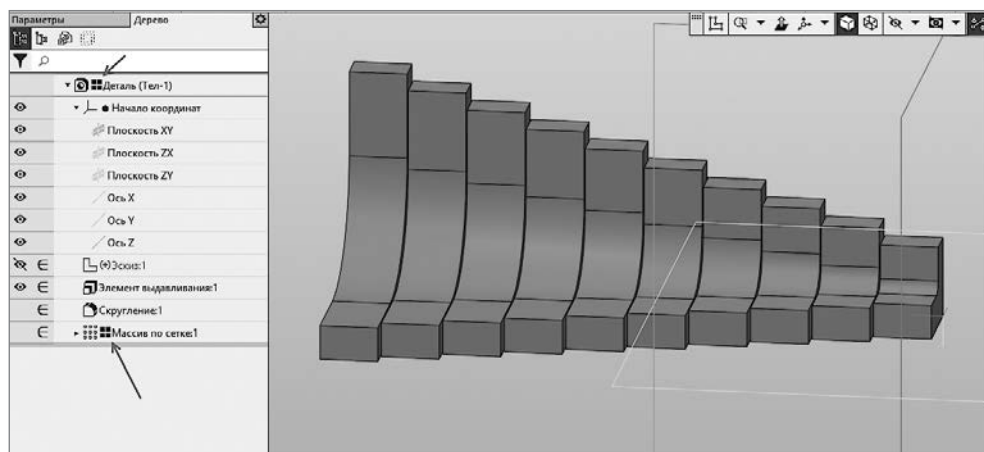
Создайте таблицу и вернитесь к редактированию массива. Задайте шаг 5,1 мм и количество элементов 10.



Создайте массив. Набор частей менять не нужно, переключатель **Оставить все** оставьте включенным.

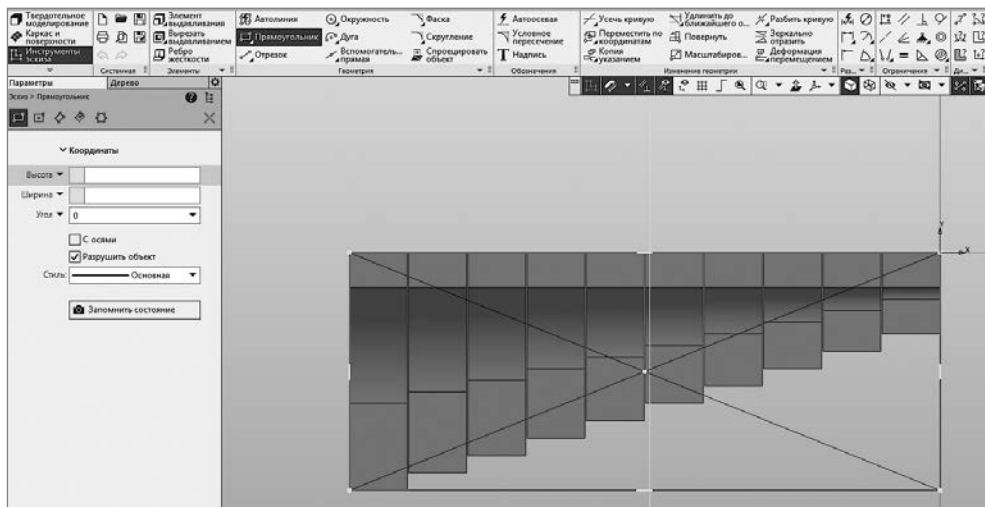


У нас получился набор разных тел, что видно по разбитому на части квадрату рядом с массивом и рядом с корневым элементом дерева.

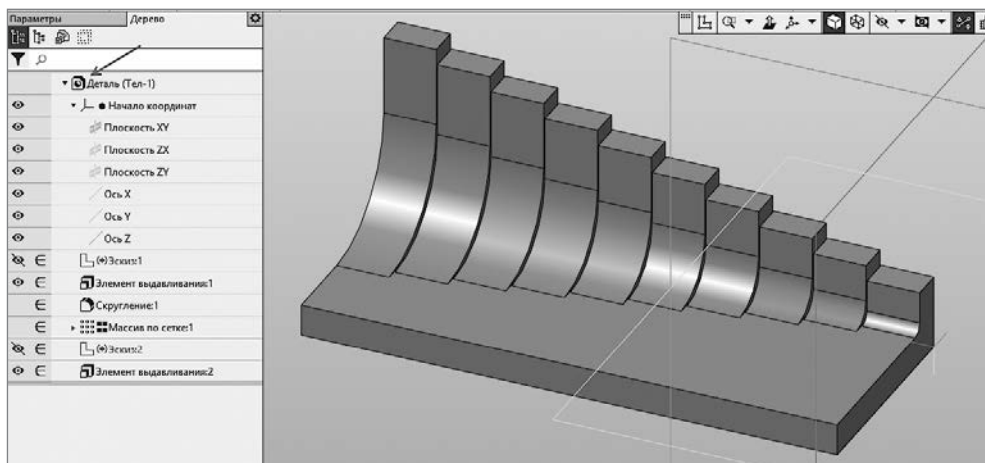


Если тело, состоящее из частей, неудобно для печати, их можно объединить в одно. Создайте эскиз в плоскости *ZX*.

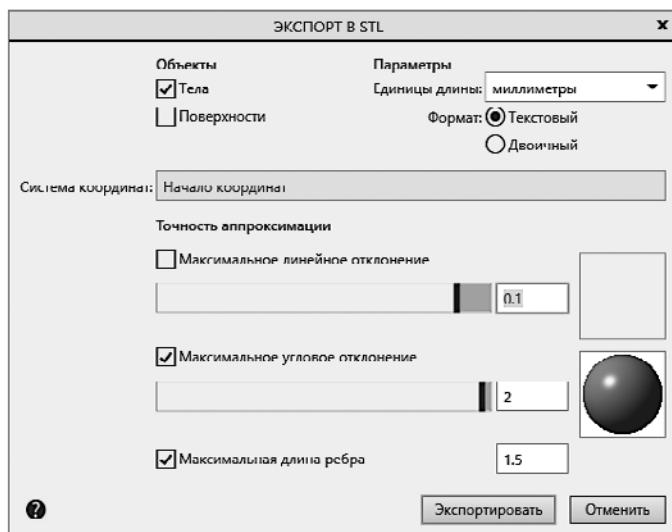
Проведите прямоугольник между левой нижней точкой массива и правой верхней.



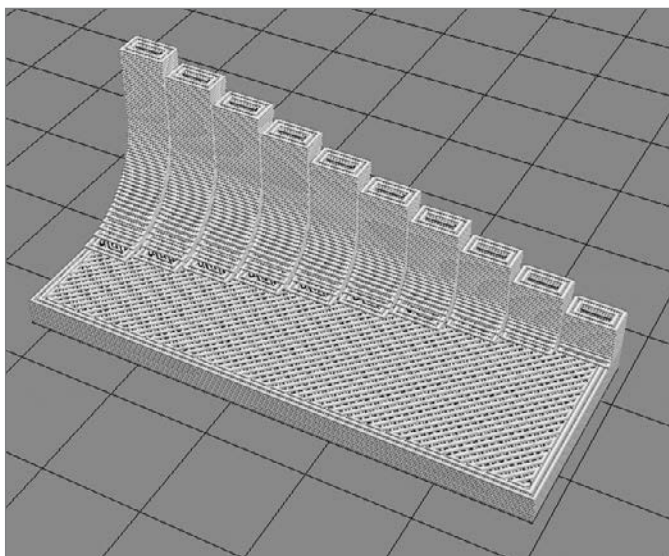
Постройте операцию выдавливания на 3 мм. Посмотрите, получилось ли объединить части тела в одно. Выйдите из операции и переключите вкладку на дерево. На корневом элементе исчез символ тела из частей, а значит, тело стало единым.



Сохраните в Stl с использованием следующих настроек.



Поддержки при печати не нужны.

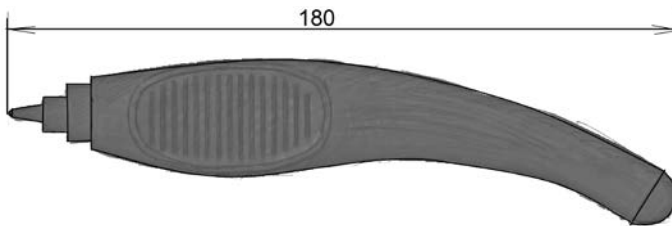


УРОК 7. ЭРГОНОМИЧНЫЙ ФЛОМАСТЕР

В этом уроке мы узнаем, как построить эргономичный фломастер. В процессе мы будем использовать такие функции, как поверхность по сети кривых, моделирование по картинке, усечение кривых с помощью секущего отрезка. Также установим сопряжения поверхностей и проверим гладкость модели с помощью режима проверки гладкости.

По аналогии с фломастером можно построить, например, 3D-ручку. Для этого необходимо будет только немного увеличить размеры, чтобы в ней могли поместиться механизмы.

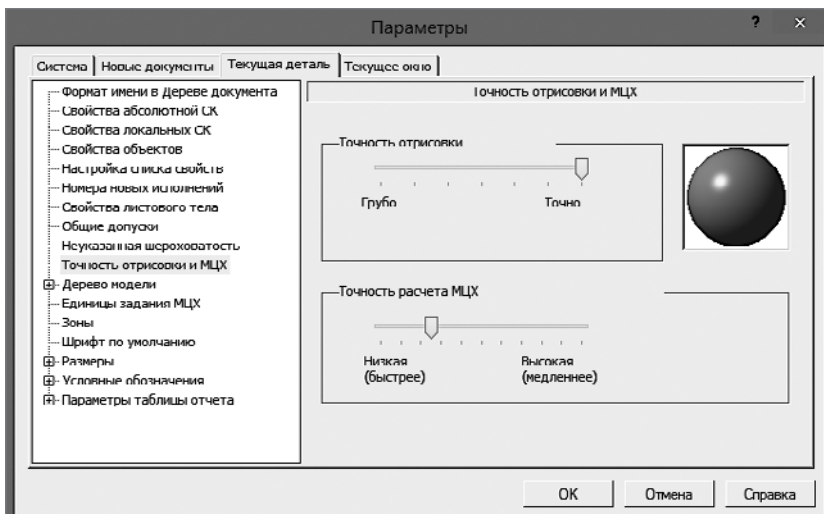
За основу возьмем следующий дизайн-проект.



Чтобы проверить, насколько удобным будет фломастер с таким дизайном, необходим прототип. Создадим модель для печати.

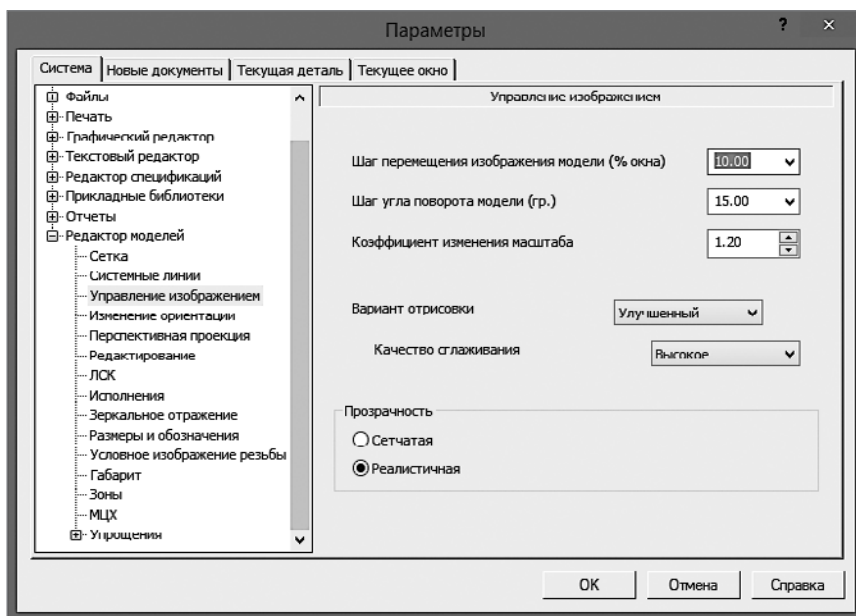
Создайте деталь. Поскольку мы будем строить ее с помощью поверхностного моделирования и нам потребуется визуальная оценка качества объекта, то для начала необходимо настроить качество отображения.

В меню найдите **Настройка — Параметры — Текущая деталь — Точность отрисовки и МЦХ**. Выставьте ползунок Точность отрисовки в крайнее правое положение.



Далее откройте вкладку Система — Редактор моделей — Управление изображением. Если позволяют возможности видеокарты, то выбираем улучшенный вариант отрисовки. В списке Качество сглаживания выберите Высокое.

Нажмите Ок.

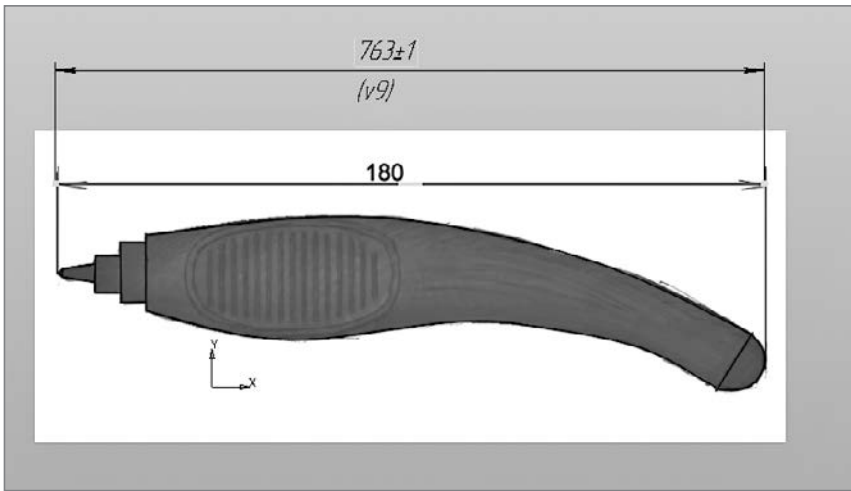


Создайте эскиз в плоскости XU и вставьте картинку в КОМПАС (меню Вставка — Рисунок).

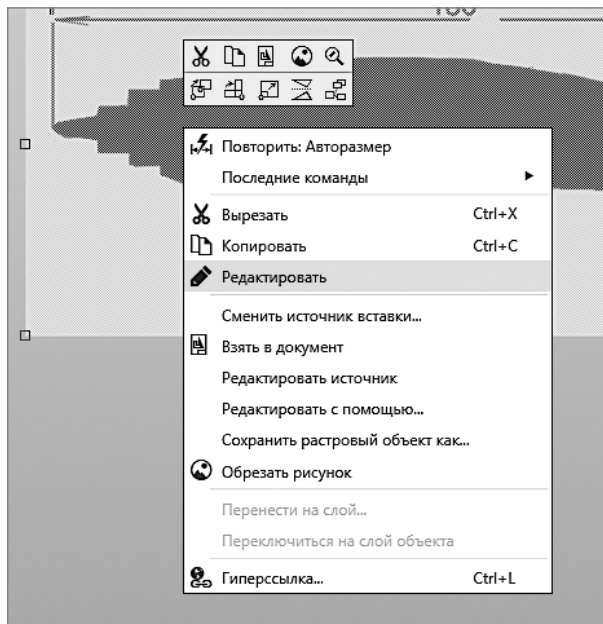
Вы можете сфотографировать иллюстрацию дизайн-проекта из книги и вставить ее в КОМПАС, в этом случае вам нужно действовать согласно разделу «Работа с изображением», который начинается сразу после этого абзаца. Если вам не удобно работать с фотографией, то вы можете перейти сразу к разделу «Построение», которое находится чуть дальше по тексту — в разделе даны эскизы с размерами, вам нужно будет только повторить в программе построения с теми же размерами. Порядок действий дан для обоих вариантов действий — вы можете попробовать и тот и другой, результат будет отличаться незначительно.

Работа с изображением

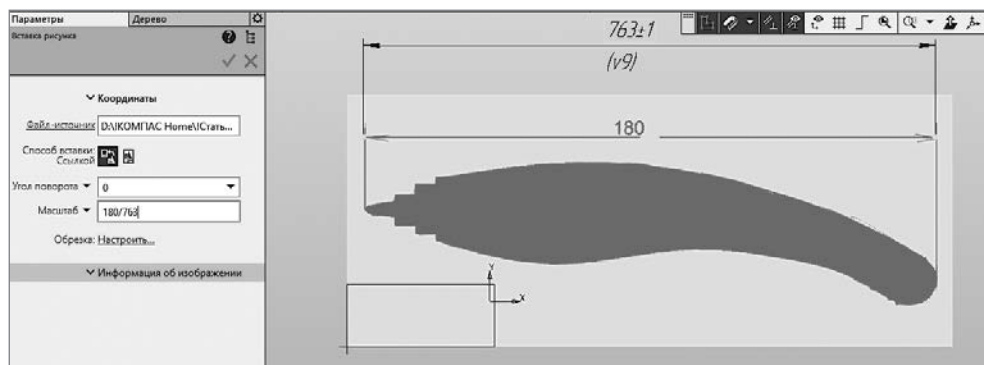
Постройте отрезок, равный по длине размерной линии, показанной на изображении, и установите его размер.



Возьмите на редактирование картинку.

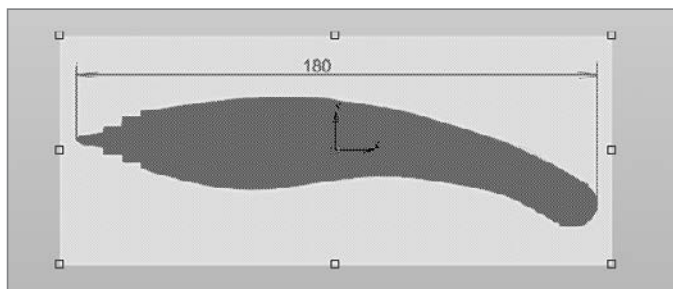


В поле Масштаб введите значение $180/763$.



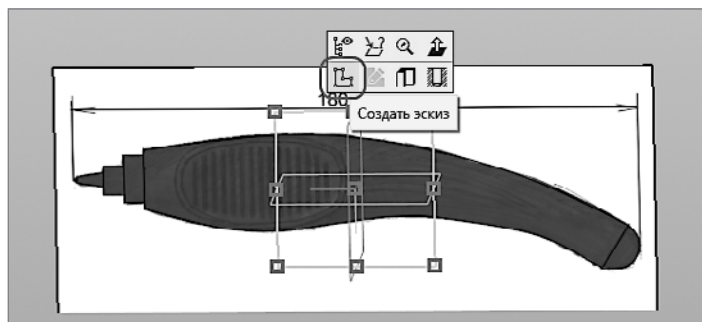
Необходимо будет ввести 180 , поделенное на получившийся у вас размер, в данном случае 763 , затем нажать клавишу **Enter**; программа сама вычислит значение масштаба.

Перенесите изображение в начало координат. Отрезок с размером можно удалить. Выйдите из режима эскиза.



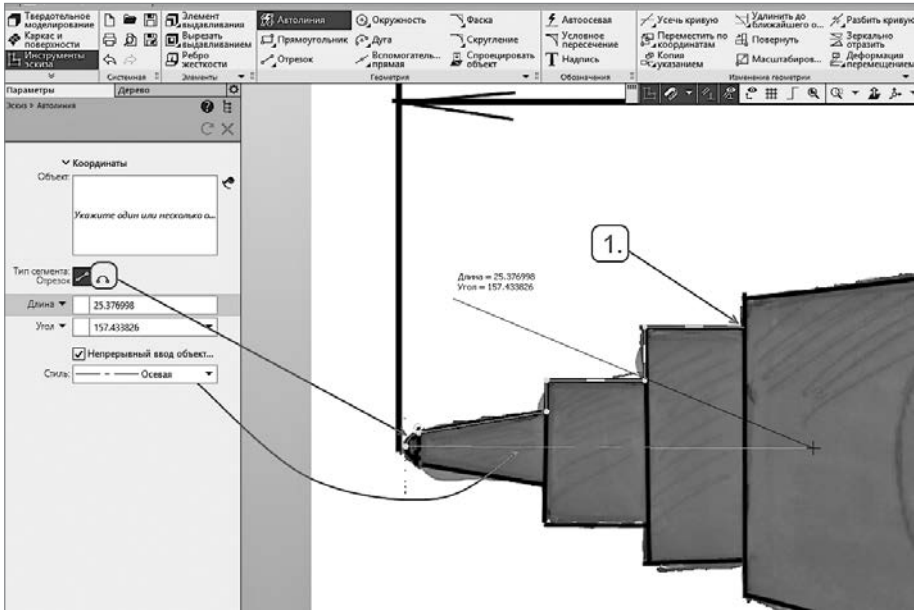
Построение

Создайте в той же плоскости новый эскиз.

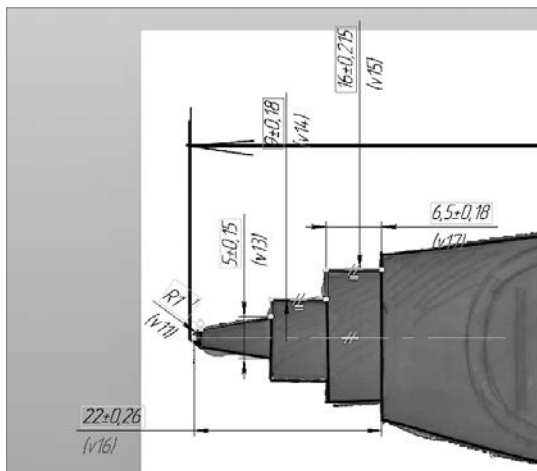


Используя команду **Автолиния**, обведите носовую часть — а именно ее верхнюю половину (как под элемент вращения). Для удобства отключите округление на быстрой панели или нажмите кнопку F7.

Построение проще начать с правого горизонтального отрезка. Когда в процессе вы дойдете до шарика, то нужно будет переключить тип сегмента на дугу, затем переключить обратно на отрезок и сменить стиль линии на **Осевая**.

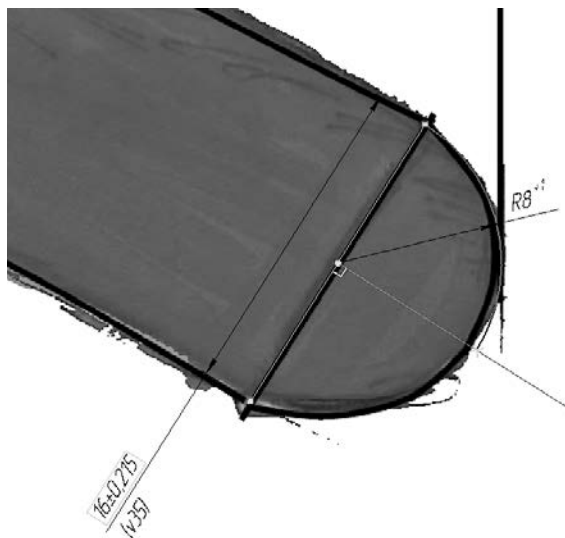


Запустите команду **Авторазмер** и проставьте размеры, указанные на рисунке. Обратите внимание, что горизонтальные отрезки равны. Выйдите из режима эскиза.

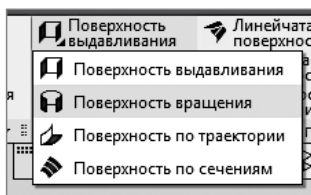


Создайте еще один эскиз в плоскости XU .

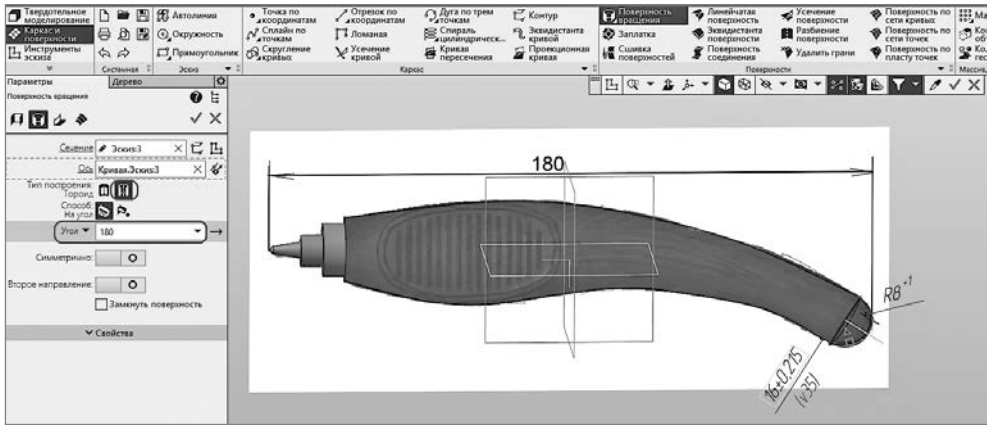
Постройте хвостовую часть. Для этого воспользуйтесь командами **Отрезок** и **Дуга**. Построение начинайте с отрезка 16 мм, затем постройте из середины отрезка перпендикулярную к нему осевую (можно использовать ограничение **Перпендикулярность**) и проведите дугу. Не забудьте изменить стиль осевой линии и отрезка 16 мм (стиль линии **Тонкая**). Проставьте размеры. Выйдите из режима эскиза.



Переключитесь на набор **Каркас и поверхности**. Запустите команду **Поверхность вращения**.



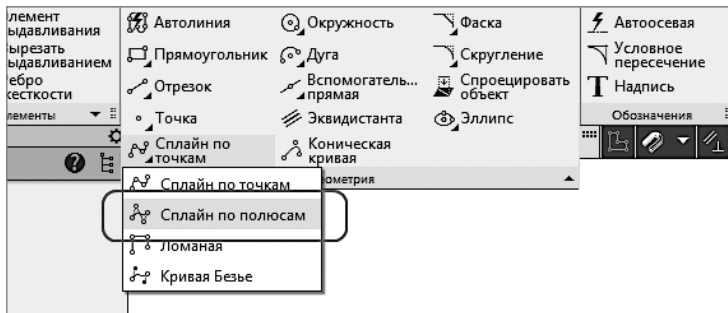
Укажите первый эскиз. Установите тип построения **Тороид**, задайте угол **180** градусов. Нажмите на колесо мыши и укажите второй эскиз. Снова нажмите колесо мыши.



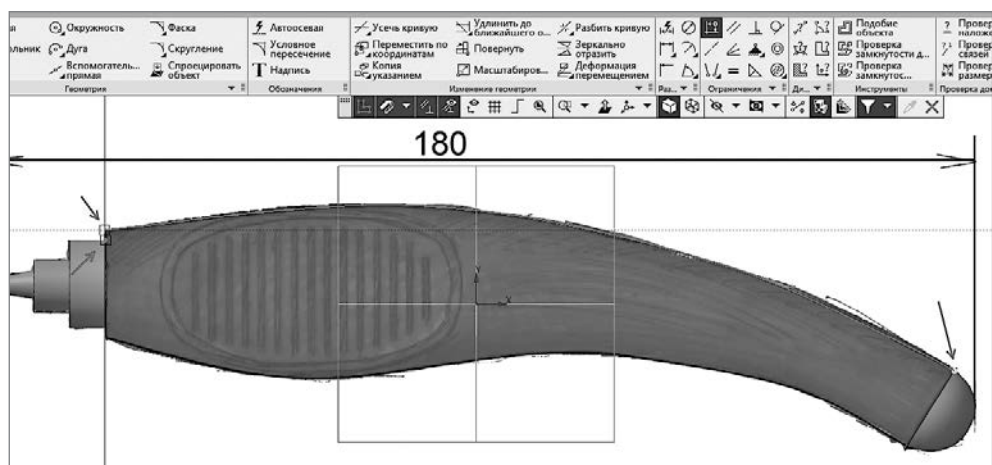
Создайте еще один эскиз в плоскости XY. Для этого запустите команду Слайн по точкам.



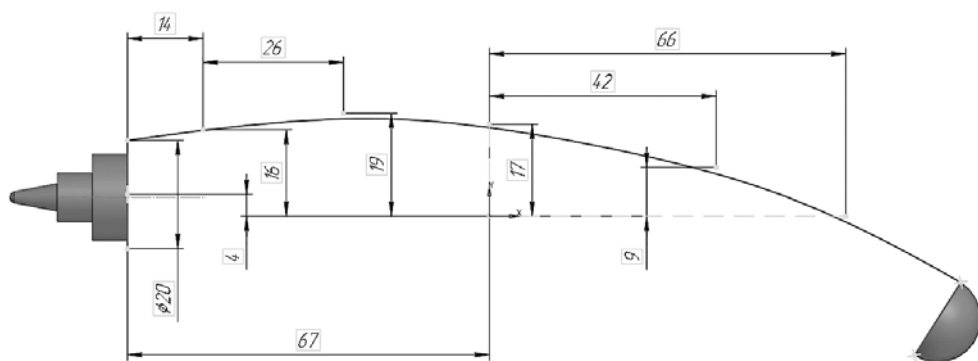
Если вы строите эскиз по размерам, а не по картинке, то используйте команду Слайн по полюсам.



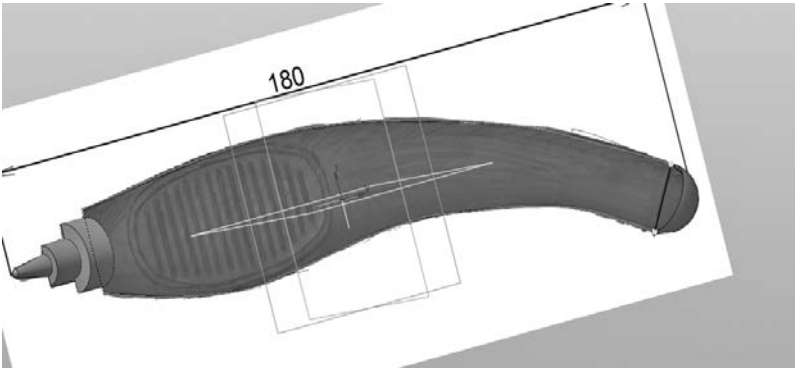
Постройте сплайн так, чтобы он максимально совпадал с изображением верхнего ребра маркера на подложке. Обратите внимание, что последняя точка сплайна должна лежать на крайней точке задней поверхности вращения. Первую точку сплайна нужно выровнять по крайней точке передней поверхности вращения.



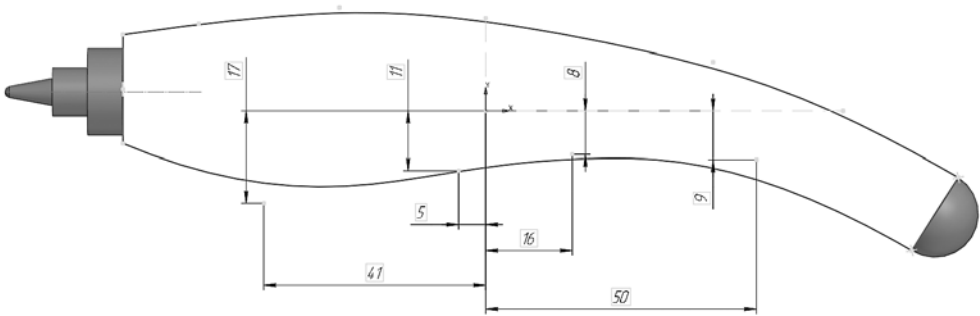
Вариант с размерами. Простановку удобнее начинать с меньших размеров, чтобы сплайн не перегибался. Если размер для вершины отсутствует, значит, точка лежит на одной горизонтали или вертикали с другой вершиной или началом координат.



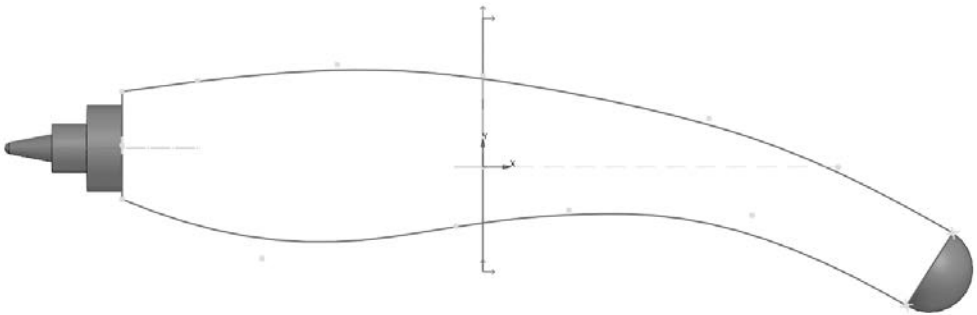
Аналогично постройте второй сплайн по нижнему ребру.



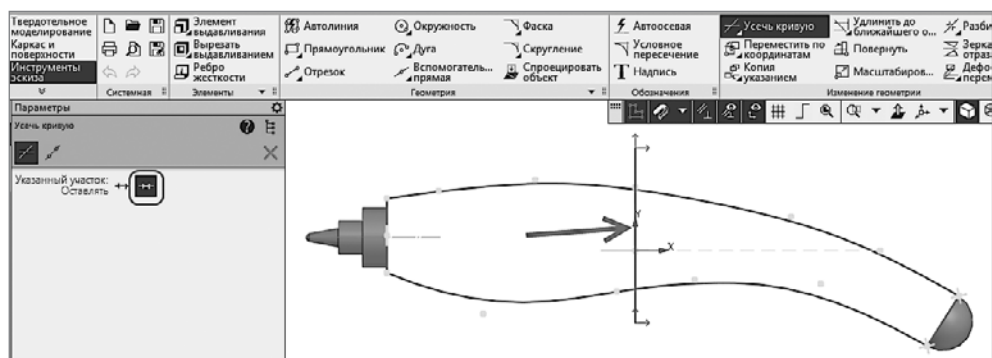
Вариант с размерами приведен на рисунке.



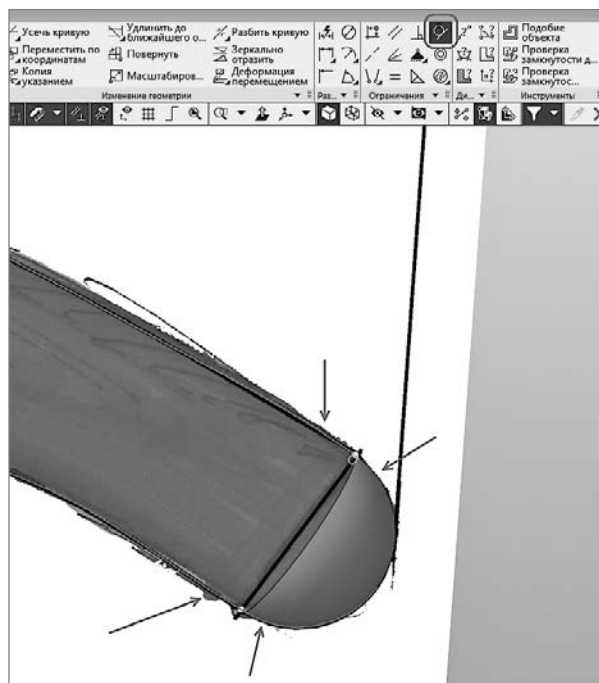
Постройте отрезок между начальными точками сплайнов, а затем вертикальный отрезок через начало координат.



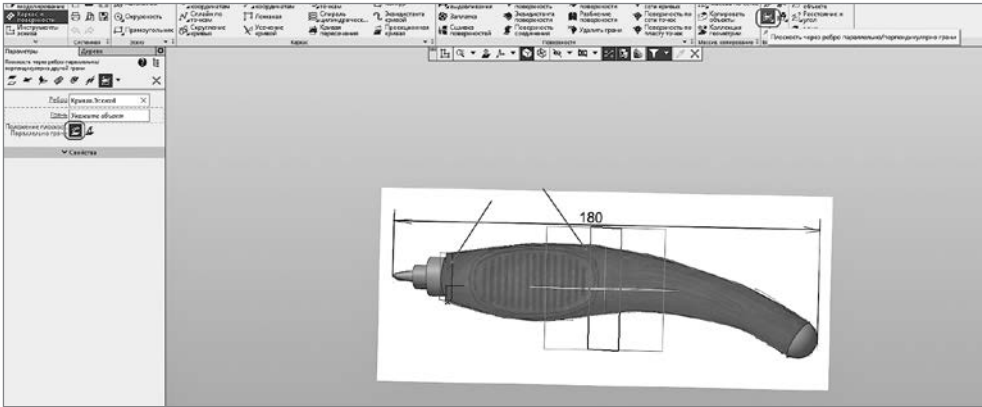
Запустите команду Усечь кривую с панели Редактирование. Выберите режим Оставить указанный участок и укажите созданный вертикальный отрезок.



Запустите команду Касание, укажите сплайны и нижнее ребро поверхности вращения. При построении по размерам касание не требуется, так как положение сплайна определяется размерами. Выйдите из режима эскиза.

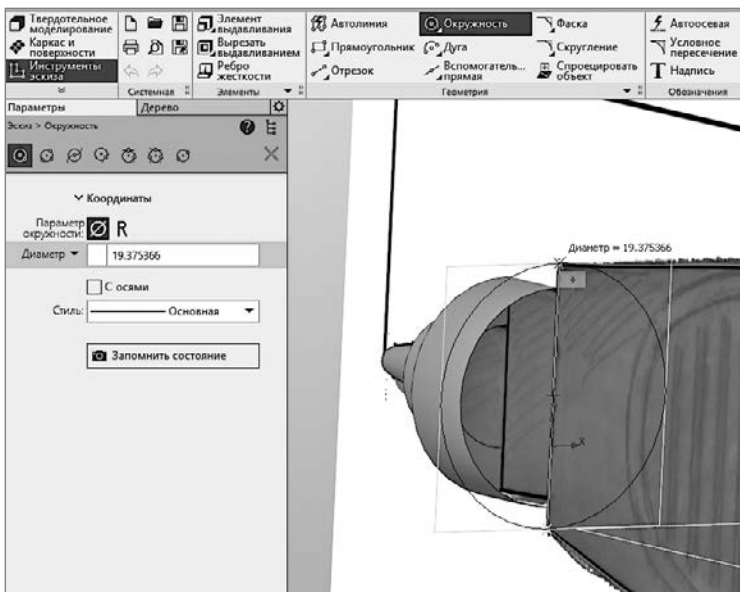


Запустите команду Плоскость через ребро параллельно/перпендикулярно грани. Установите положение плоскости Параллельно. Укажите плоскость ZY и ближайший к носовой части отрезок.

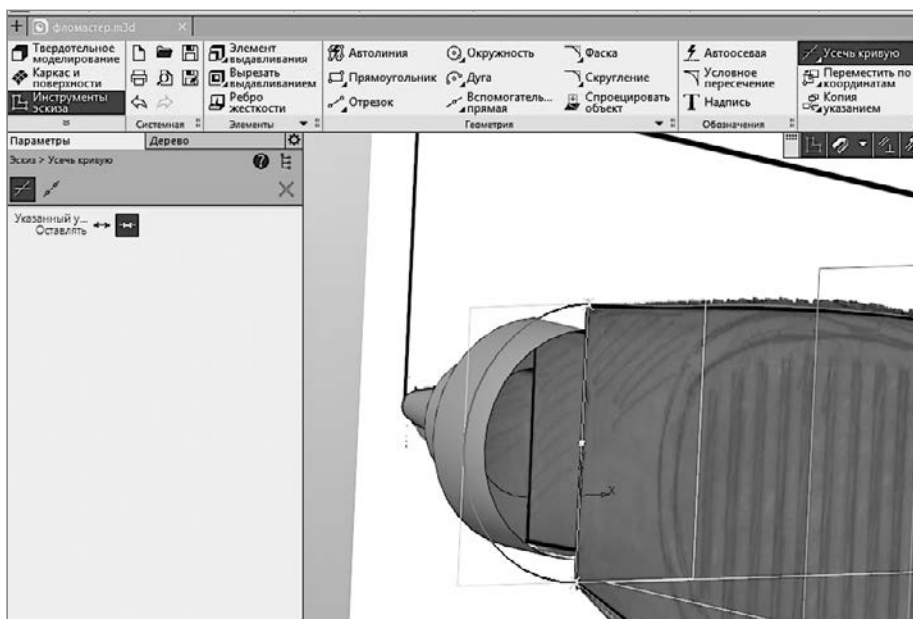


На полученной плоскости постройте эскиз.

Спроецируйте в него отрезок, на котором построена плоскость, затем постройте из середины отрезка окружность. Вторую точку окружности укажите на конце отрезка.

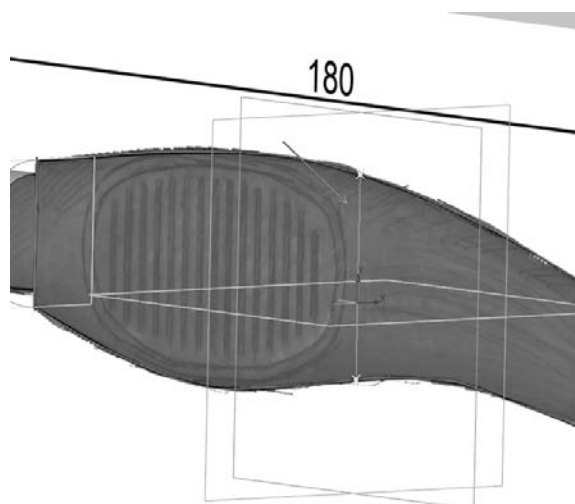


Усеките половину окружности. Выйдите из режима эскиза.

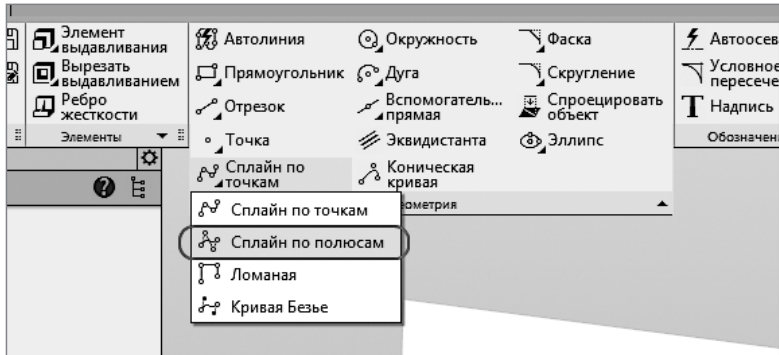


Создайте эскиз в плоскости ZY .

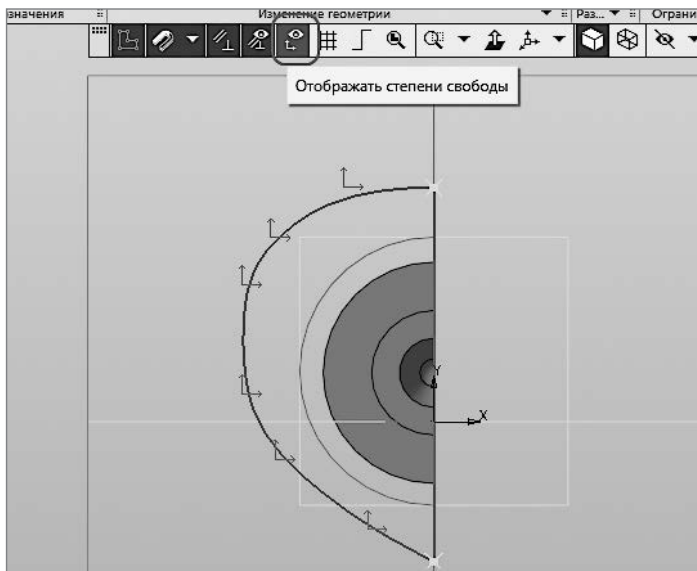
Спроецируйте туда отрезок, на котором построена плоскость.



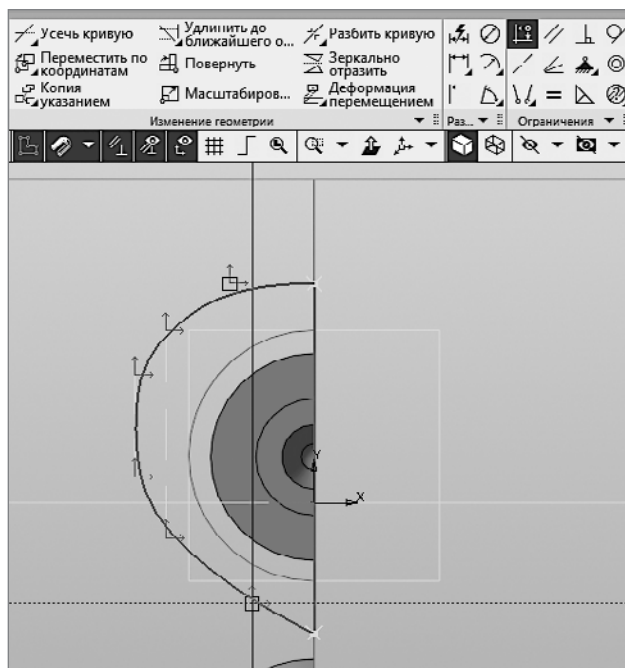
Запустите команду Слайн по полюсам.



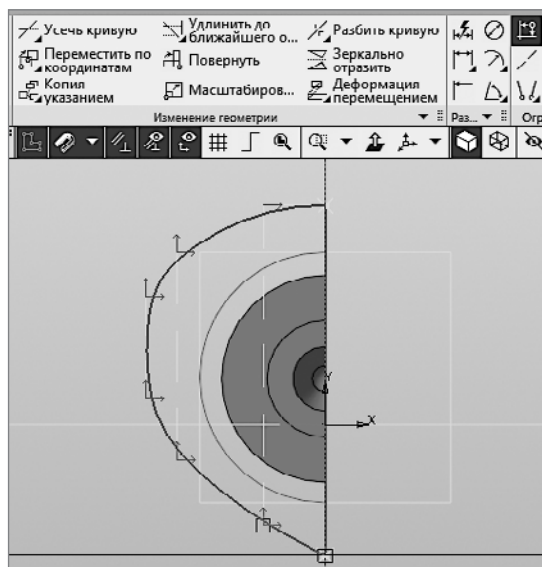
Постройте сплайн из восьми точек: крайние на концах отрезка, остальные – произвольно. Для наглядности включите режим Отображать степени свободы.



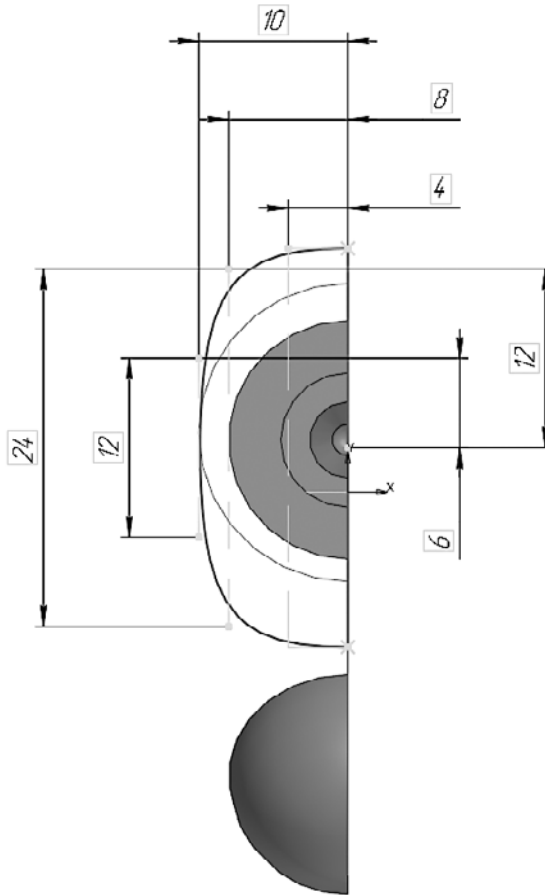
Выверните противоположные точки по вертикали.



Выровняйте по горизонтали первую и вторую точки и последнюю с предпоследней. Это необходимо для того, чтобы получить гладкий стык при зеркалировании поверхности.

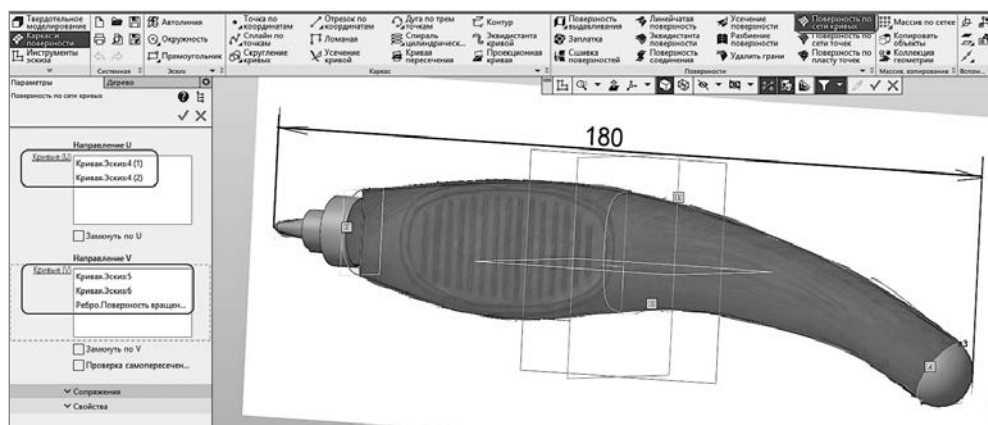


Проставьте указанные на рисунке размеры. Простановку удобнее начинать с меньших значений, чтобы сплайн не перегибался. Не забудьте поставить размеры от середины отрезка до точек, чтобы убрать все степени свободы. Когда все размеры будут расставлены, выйдите из режима эскиза.

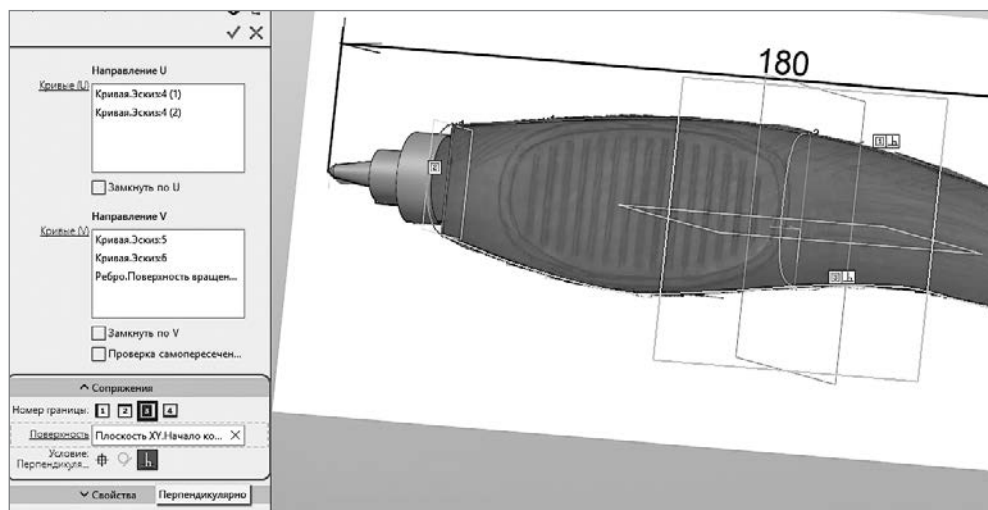


Выберите команду **Поверхность по сети кривых**. Укажите по направлению U сплайны с плоскости XY .

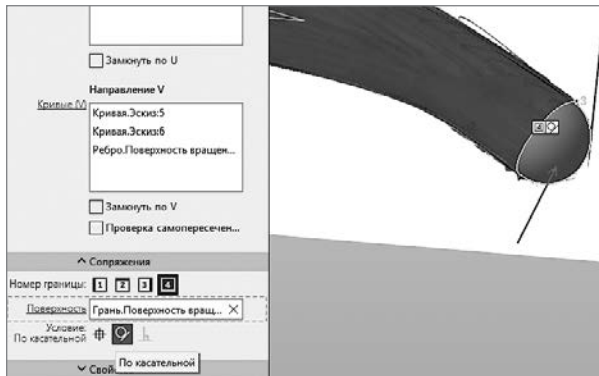
По направлению V укажите сначала два построенных эскиза (от носа к хвосту), а затем ребро поверхности вращения.



Раскройте вкладку **Сопряжения**. Установите для границ 1 и 3 перпендикулярность с плоскостью XU .

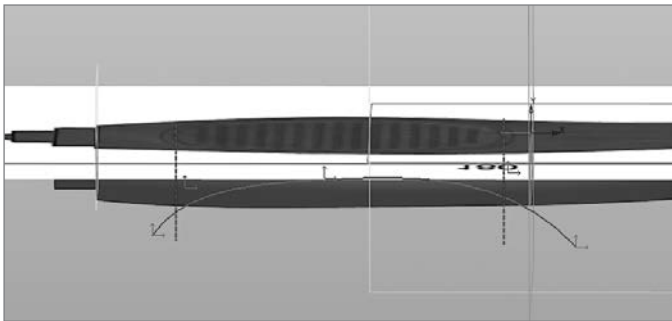


Для границы 4 укажите поверхность вращения и установите условие сопряжения **По касательной**. Если вы строили слайны по размерам, то это сопряжение будет недоступно. Создайте поверхность.

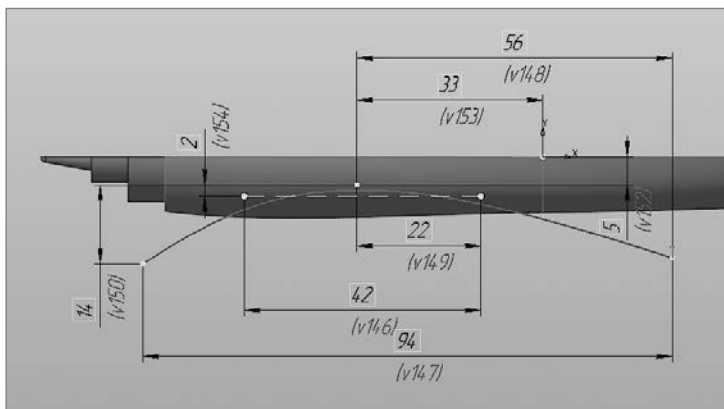


Создайте эскиз в плоскости ZX.

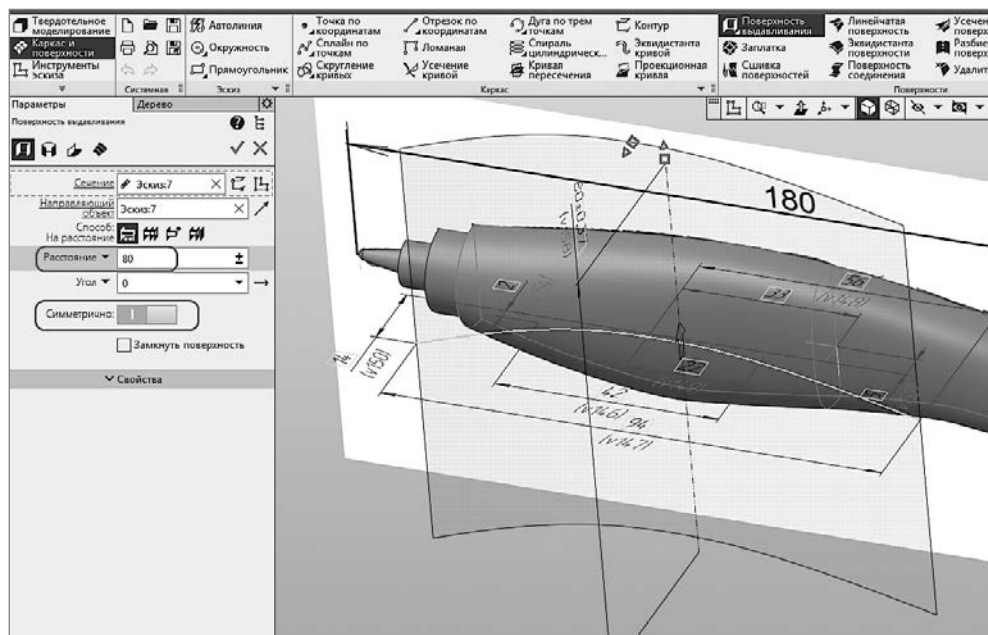
Постройте сплайн по полюсам так, чтобы его пересечение с поверхностью приблизительно совпадало с крайними точками прорези на картинке.



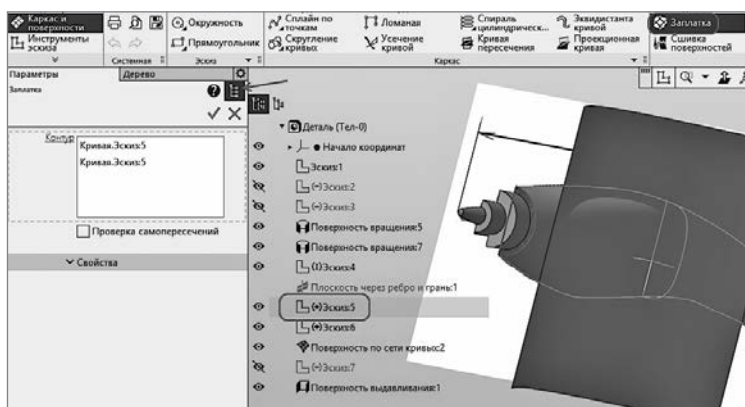
Задайте размеры и выровняйте этот сплайн, стараясь не менять получившихся размеров.



Запустите команду Поверхность выдавливания и постройте ее с включенным переключателем Симметрично на расстоянии 80 мм.

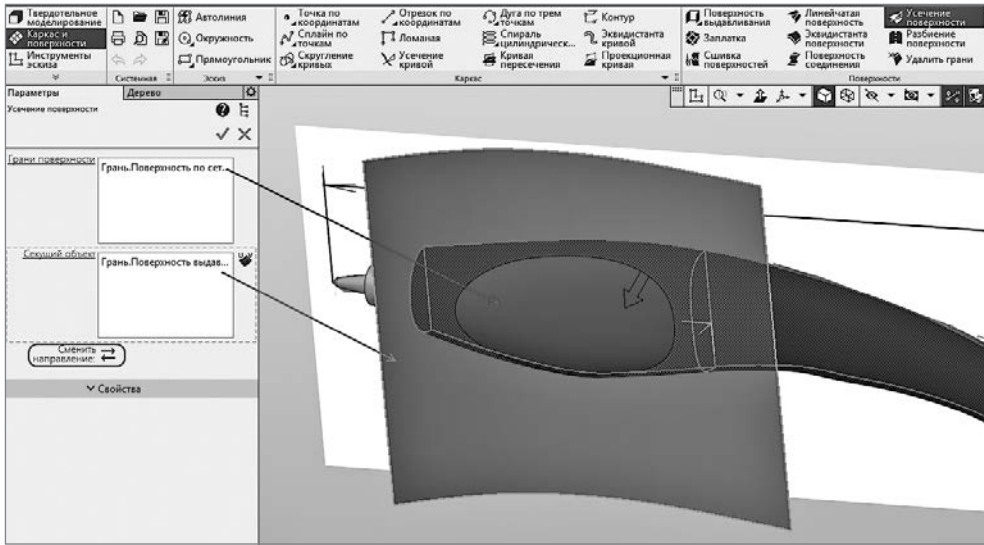


Заполните место между носовой частью и поверхностью по сети кривых. Запустите команду Заплата и укажите в дереве Эскиз:5. Заплата сама подхватит ребра эскиза.

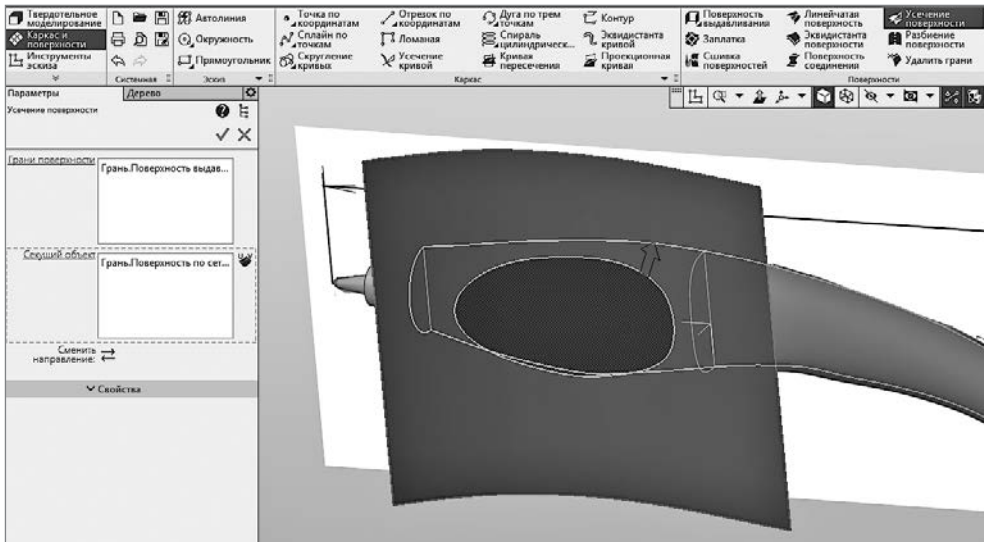


Запустите команду Усечение поверхности и укажите в качестве грани поверхности Поверхность по сети кривых, в качестве секущего объекта — Поверхность

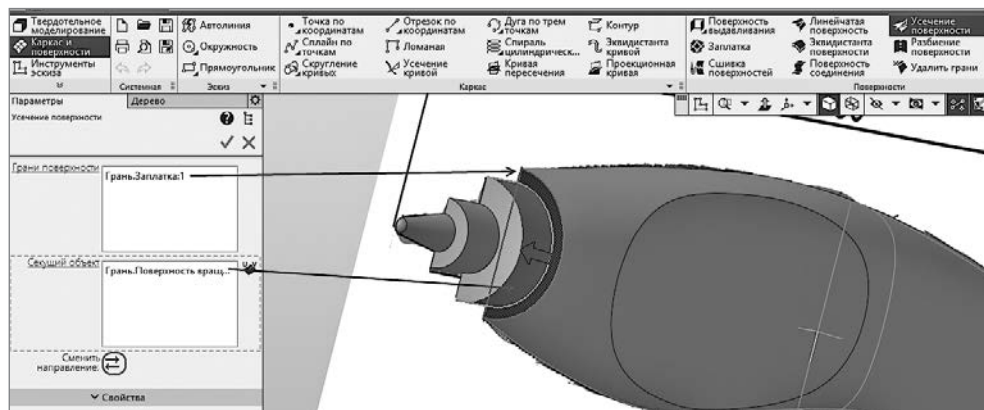
выдавливания. Усеките место под прорезь. При необходимости смените направление. Нажмите колесо мыши.



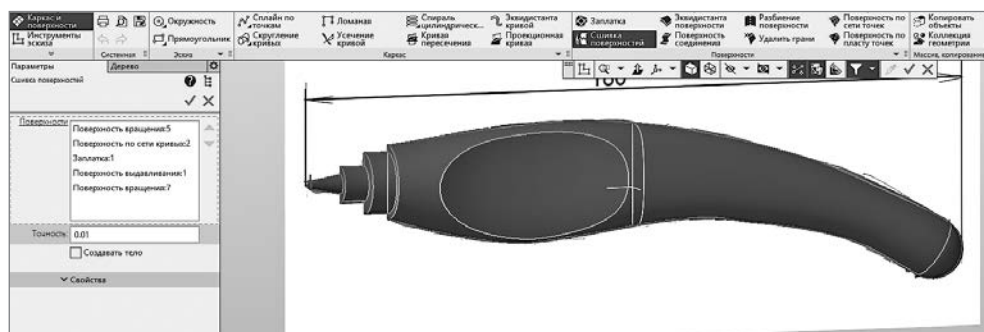
Укажите в качестве грани поверхности Поверхность выдавливания, в качестве секущего объекта — Поверхность по сети кривых. Усекаем все лишнее вокруг прорези. При необходимости смените направление. Нажмите колесо мыши.



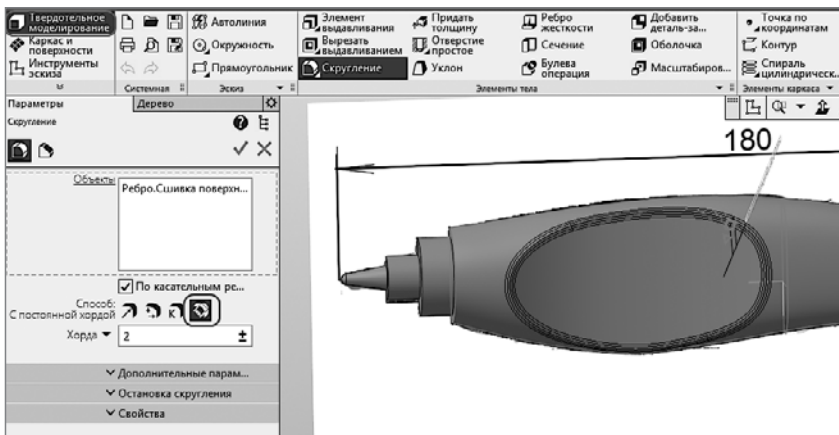
Укажите в качестве грани поверхности Заплатку, в качестве секущего объекта — Поверхность вращения. Усеките внутреннюю часть заплаты. При необходимости смените направление.



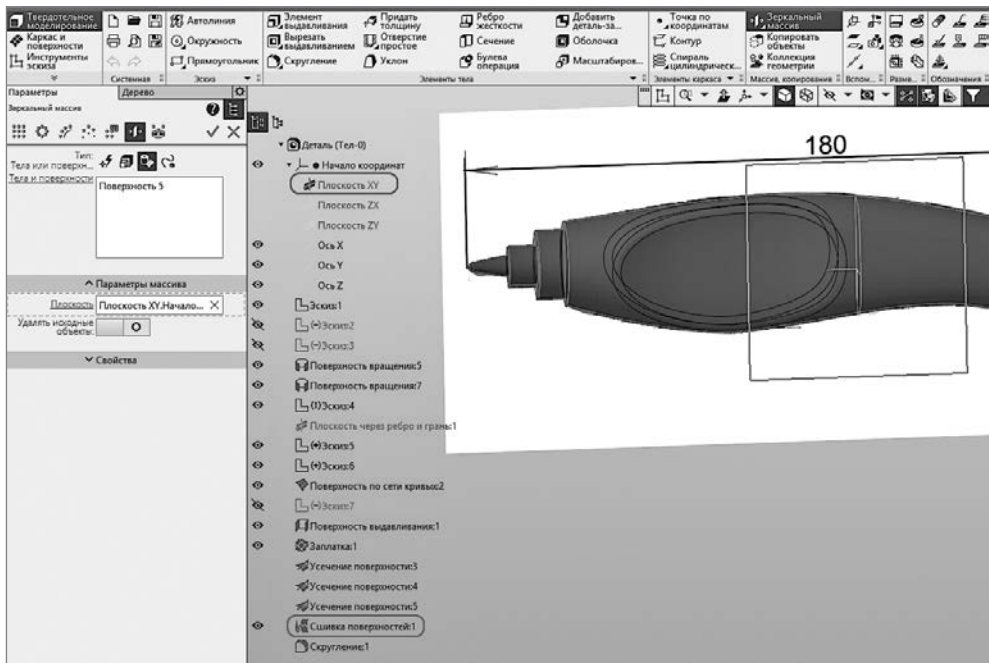
Запустите команду Шивка поверхности и укажите все пять созданных поверхностей. Опция Создавать тело должна быть выключена.



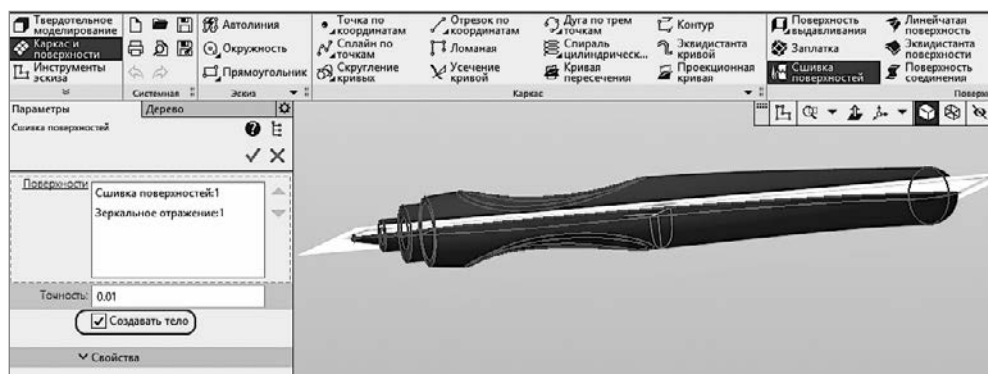
Переключитесь на набор Твёрдотельное моделирование. Запустите команду Скругление, активируйте опцию С постоянной хордой. Установите размер 2 мм и укажите ребро прорези.



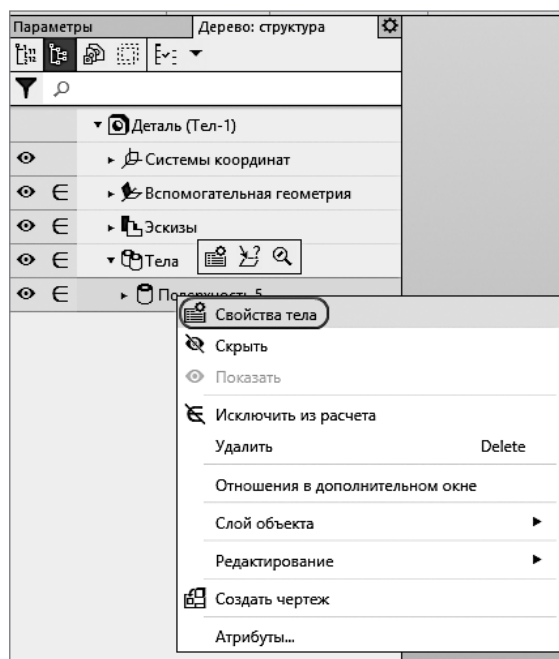
Запустите команду Зеркальный массив. Укажите Сшивку поверхностей и Плоскость XY.



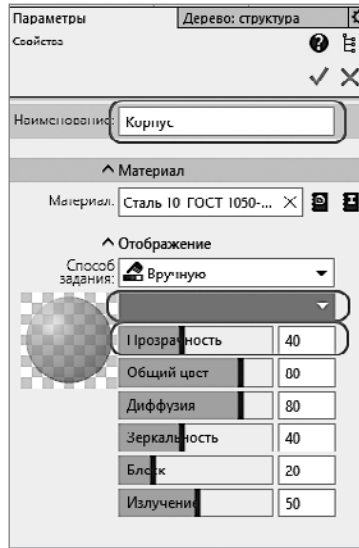
Переключитесь на набор Каркас и поверхности. Запустите команду Сшивка поверхностей и укажите половинки фломастера. Активируйте опцию Создать тело.



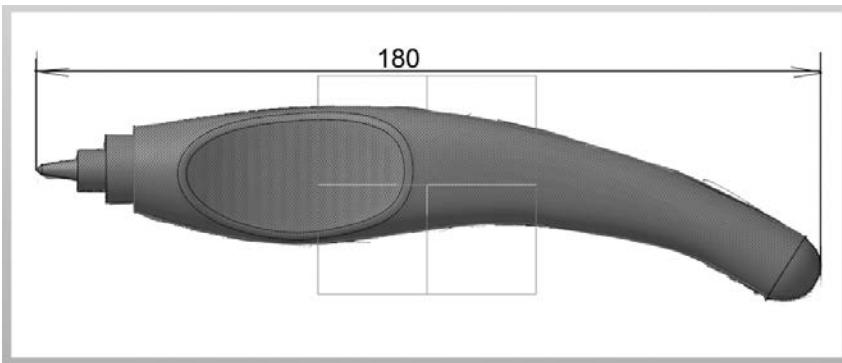
В дереве переключитесь на режим Отображение структуры модели, раскройте список Тела и щелкните правой кнопкой мыши на Поверхность 1, выберите Свойства тела.



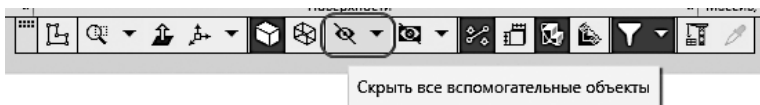
Установите Прозрачность 30–40 % и зеленый цвет, укажите наименование.



Видно, что объект соответствует габаритам изначального рисунка. Не хватает только прорезей, их нужно будет построить чуть позже.

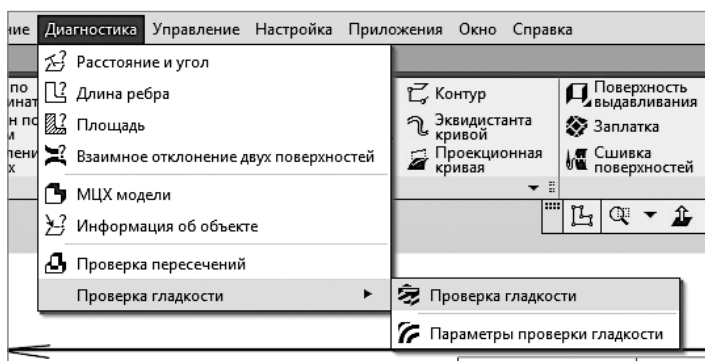


Скройте все вспомогательные объекты.

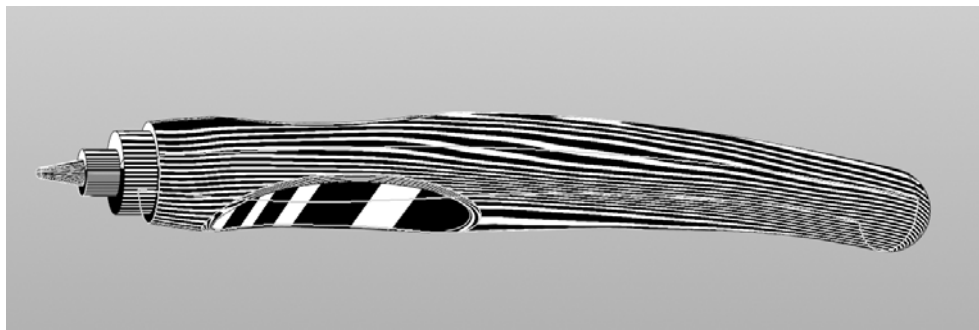


Проверка гладкости

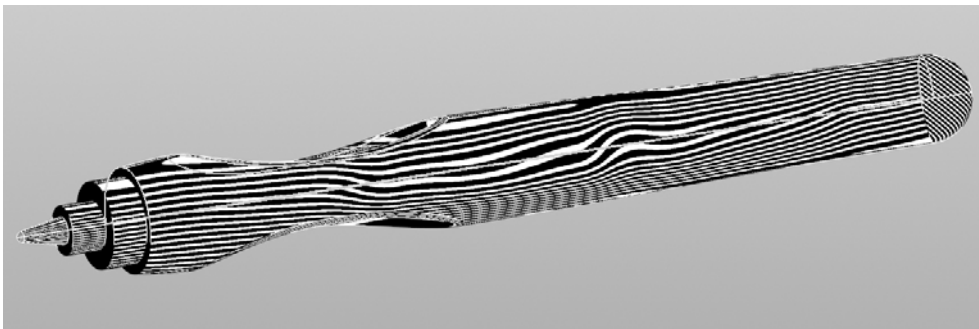
Запустите Режим проверки гладкости.



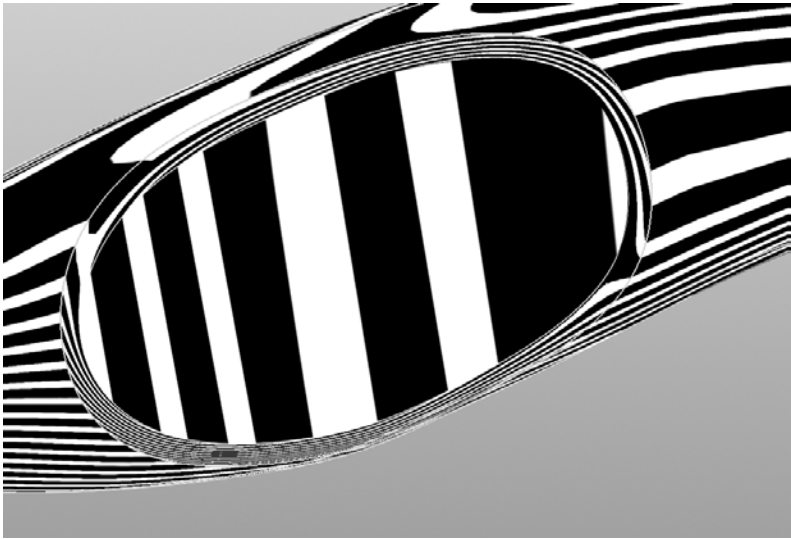
Посмотрите на переходы в верхней части,



в нижней части,

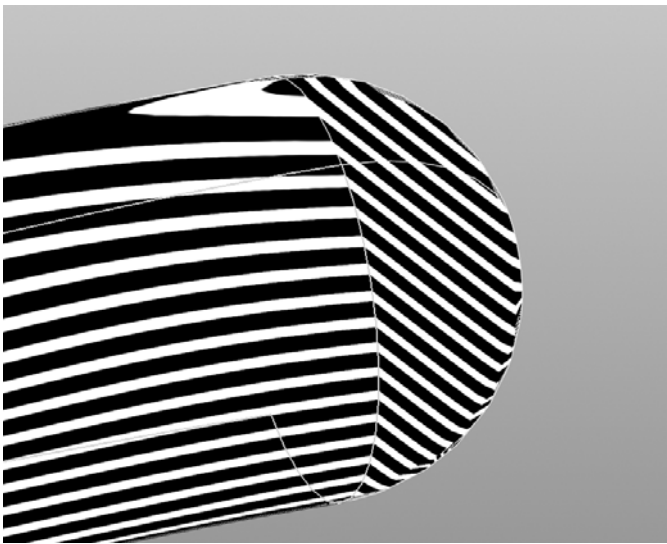


а затем на скруглениях.



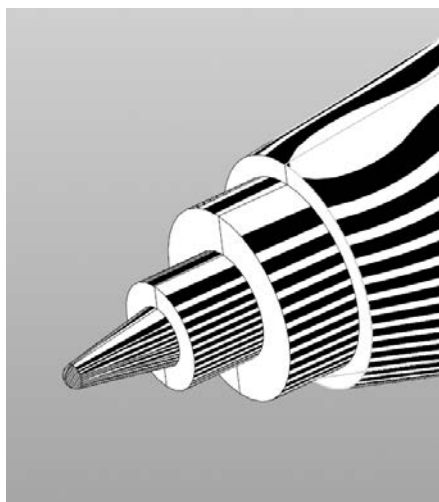
Линии непрерывны — стык получился гладким.

Посмотрите переход к хвостовой части.

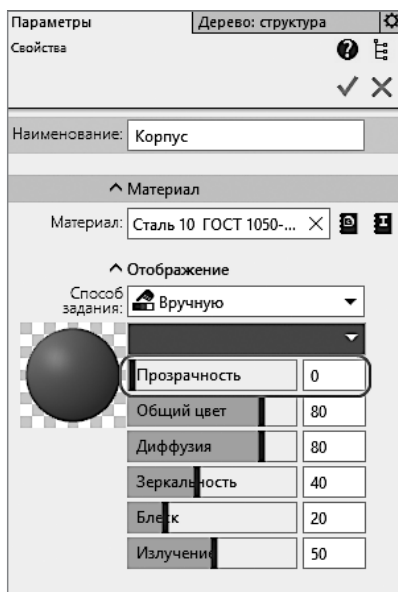


Направление линий меняется, но ширина линий остается непрерывной — стык получился касательным.

Для сравнения: в носовой части поверхности просто стыкуются — линии полностью меняют цвет и направление.

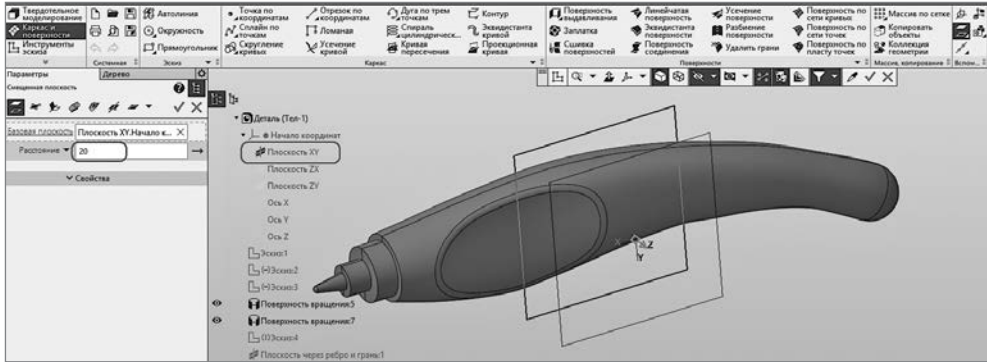


Выключите режим проверки гладкости. В свойствах тела уберите прозрачность (установите ползунок на 0). Переключите дерево на режим История построения.

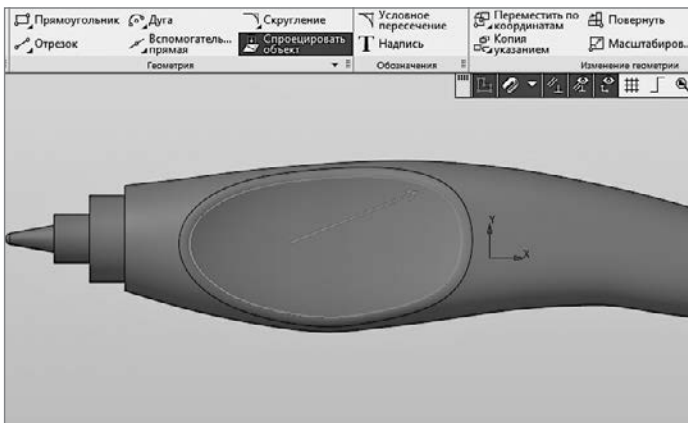


Построение прорезей

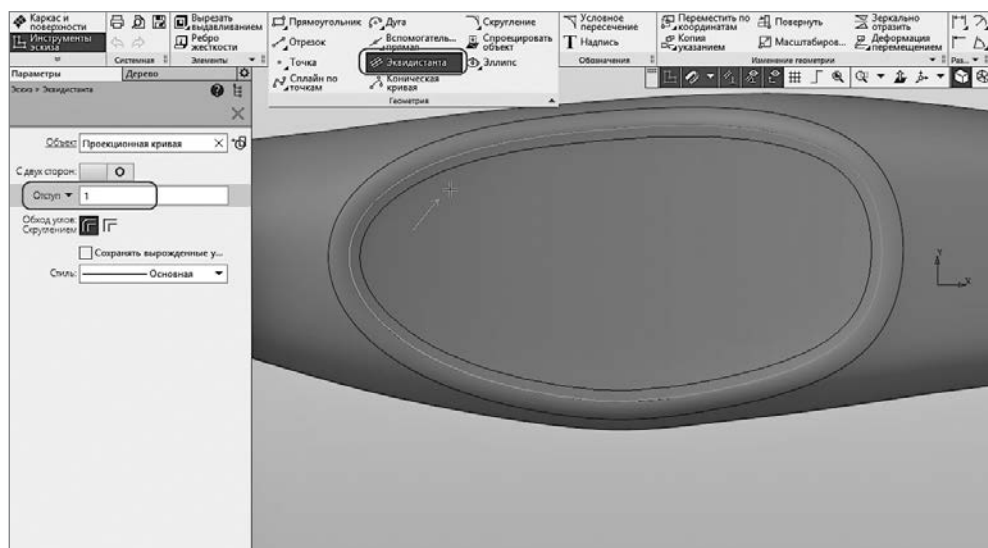
Создайте смещенную плоскость на расстоянии 20 мм от плоскости XY.



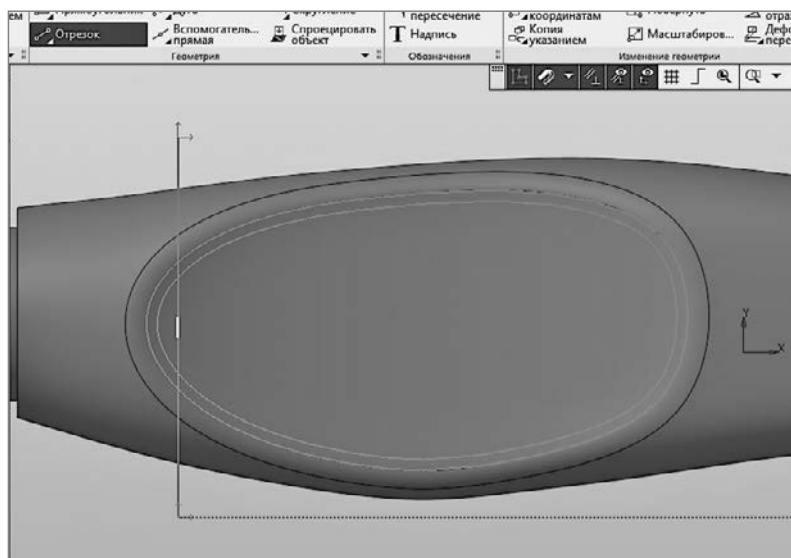
Создайте в ней эскиз. Спроецируйте внутреннее ребро прорези.



Запустите команду Эквидистанта. Установите отступ 1 мм. С помощью курсора мыши установите положение эквидистанты внутри контура.

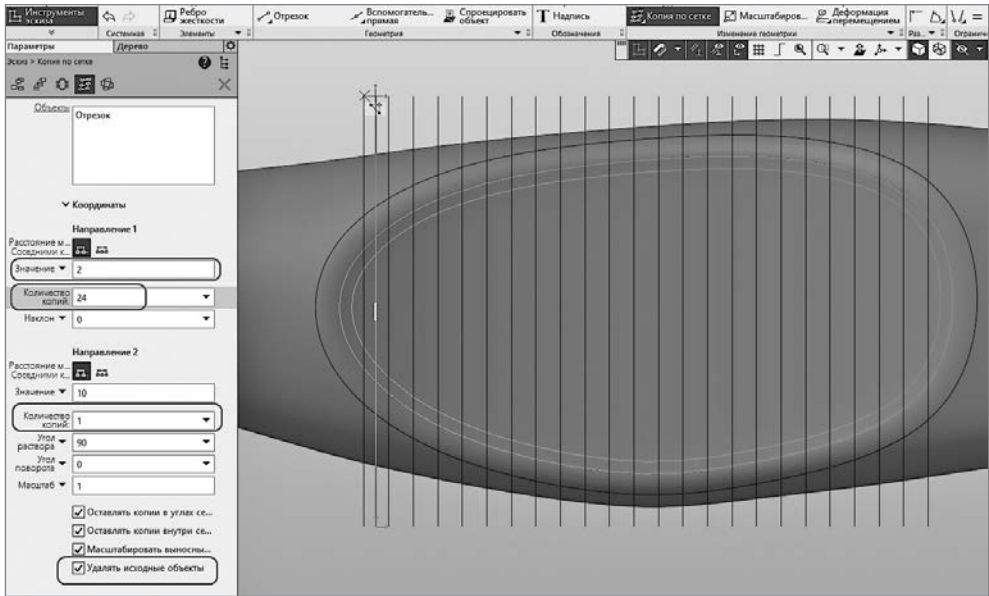


Постройте вертикальный отрезок с длиной, заведомо превышающей высоту про-
рези.

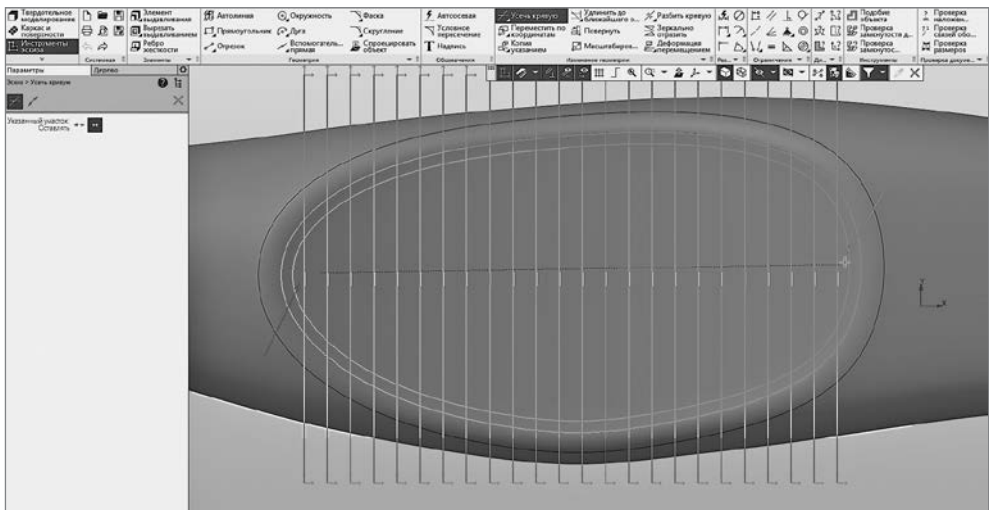


Выделите отрезок. Запустите команду Копия по сетке.

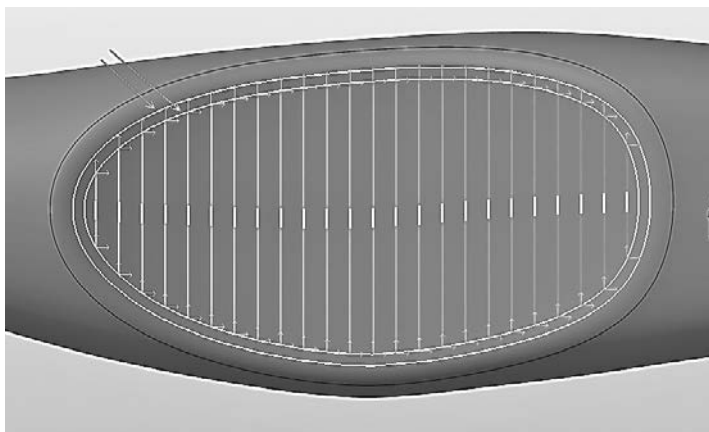
Установите в «Направлении 1»: шаг – 2 мм, количество копий – 24; в «Направлении 2»: количество копий – 1. Включите опцию Удалять исходные объекты. Укажите точки копирования и вставки. Группу отрезков расположите на равном расстоянии от краев прорези.



Запустите команду Усечь кривую с панели Редактирование. Выберите режим Оставить указанный участок, подведите курсор к первому отрезку слева и, удерживая левую кнопку мыши, постройте секущий отрезок через все вертикальные отрезки.

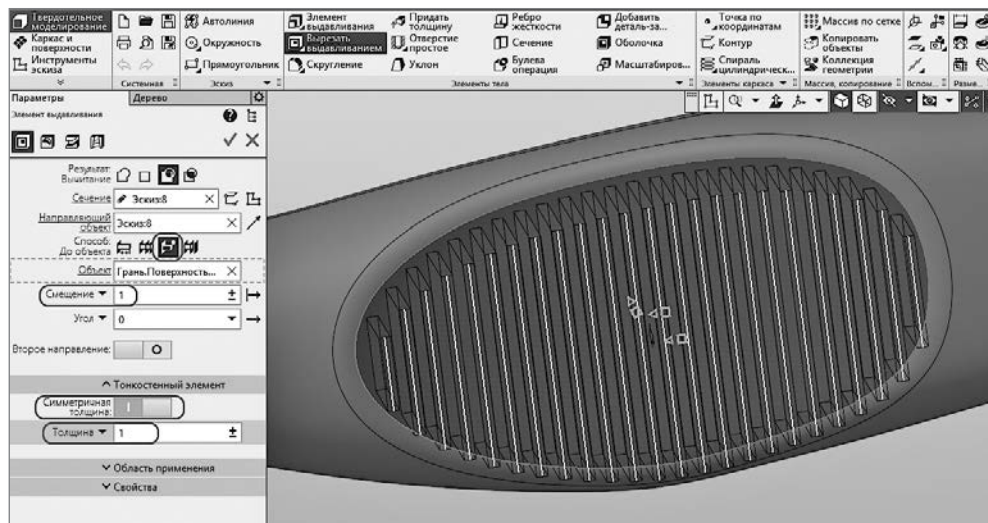


Выделите и удалите спроецированную кривую и эквидистанту.



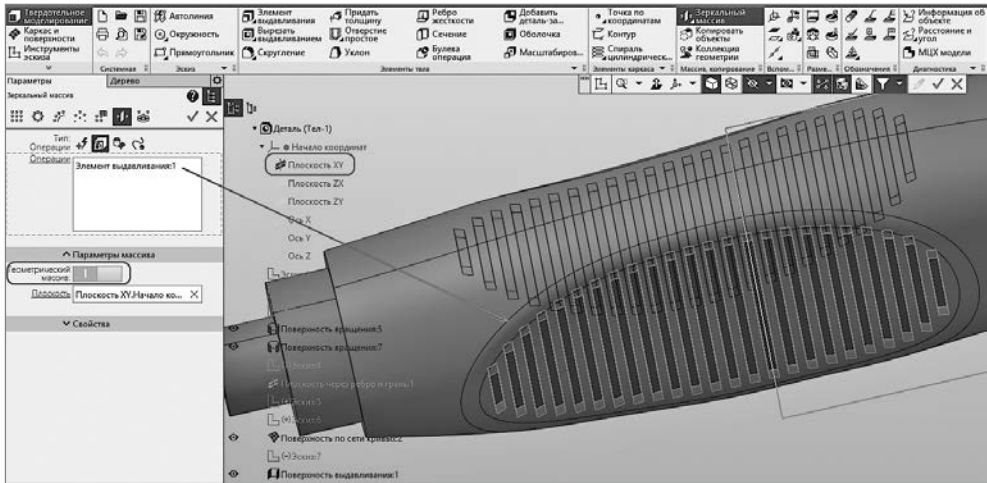
Переключитесь на набор Твёрдотельное моделирование. Запустите команду Вырезать выдавливанием.

Установите способ До объекта, укажите грань прорези, определите смещение 1 мм, активируйте переключатель Симметричная толщина, установите толщину 1 мм.

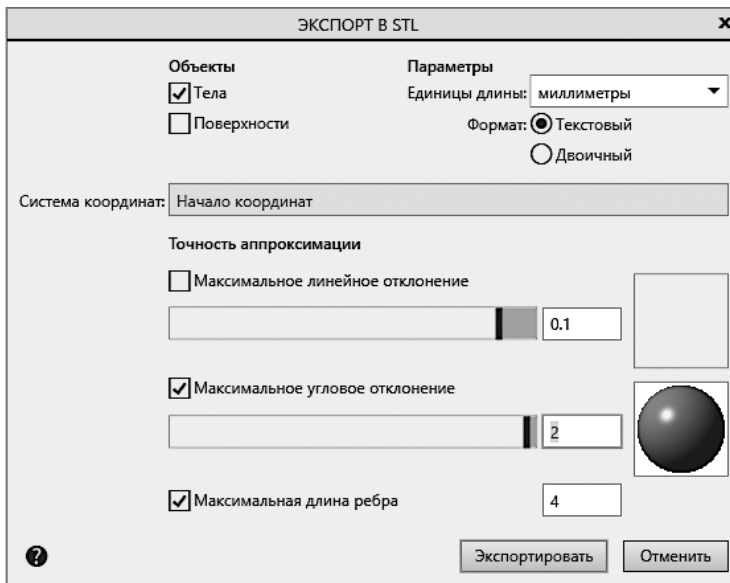


Запустите команду Зеркальный массив. Укажите Элемент выдавливания и Плоскость XY, затем активируем переключатель Геометрический массив. Переключатель Геометрический массив необходимо активировать, чтобы операция Вырезать выдавливанием

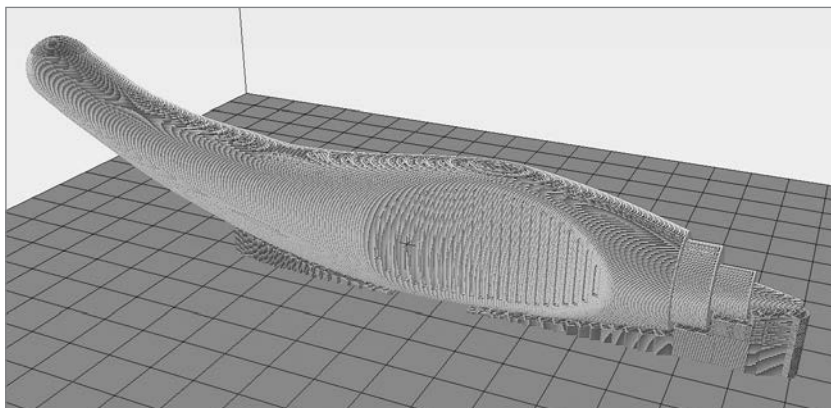
при зеркалировании не прорезала весь объект насквозь до поверхности, а только зеркально повторила форму изначального выреза.



Сохраните в Stl и передайте на слайсер, сохраните маркер в Stl с использованием следующих настроек.



Для корректной печати необходимо использовать поддержки. Активируйте необходимую опцию в настройках вашего слайсера.

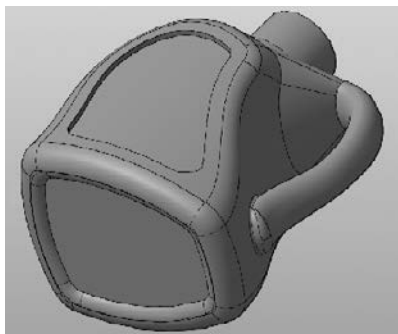


Поздравляю! Вы создали свой первый объект по заранее разработанному дизайну. Теперь вы можете распечатать и оценить эргономические свойства только что созданного фломастера.

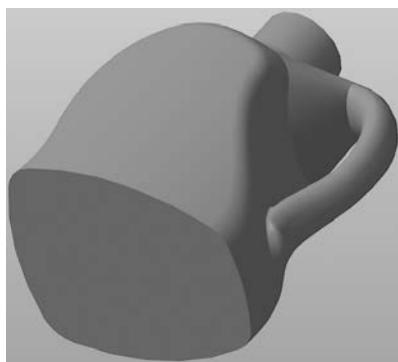
Дополнение

В настоящем дополнении собраны советы, которые помогут вам подготовить модель для наиболее удобной печати.

1. Создание устойчивого основания



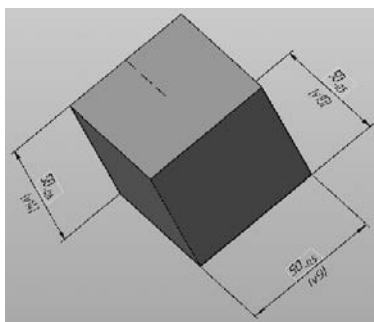
Исходная модель



Доработанная модель, создано плоское основание

По возможности создайте в модели хотя бы одну плоскую грань, которую можно использовать как основание для установки на стол — это позволит вам обойтись минимальным количеством поддержек и улучшит прилипание модели к основанию.

2. Расчет усадки для обеспечения точных размеров

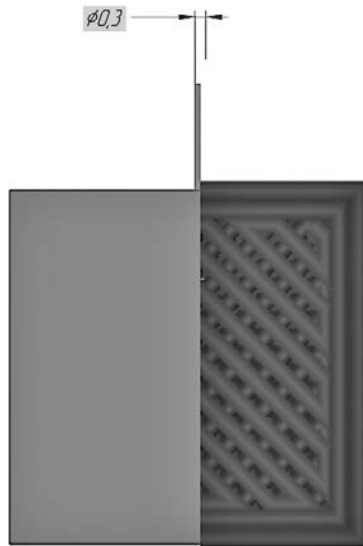


Куб с допусками на размеры

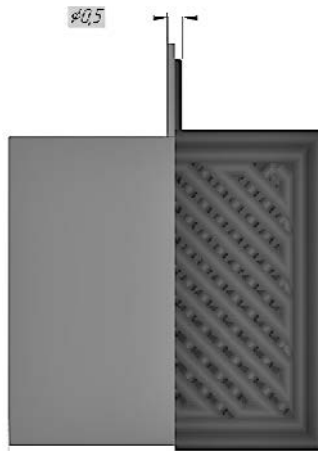
Печатаем тестовый кубик $50 \times 50 \times 50$ мм и измеряем его после печати. Тестовая модель должна печататься из того же материала и с теми же параметрами нагрева, заполнения и обдува, что и предполагаемая итоговая. Желательно, чтобы принтер также был предварительно откалиброван под нужный материал.

После этого с помощью допусков на размер или (в крайнем случае) масштабирования корректируем размеры для компенсации усадки. Необходимо учитывать, что усадка может быть неравномерна по разным осям (обычно отличается по оси Z). Необходимо также отдельно учитывать усадку для отверстий. Желательно в тестовой модели сделать все отверстия, которые планируется делать в итоговой. Если планируется резьба, ее также необходимо предварительно протестировать на усадку.

3. Учет минимальной толщины стенок



Диаметр выступа меньше нити пластика.
Слайсер (справа) отбрасывает такой выступ

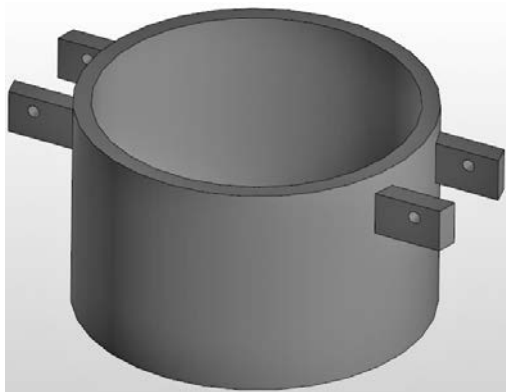


Диаметр выступа равен нити пластика. Слайсер корректно
обработал такой выступ

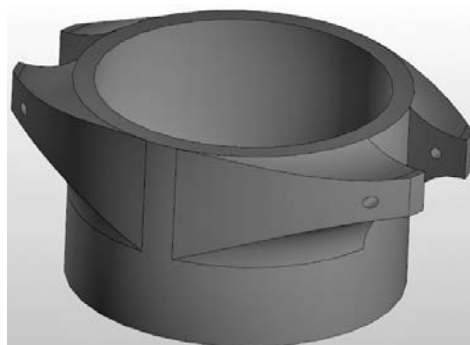
Необходимо учитывать минимальную толщину стенок в модели. Она не должна быть меньше, чем удвоенный диаметр (нити) экструзии. Более того, при расчете

толщин тонких стенок важно учитывать, что при сплошном заполнении толщина стенки должна быть кратной диаметру экструзии.

4. Силовые элементы нужно сделать максимально объемными



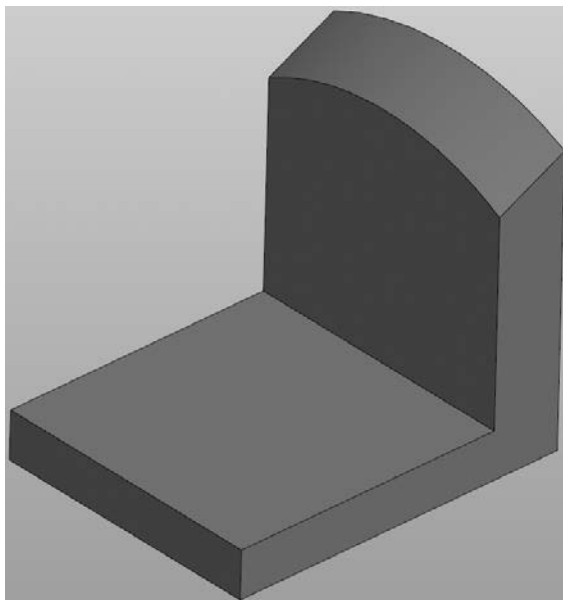
Петли этой емкости уязвимы на излом



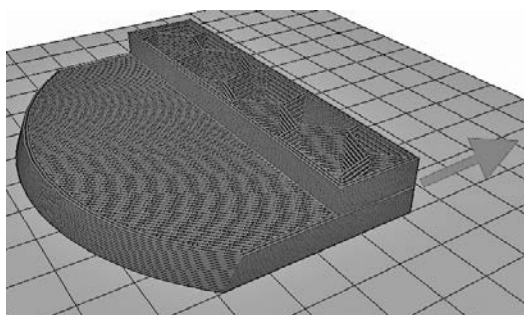
Исправленная модель.
Петли хорошо связаны с общим объемом

При создании нагруженного элемента с помощью 3D-печати лучше всего дать максимальный объем и максимально объединить его с конструкцией в единое тело — это позволит ему выдерживать большие нагрузки при минимальном заполнении.

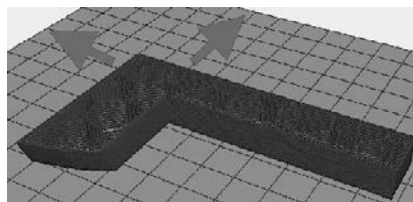
5. Силовые элементы нужно проектировать с учетом направления печати



Исходная модель



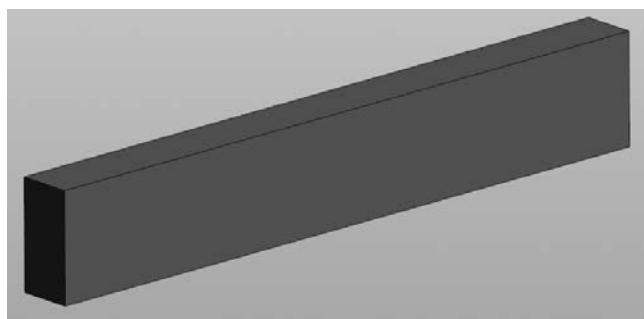
Печать на одном из оснований приведет к тому, что модель сломается поперек слоев



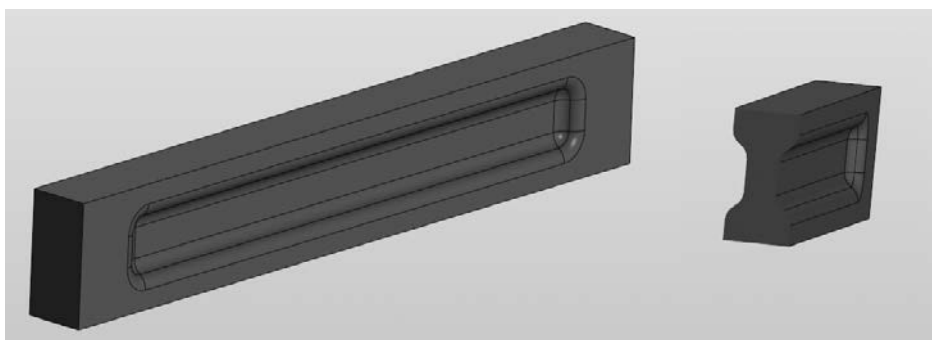
Лучше печатать на боку — в этом случае каждый слой будет держать нагрузку на разрыв и деталь будет прочнее.

Нагрузка должна распределяться поперек слоев печати, а не вдоль. В противном случае слои могут разойтись (деталь «Расслоится»), так как сцепление между слоями не 100 %.

6. Использование упрочняющих элементов



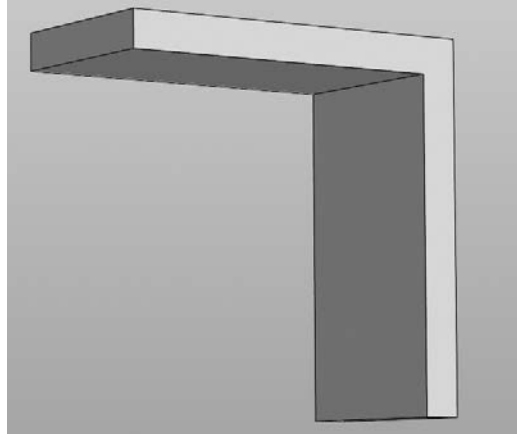
Исходная модель



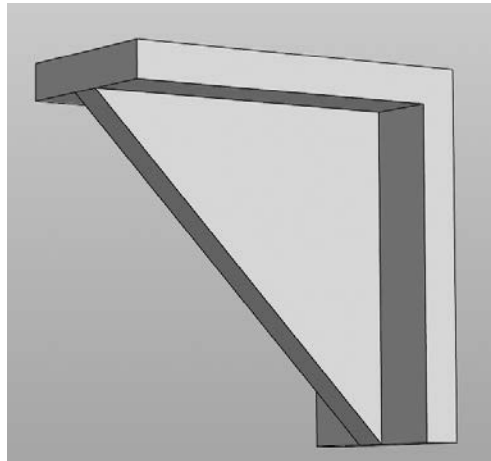
Деталь с упрочняющим элементом и ее разрез

Использование подобного выреза позволит сделать модель прочнее и жестче, а также сократит массу; фактически профиль станет похожим на двутавровую балку. Подобная форма позволяет достичь максимальной продольной жесткости при наименьшей массе.

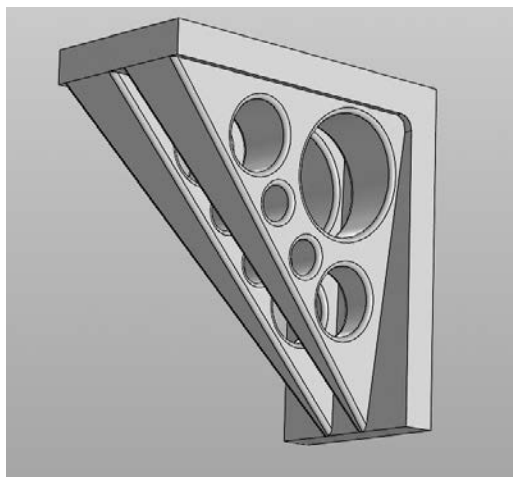
7. Косынка для «балкона»



Исходная модель (большая часть детали условно отсечена, показан только «балкон»)



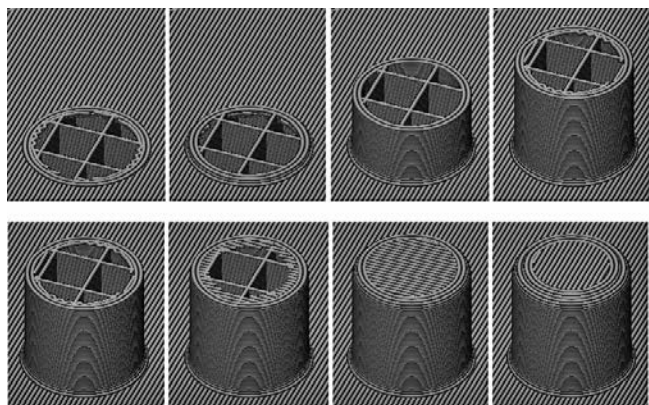
Добавлена простая косынка, такую можно использовать для большей прочности



Добавлена сложная косынка, которая позволяет напечатать модель без поддержек

«Балконом» в данном случае называется часть модели, выступающая над основанием. Без поддержек напечатать «балкон», как на исходной модели, не представляется возможным. Плюс ко всему, «балкон» может быть очень непрочным. Для большей надежности надо использовать диагональный элемент — «косынку», который позволит сделать модель прочнее и легче. При печати «балкона» учитывайте, что его площадь должна быть меньше площади основания, иначе во время печати модель может отклеиться от стола под массой «балкона».

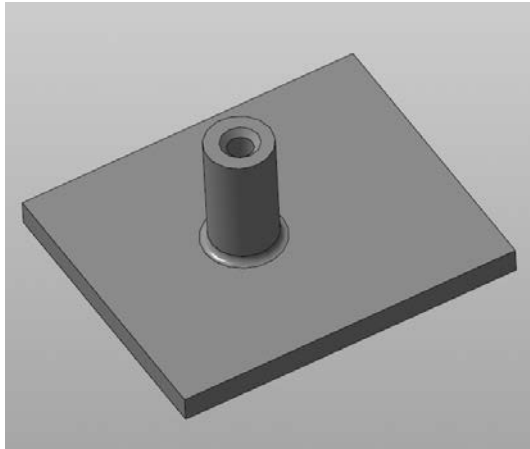
8. Добавление скруглений и фасок



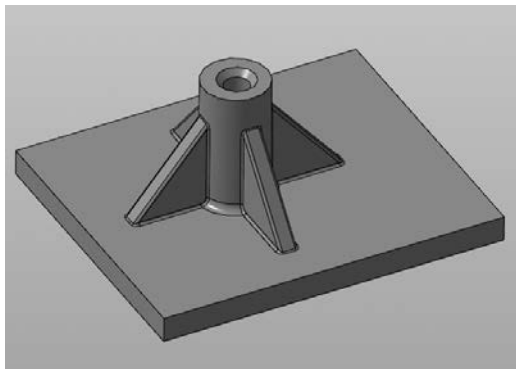
Здесь показаны сечения в слайсере для модели с 40 %-ным заполнением со скруглениями и без них. На модели со скруглением верхние слои опираются на более надежное основание, что увеличивает прочность детали и исключает расслаивание.

На все ребра по возможности нужно добавлять фаски, а лучше — скругления. Особенно важно скруглять нагруженные и силовые элементы детали. Это позволит убрать потенциальные концентраторы напряжений, а также сделать модель более приятной на ощупь и исключить появление заноз. К тому же скругление не даст детали расползаться вдоль слоев после минимального повреждения.

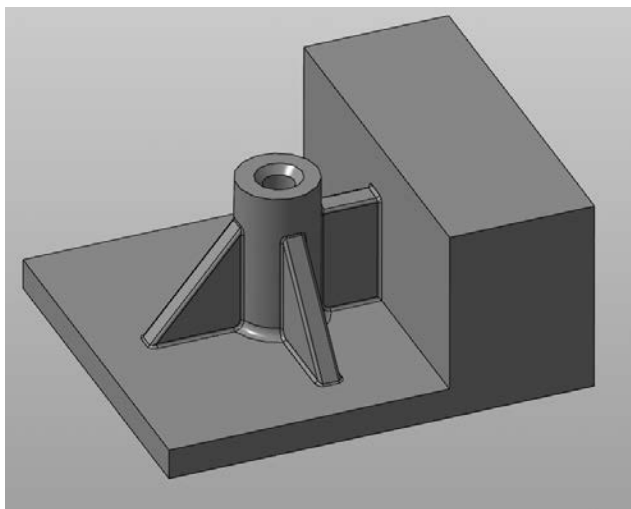
9. Ребра жесткости



Исходная модель



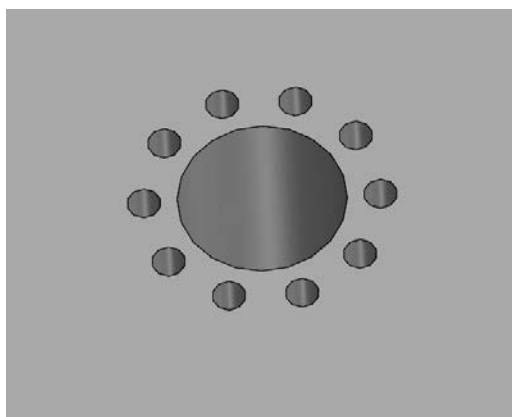
Добавлены ребра жесткости. Важно, чтобы ребра компенсировали нагрузки с любых направлений



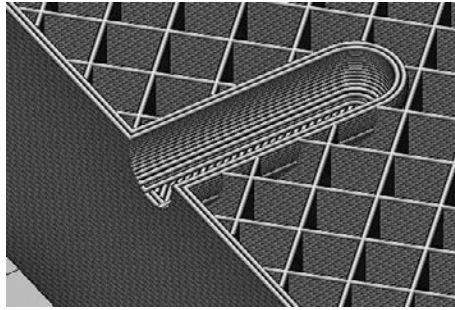
Если есть возможность привязаться ребром жесткости к стенке или другому основанию, то желательно так и сделать, поскольку это усилит конструкцию

Для выступающих бобышек нужно добавлять ребра жесткости. Они защитят бобышку от слома при приложении боковых усилий. Задача ребер жесткости — уменьшить рычаг для приложения силы к краю бобышки. Ребро распределяет нагрузку на большую площадь.

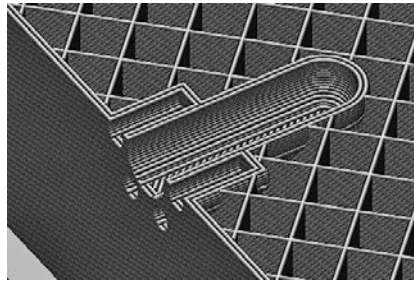
10. Укрепление отверстий



Отверстие с укреплением из мелких отверстий



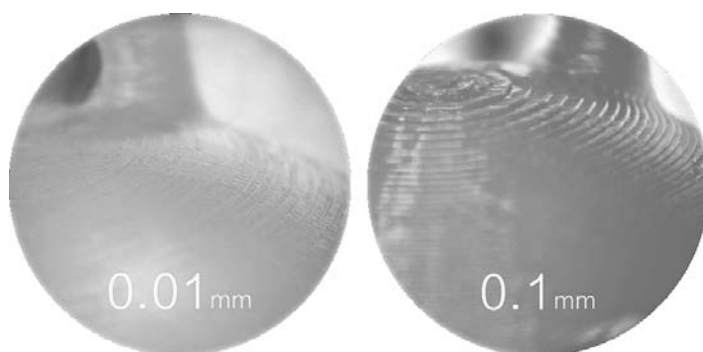
Отверстие без укрепления показано в слайсере. Стенка отверстия держится ненадежно и может быть разрушена саморезом



Отверстие с укреплением показано в слайсере. Малые отверстия вокруг основного создают дублирующую стенку, которая не разрушится саморезом

Если планируются отверстия под крепеж, например под саморезы, основное отверстие надо укреплять набором небольших концентрических отверстий вокруг него. Когда резьба прорежет основное отверстие, боковые отверстия не позволят разрастаться разрыву и спасут деталь от трещин.

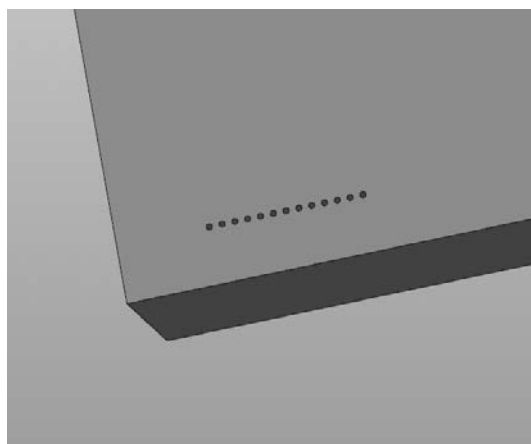
11. Большая толщина для прочности



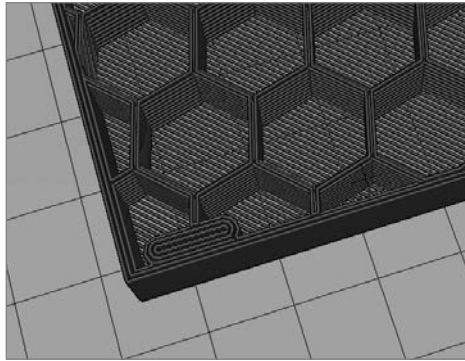
Чем больше диаметр сопла, тем прочнее изделие

Для большей прочности на изделиях, которые не требуют мелких деталей, лучше использовать сопло большего диаметра — это улучшит прочность наружного слоя модели. Спекание пластика внутри одного слоя лучше, чем между слоями; также более толстые слои пластика соприкасаются на большей площади.

12. Мелкие отверстия для локального упрочнения



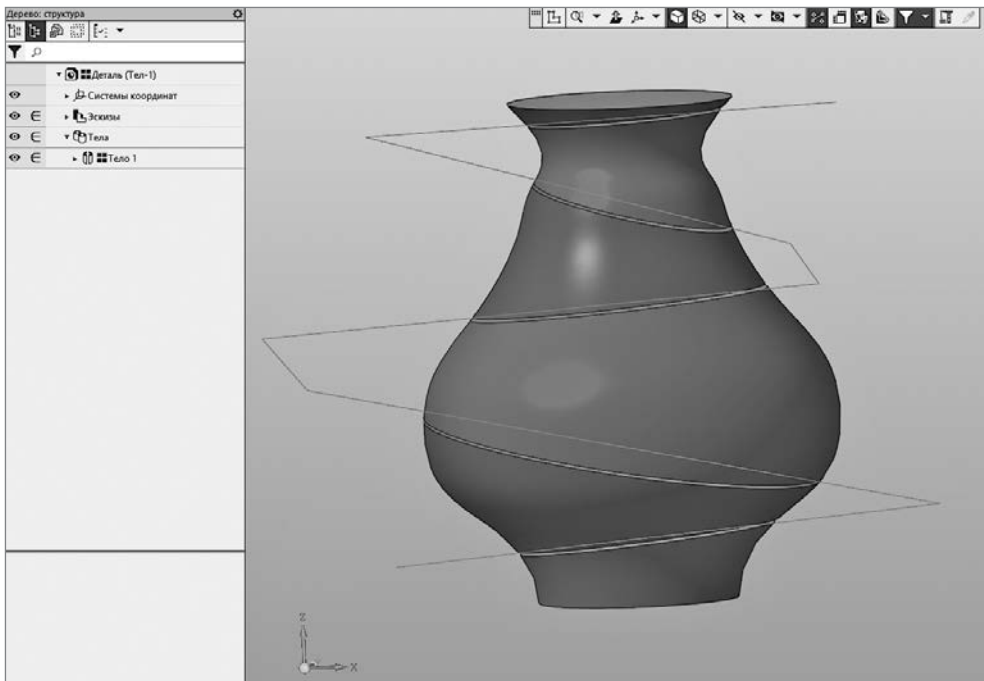
Исходная модель



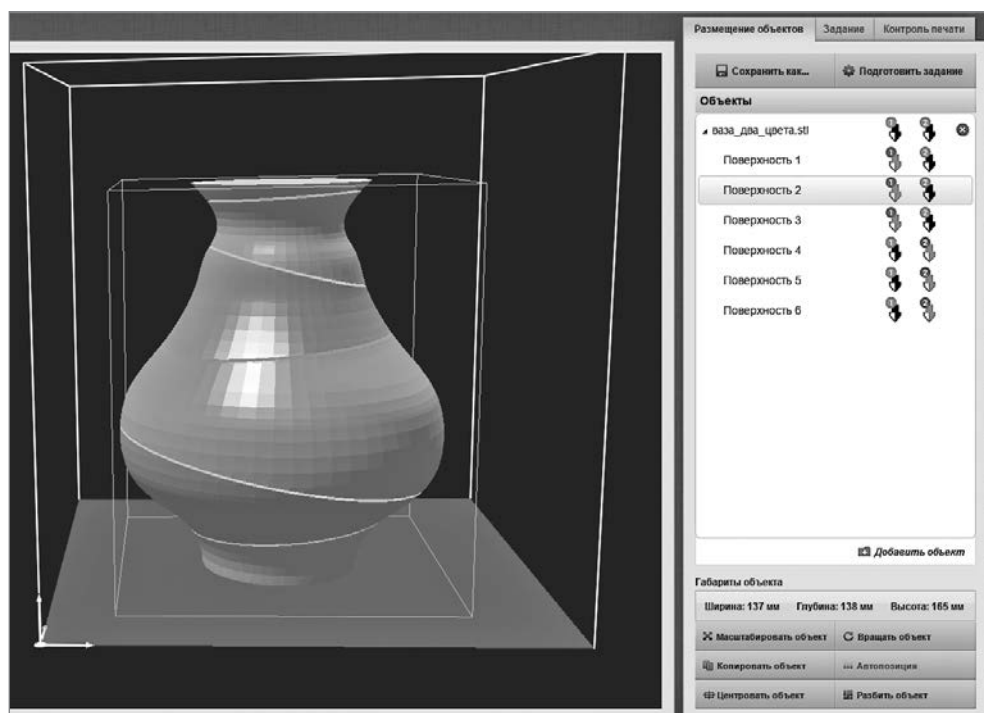
Модель в слайсере — мелкие отверстия слились в единую стенку

Для локального усиления какой-то части модели (актуально при заполнении меньше 100 %) можно добавить в нее множество отверстий, сравнимых с диаметром сопла, — отверстия практически не пропечатываются, а вокруг них будет прочная оболочка.

13. Многоцветная модель



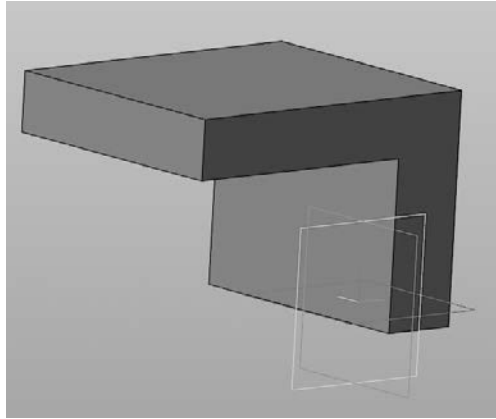
Исходная модель в КОМПАСе. Виден эскиз, разбивающий модель на части



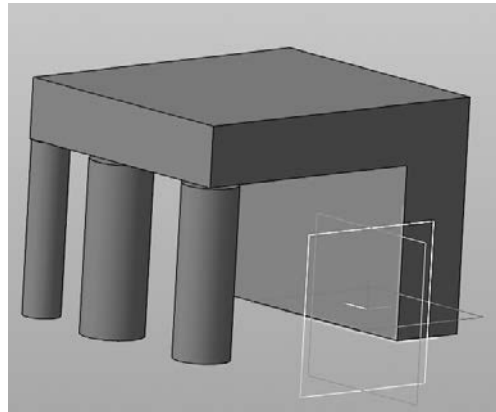
Stl-файл открыт в слайсере. Телам назначен соответствующий цвет

Часть принтеров поддерживает печать несколькими цветами. Если нужно сделать двухцветную модель, то делаем цвета отдельными телами, сохраняем в Stl, а затем в слайсере выставляем каждому телу нужное сопло. Чтобы разбить модель на отдельные тела, достаточно разрезать модель с помощью набора отрезков в эскизе, как показано на первом рисунке раздела.

14. Поддержки как часть модели



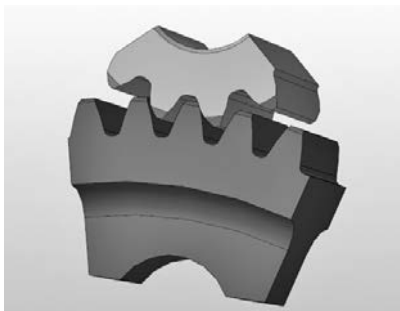
Исходная модель (опять условный «балкон»)



Поддержки (тоже показаны условно), сделанные отдельными телами

Иногда в целях экономии материала поддержки можно сделать сразу в КОМПАСе. Как и для многоцветной печати, их можно сделать отдельным телом. Обычно этого не требуется и слайсер справляется с созданием поддержек, но не стоит забывать о такой возможности. Для создания поддержек можно использовать разрезание эскизом или просто создать операцию новым телом.

15. Тестовая печать зубчатой пары

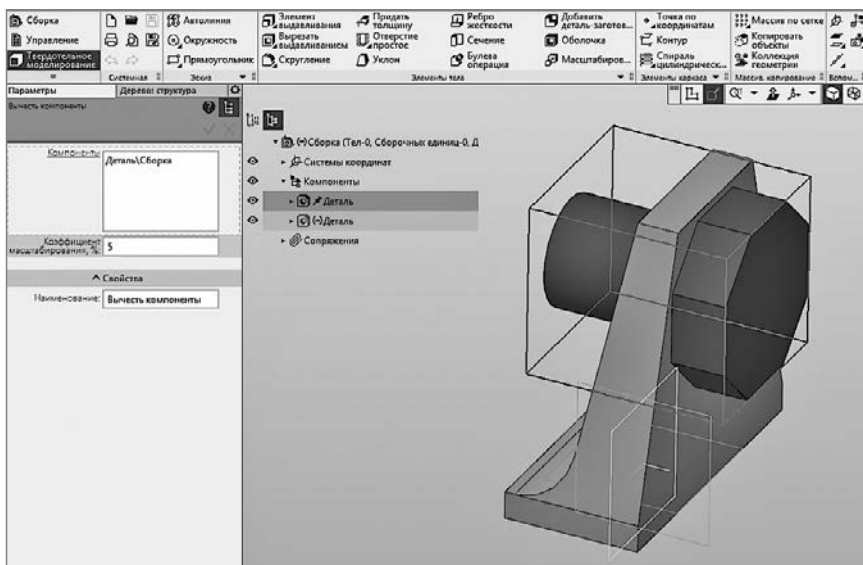


Зубчатая пара, подготовленная к тестовой печати

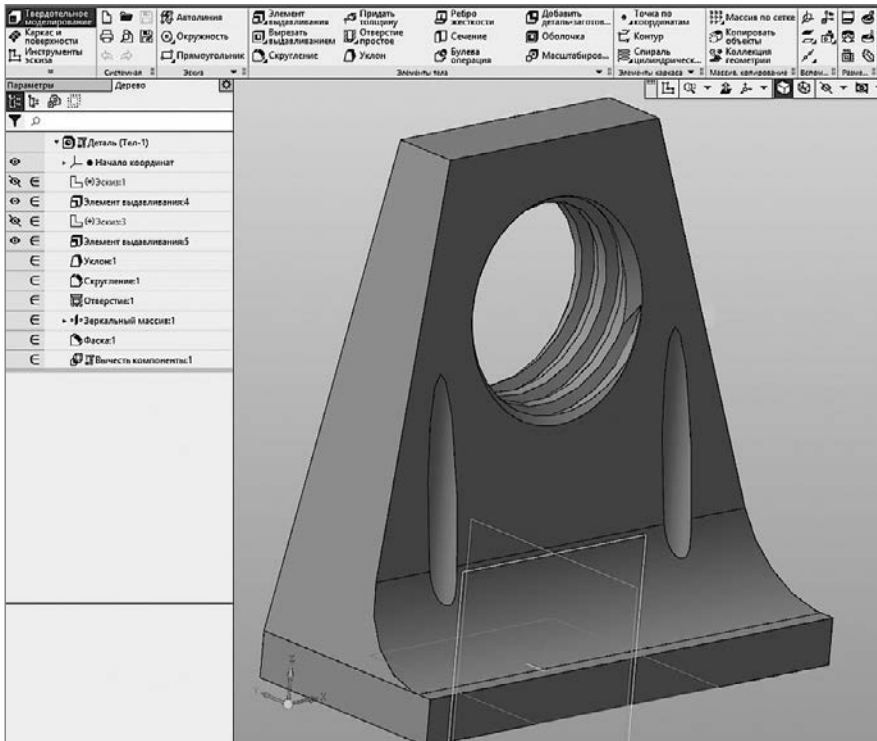
При печати зубчатых колес имеет смысл предварительно распечатать часть каждого колеса и проверить качество прилегания, чтобы точно знать, что усадка не помешает прилеганию колес. Сложные зубчатые колеса печатаются относительно долго, поэтому проще напечатать только части пары, на которых можно отработать прилегание.

16. Создание пары резьбовых деталей

При создании пары резьбовых деталей, например пары болт—гайка, создавайте ответную резьбу булевой операцией с учетом усадки, чтобы обеспечить зазор.



Исходная модель



Ответная часть

Использование булевой операции позволит избежать лишних действий и при этом получить точно совпадающую резьбу и гарантированный зазор. В сборке удобнее всего использовать операцию **Вычисть компоненты**, ее можно найти через поиск операций. Зазор можно настроить в параметрах операции, обычно хватает 5 %.

Что еще может быть важным?

Правильно настройте параметры сохранения в Stl.

Используйте расчеты — от расчета МЦХ до конечно-элементных расчетов и топологической оптимизации.

Чтобы сделать модель более эргономичной, используйте поверхностное моделирование.

Вячеслав Никонов

КОМПАС-3D: создание моделей и 3D-печать

Заведующая редакцией	<i>Ю. Сергиенко</i>
Руководитель проекта	<i>Н. Римицан</i>
Ведущий редактор	<i>К. Тульцева</i>
Литературный редактор	<i>А. Тазеева</i>
Художественный редактор	<i>А. Михеева</i>
Корректоры	<i>Н. Сидорова, Г. Шкатова</i>
Верстка	<i>Л. Егорова</i>

Изготовлено в России. Изготовитель: ООО «Прогресс книга».

Место нахождения и фактический адрес: 194044, Россия, г. Санкт-Петербург,
Б. Сампсониевский пр., д. 29А, пом. 52. Тел.: +78127037373.

Дата изготовления: 11.2019. Наименование: книжная продукция. Срок годности: не ограничен.

Налоговая льгота — общероссийский классификатор продукции ОК 034-2014, 58.11.12 — Книги печатные профессиональные, технические и научные.

Импортер в Беларусь: ООО «ПИТЕР М», 220020, РБ, г. Минск, ул. Тимирязева, д. 121/3, к. 214, тел./факс: 208 80 01.

Подписано в печать 12.11.19. Формат 70×100/16. Бумага офсетная. Усл. п. л. 16,770. Тираж 600. Заказ 0000.

Отпечатано в ОАО «Первая Образцовая типография». Филиал «Чеховский Печатный Двор».

142300, Московская область, г. Чехов, ул. Полиграфистов, 1.

Сайт: www.chpk.ru. E-mail: marketing@chpk.ru

Факс: 8(496) 726-54-10, телефон: (495) 988-63-87