

Методические рекомендации к выполнению
конкурсных заданий практического этапа Московского
конкурса межпредметных навыков и знаний
«Интеллектуальный мегаполис. Потенциал» в
номинации **«Инженерный класс»** для направления
«Курчатовские классы»

КЕЙС №1 по программе элективного курса «Инженерный практикум»

Исследование упругих и прочностных свойств

В данной работе участник должен собрать экспериментальную установку для определения растяжений, экспериментально определить вид диаграммы растяжения для каучука, определить модуль Юнга и предел прочности материала с учётом погрешностей.

Участник должен знать понятия внутренних напряжений, относительных деформаций, модуля Юнга. Знать закон Гука, выписанный через модуль Юнга в двух формах. Уметь собирать экспериментальную установку и оценивать погрешность прямых измерений для стандартных приборов. Знать методику вычисления относительных погрешностей и уметь с их помощью определять погрешность косвенных измерений. Уметь по экспериментальным данным диаграммы растяжения выделять области упругости и упрочнения. Уметь оперировать основными понятиями теории упругости.

Внутренние напряжения — это внутренние силы, возникающие в материале под действием внешних нагрузок, которые действуют перпендикулярно к поперечному сечению. Они характеризуются распределением силы по площади и могут возникать при растяжении, сжатии или изгибе. Нормальное напряжение обозначается символом σ и измеряется в паскалях (Па). Оно играет ключевую роль в анализе прочности материалов, так как определяет, насколько материал может выдерживать внешние нагрузки без разрушения.

Формально, можно выразить внутренние напряжения материала при однородном распределении силы в плоскости сечения, как:

$$\sigma = F/S$$

Здесь F - приложенная сила, S - площадь поперечного сечения.

Относительные деформации — это изменение размеров или формы материала под действием внешних сил, выраженное в виде отношения изменения длины к первоначальной длине. Этот параметр обозначается символом ϵ или e и является безразмерной величиной. Соответственно, можно записать:

$$e = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Относительная деформация позволяет оценить, насколько сильно материал деформируется под нагрузкой, и используется для анализа его механических свойств.

Она важна для понимания поведения материалов при различных условиях эксплуатации и помогает предсказать их устойчивость к нагрузкам.

Модуль Юнга — это физическая величина, характеризующая жесткость материала и его способность сопротивляться деформации при приложении нормального напряжения. Он определяет отношение нормального напряжения к относительной деформации в пределах упругой области поведения материала. Модуль Юнга является важным параметром в механике материалов и используется для оценки прочности и упругости различных веществ. Чем выше модуль Юнга, тем жестче материал и тем меньше он деформируется под воздействием внешних сил.

В пределах маленьких деформаций при нормальном растяжении/сжатии материала силу упругости, возникающую в образце, можно выписать, как:

$$F = ESe$$

Такая запись носит название закона Гука и альтернативно ее можно записать следующим образом:

$$\sigma = Ee$$

В общем случае при больших внешних нагрузках материалы демонстрируют нелинейную зависимость $\sigma = \sigma(e)$, которые можно изобразить графически следующим образом (Рис. 1):

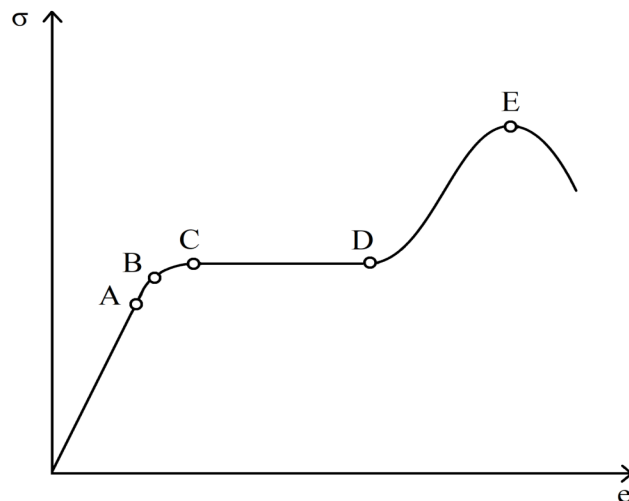


Рис. 1. Классический вид диаграммы растяжения для некоторого материала

Определяющими значениями на Рис.1 соответственно отмечены:

OA - область упругих деформаций, в пределах которой материал подчиняется закону Гука,

B - предел упругости,

C - предел пластичности,

CD - область пластических деформаций,

DE - область упрочнения,

E - предел прочности.

Важно отметить, что некоторые характерные точки описанной кривой могут не реализоваться для некоторых материалов.

В настоящей работе участникам предлагается определить вид диаграммы растяжения для каучука, из которого изготовлены канцелярские резинки с помощью стандартного школьного оборудования. Для этого необходимо установить штатив и прикрепить на нём лапку, как показано на Рис. 2. После сборки штатива участникам требуется разрезать канцелярскую резинку в одном месте и двойным узлом привязать её к лапке штатива. На противоположном конце необходимо сделать второй двойной узел так, чтобы получилось непроскальзывающая по длине резинки петля, за которую можно цеплять грузики.



Рис. 2. Собранный штатив с закреплённой на нём канцелярской резинкой.

Важно отметить, что узлы должны хорошо держаться на месте, иначе это повлияет на результаты измерений. Их вид показан на Рис. 3 и 4.

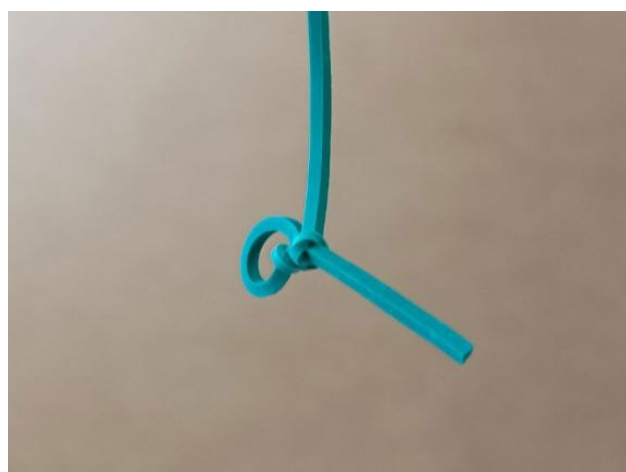
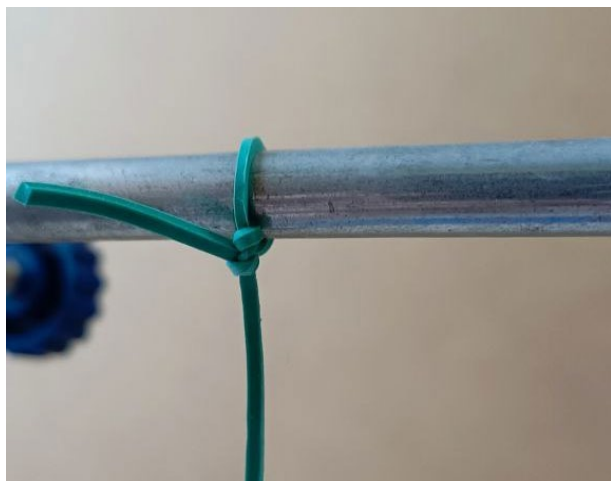


Рис.3 и 4. Вид петель для закрепления на лапке штатива и для закрепления грузов.

После аккуратного закрепления исследуемой резинки на штативе необходимо провести измерения поперечных размеров сечения в двух направлениях с помощью штангенциркуля и, таким образом, измерить начальную площадь образца. Приложив линейку и аккуратно, не растягивая образец, необходимо измерить начальную длину l_0 , записать её (Рис. 5).

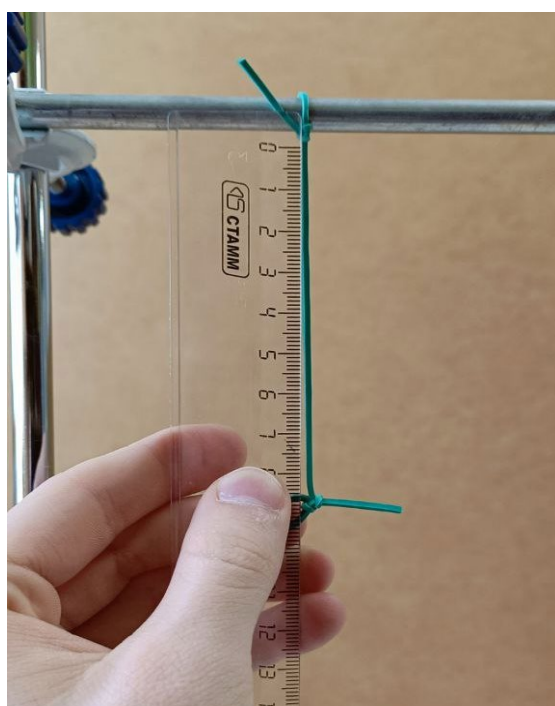


Рис. 5 Измерение начальной длины резины между узлами

Далее последовательно закрепляя грузы за петлю и друг друга следует последовательно цеплять грузы и измерять общую длину деформируемой части (Рис. 6). Результаты измерений занести в таблицу. Пример заполнения показан в таблице 1.

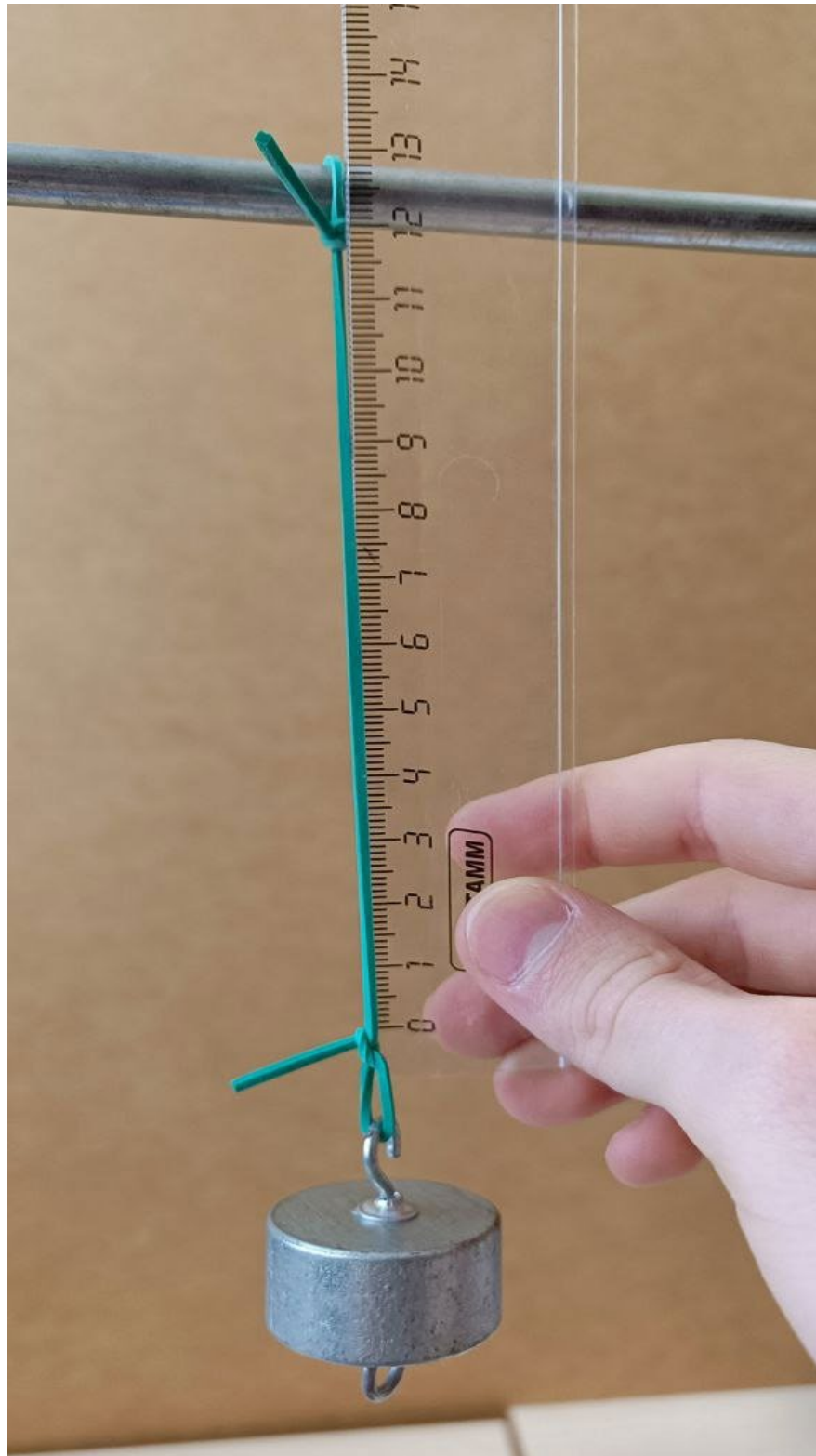


Рис. 6. Измерение длины образца при нагружении.

Таблица 1						
Число грузов N	Сила $F = Nmg$, Н	Площадь сечения S, 10^{-6} м^2	Внутренние напряжения σ $= F/S$, МПа	Длина образца l, см	Удлинение $\Delta l = l - l_0$, см	Относительные деформации $\epsilon = \Delta l / l_0$
0	0	1,82	0	8,9	0	0
1	0,98	1,34	0,73	11,7	2,8	0,31
2	1,96	0,82	2,39	18,6	9,7	1,09
3	2,94	0,54	5,43	25,4	16,5	1,85
4	3,92	0,44	8,92	29,4	20,5	2,30
5	4,9	0,37	13,17	32,9	24	2,70
6	5,88	0,31	18,83	36,9	28	3,15
7	6,86	0,28	24,71	39,8	30,9	3,47
8	7,84	0,26	30,40	41,7	32,8	3,69
9	8,82	0,23	38,08	44,6	35,7	4,01
10	9,8	0,21	46,53	47,3	38,4	4,31
11	10,78	0,20	54,76	49,3	40,4	4,54

Измеренные значения необходимо отобразить на графике в координатах σ от ϵ (Рис. 7).

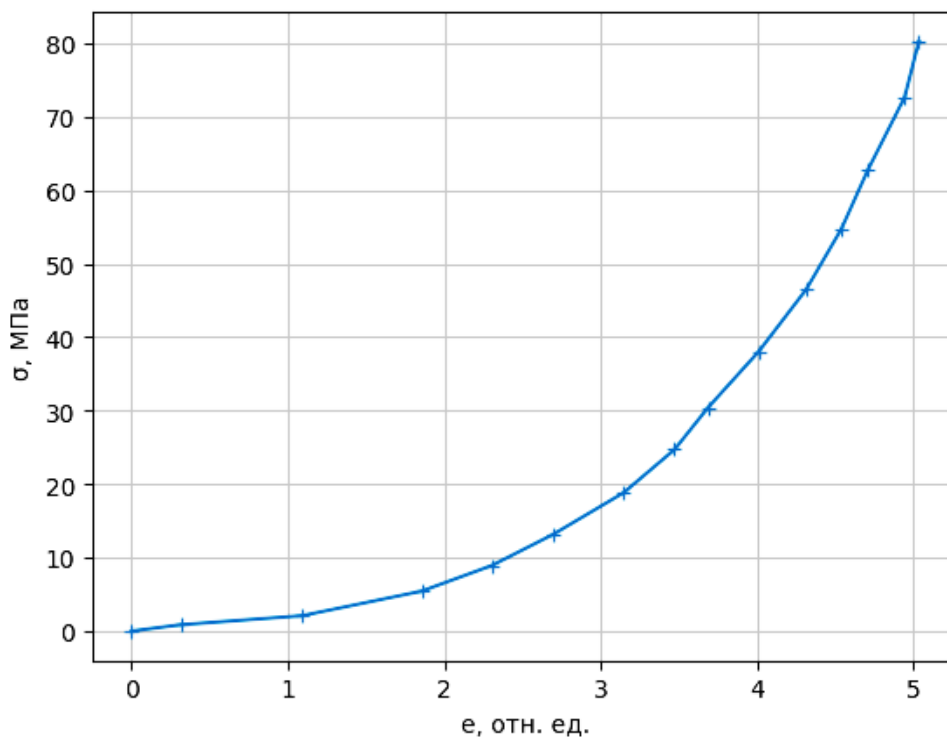


Рис. 7. Пример построения графика зависимости $\sigma(e)$

На представленном графике особенно видны высокоэластичные свойства каучука как упругого материала. Для абсолютно упругих деформаций необходимо, чтобы прирост длины Δl составлял малую долю от общей длины образца. Каучук из-за малого значения модуля Юнга очень быстро выходит из зоны упругости в зону пластических деформаций. Из-за низкой пластичности материал возвращается в почти ту же конфигурацию, что изначально после снятия нагружения.

Оценка результатов.

Выполняющим данную работу важно четко сформулировать выводы по измерениям внутренних напряжений в зависимости от относительных деформаций, акцентируя внимание на графическом представлении данных. Они должны выделить зоны упругости и пластичности, отметив изменения в поведении материала. При построении графика важно отметить кресты погрешностей, чтобы учесть погрешности измерений, проанализировать возможные источники ошибок и их влияние на результаты. В завершение рекомендуется предложить пути улучшения методики измерений.

Причины отклонения результатов:

1. Ошибки измерений: Неправильное использование инструментов или неаккуратность в снятии показаний измерительных приборов могут привести к неточным данным.

2. Качество образцов: Наличие дефектов в образцах (например, порезы, неоднородности) может изменить их механические свойства и, соответственно, результаты измерений.

Задание считается полностью выполненным, если учащиеся снимут измерения для широкого диапазона относительных деформаций (0-5), уделив особое внимание области малых деформаций (<1), оценят погрешности каждого измерения и нанесут кресты погрешностей на график.

КЕЙС №2 по программе элективного курса «Технологии современного производства»

Для выполнения задания уровня сложности «Базовый» участнику необходимо обладать навыками точного 3D-моделирования в САПР, перечисленных в спецификации. Участник должен уметь создавать параметрические твердотельные модели с использованием профилей (эскизов), содержащих различные геометрические объекты (отрезки, прямоугольники, дуги, окружности, сплайны), применяя к ним операции: выдавливание/вырезание прямое, вращением, по траектории, по сечениям, а также команд: линейный/ зеркальный массив, сглаживание/фаска, ребро жесткости.

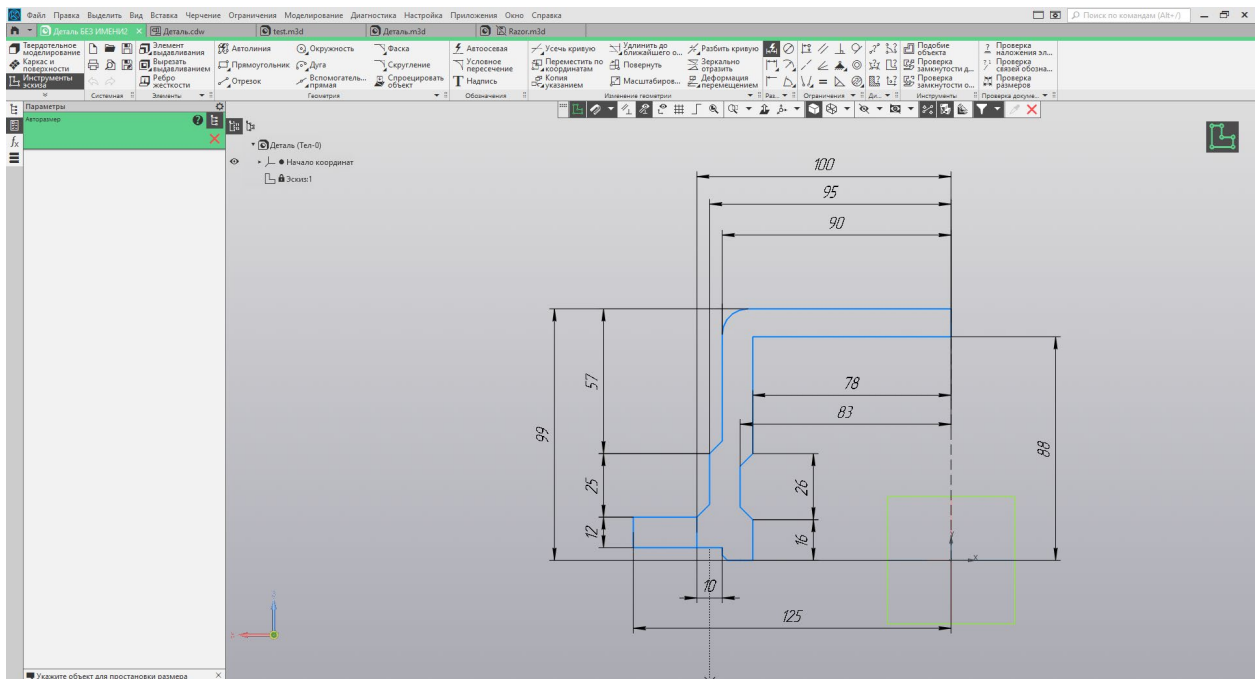
Для выполнения задания уровня сложности «повышенный» участнику необходимо внести изменение в модель, применить к ней материал, рассчитать массу изделия, а также импортировать 3D-модель из САПР в ПО Ultimaker Cura.

Для выполнения задания уровня сложности «Высокий» участник должен уметь настраивать параметры печати в ПО Ultimaker Cura. Также участнику необходимо уметь пользоваться инструментами размещения (перемещение, вращение, зеркало) для корректного размещения модели на столе 3D-принтера.

Пример создания твердотельной модели демонстрационного задания

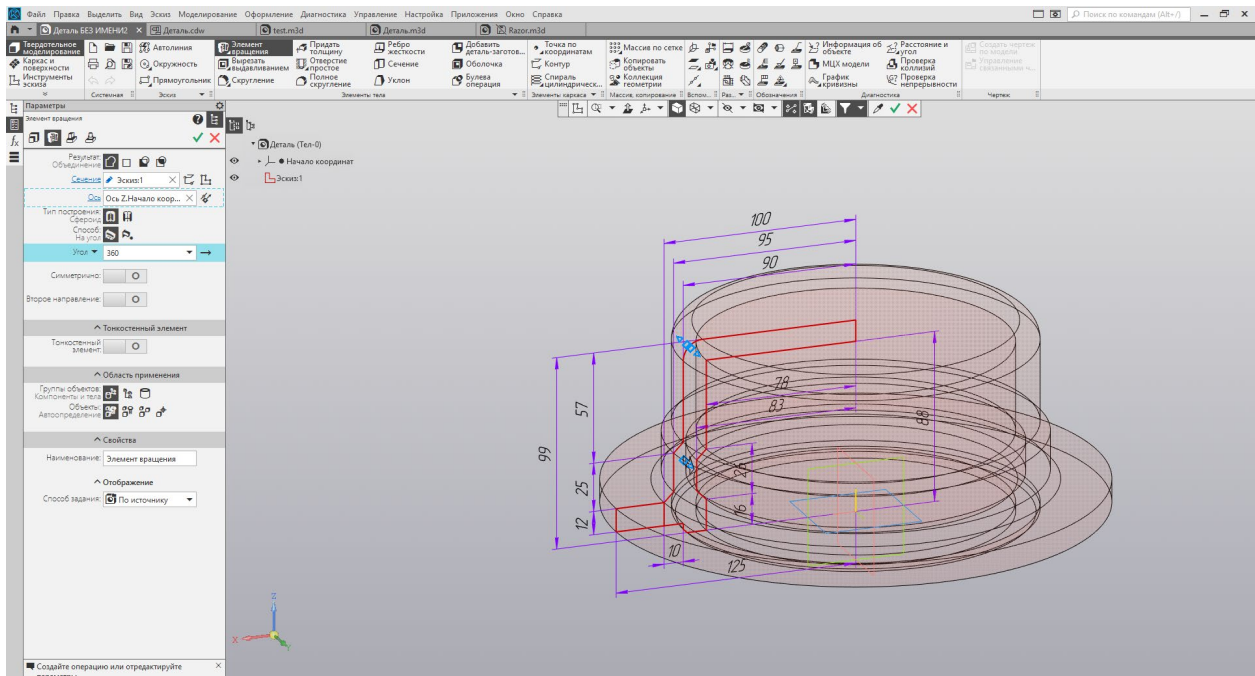
Разберем демонстрационный вариант. Моделирование выполняется в САПР Компас 3D.

1. Создадим документ «3D-деталь». Выберем плоскость «Вид спереди» и в контекстном меню активируем команду «Чертить на рабочей плоскости». С помощью элементов в разделе «Эскиз» на вкладке «Рабочая плоскость» создадим профиль основания детали. Проставим размеры (Изображ.1).



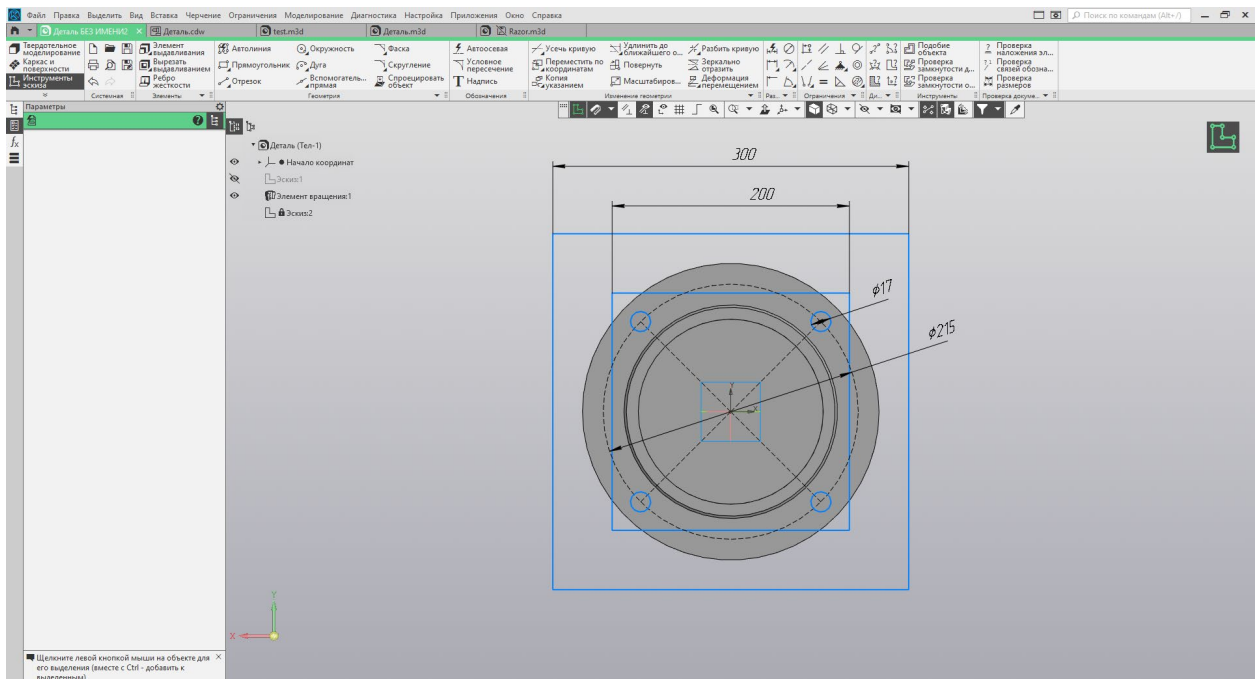
Изображение 1.

2. Выдавим получившейся эскиз по кругу (Изображ.2).

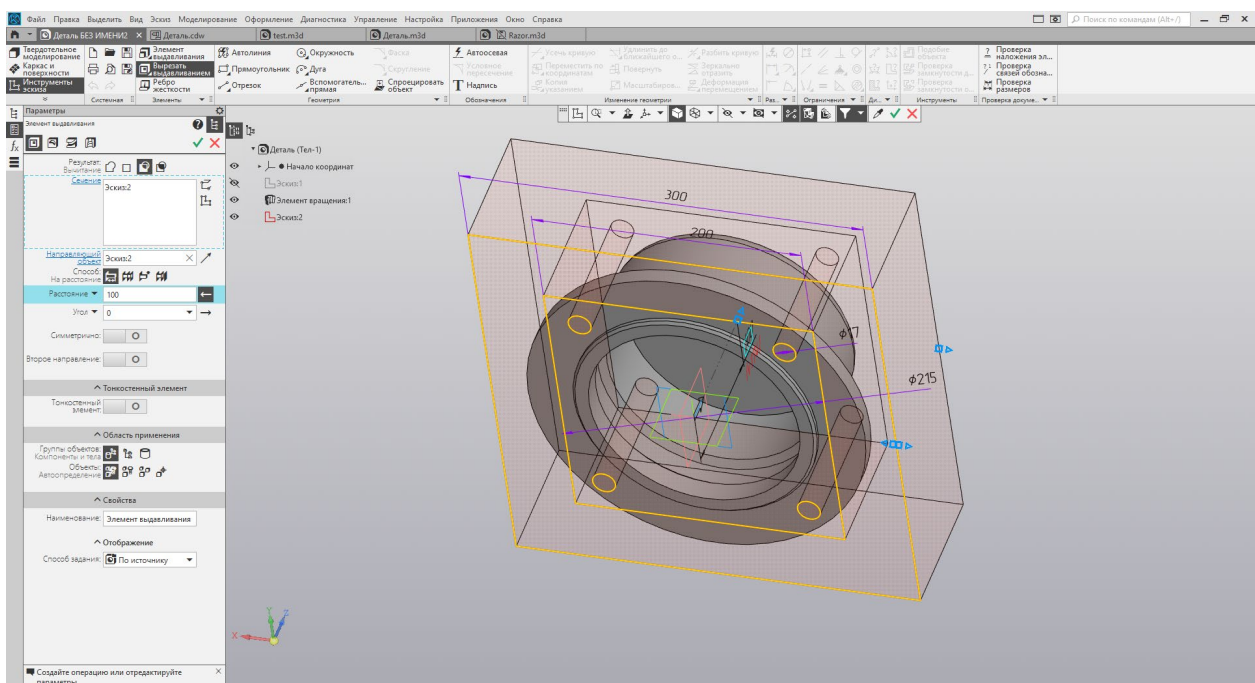


Изображение 2.

3. Обрежем цилиндрическую деталь по заданным размерам и добавим отверстия (Изображ.3 и 4).

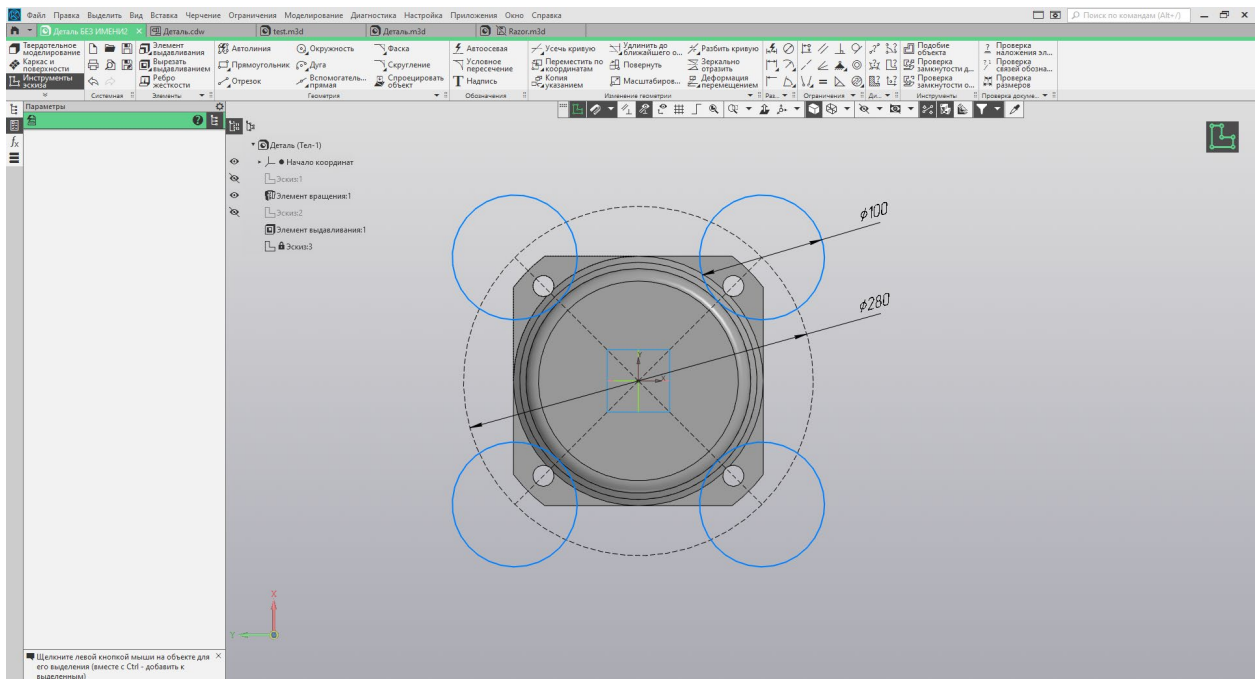


Изображение 3.

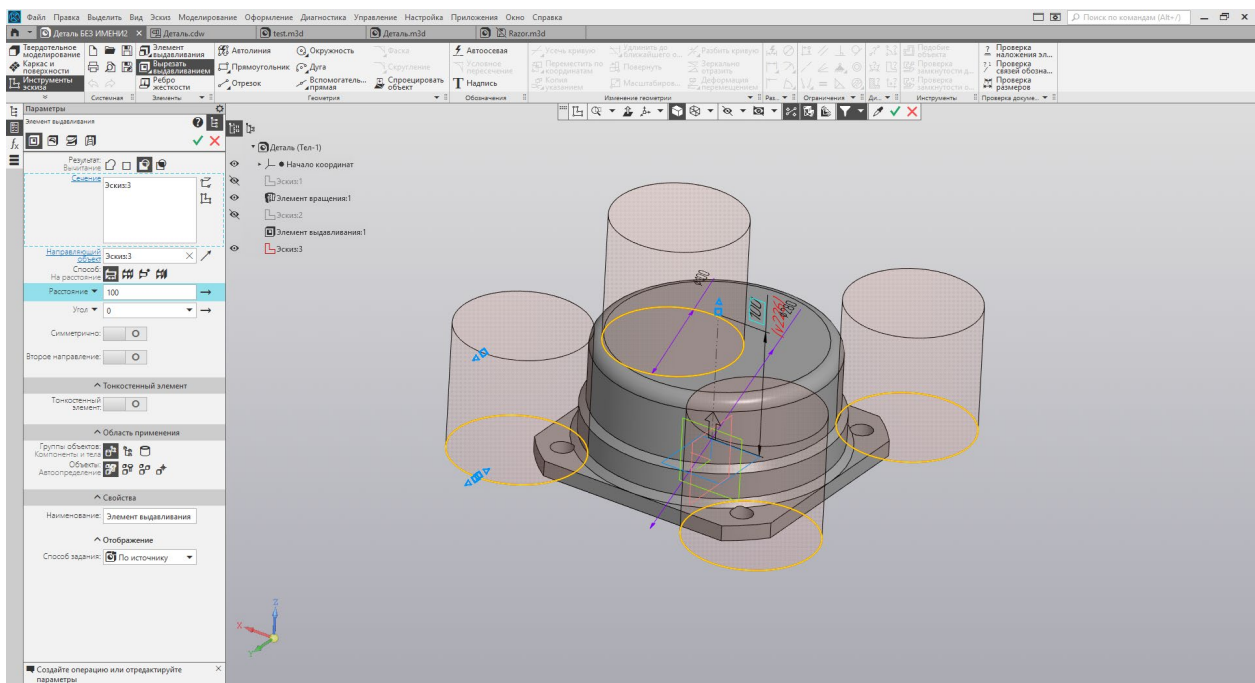


Изображение 4.

4. Вырежем углубления под болты (Изображ.5 и 6).

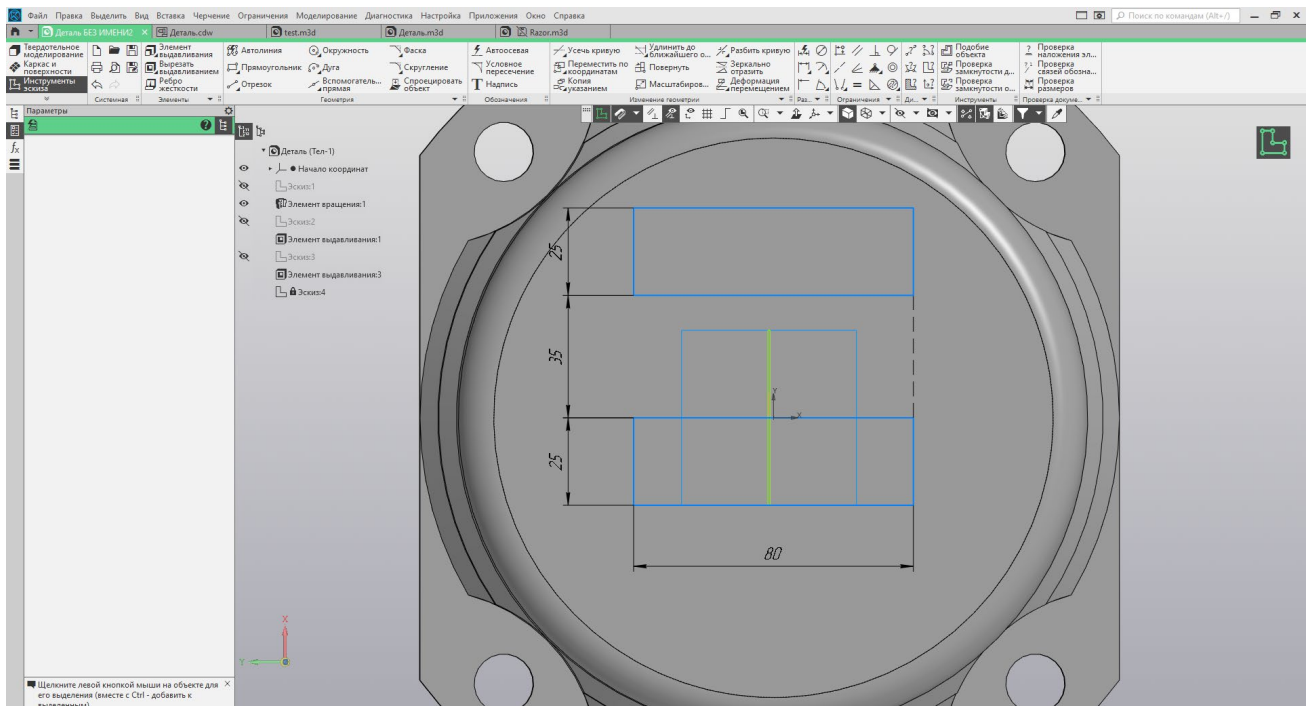


Изображение 5.

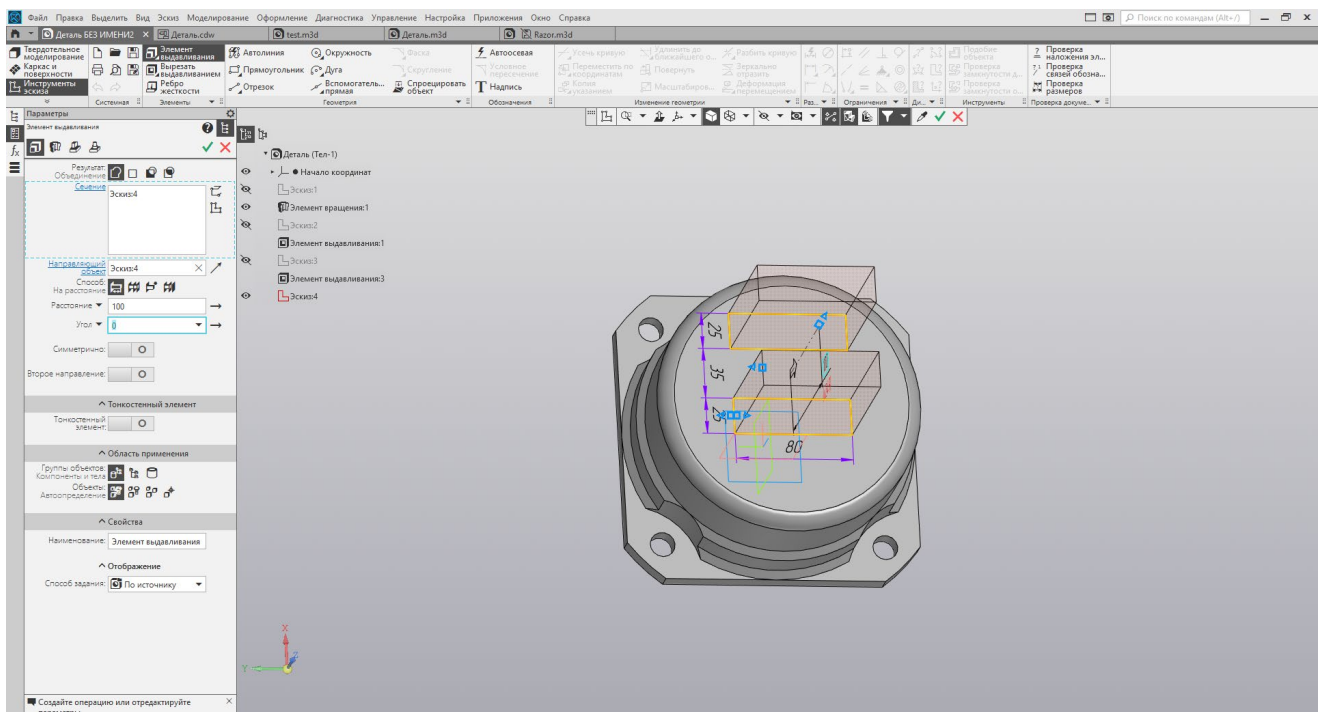


Изображение 6.

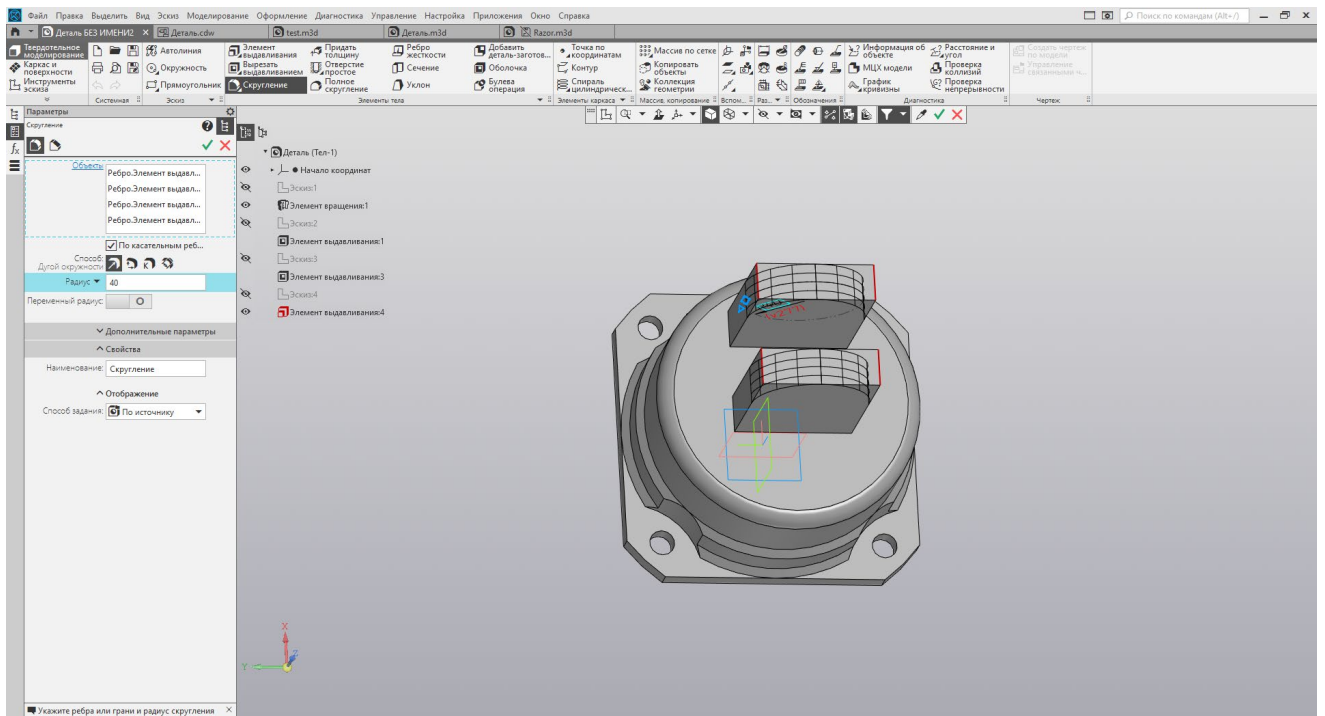
5. Сформируем выступы на верхней грани при помощи выдавливания и скругления (Изображ.7,8,9).



Изображение 7.

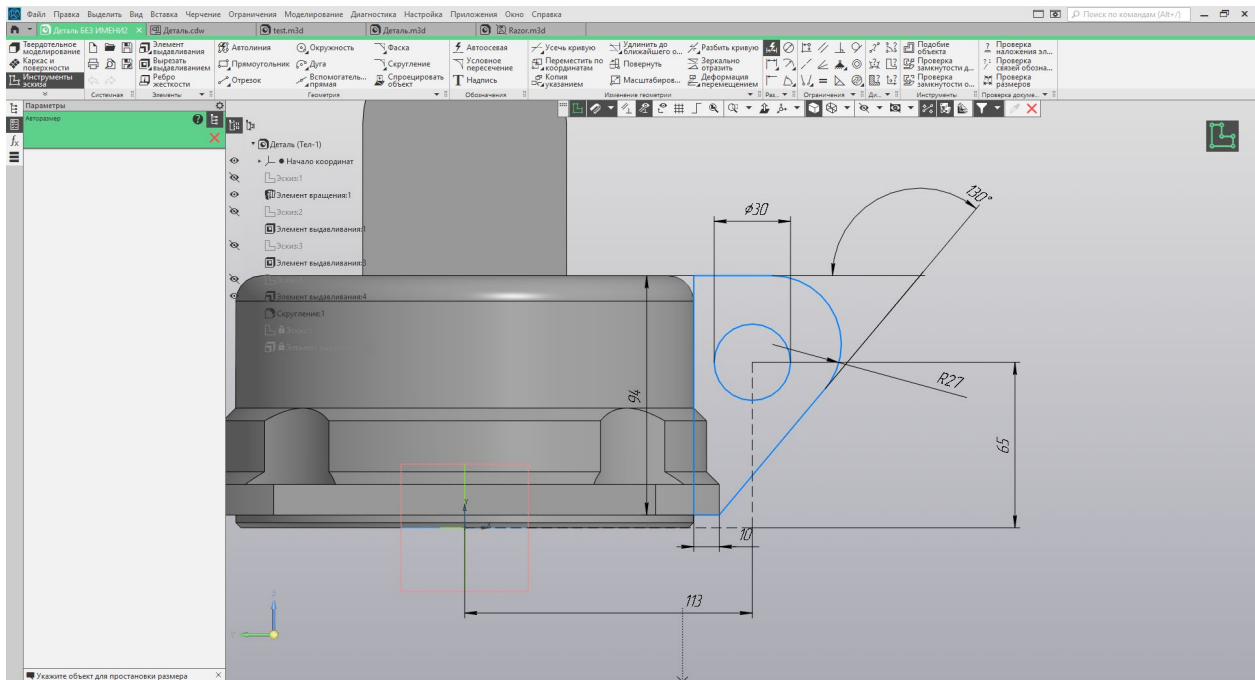


Изображение 8.

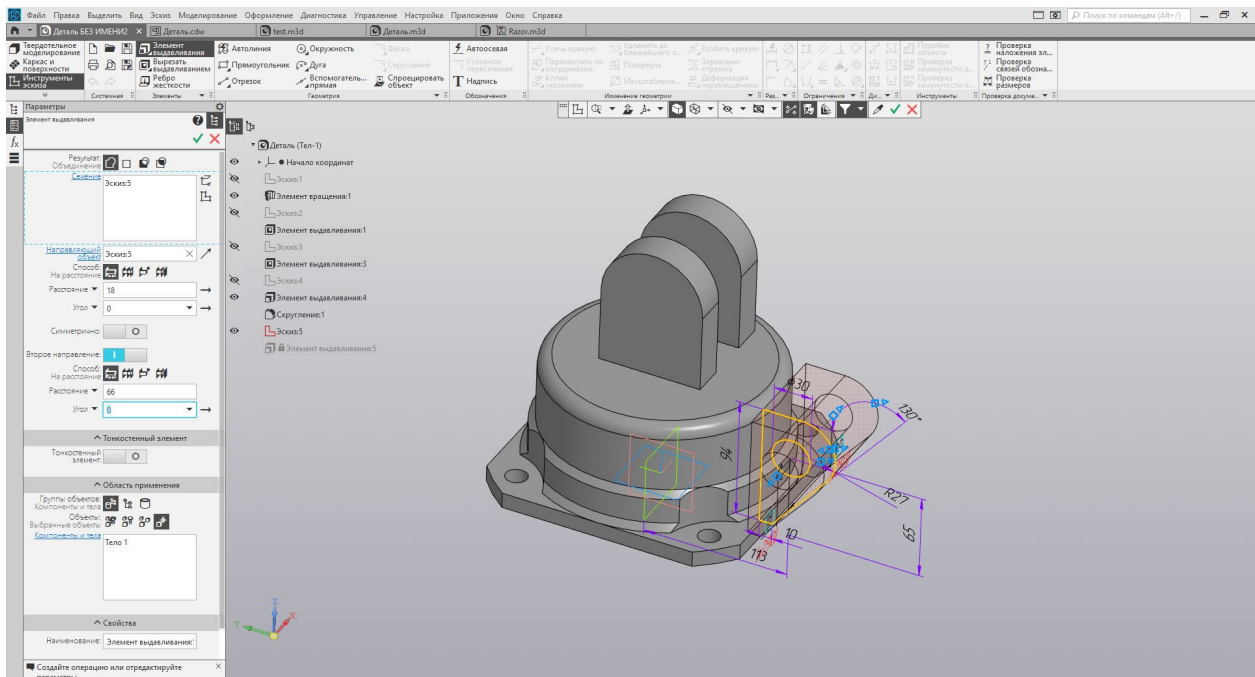


Изображение 9.

6. Начертим ушко с отверстием, как показано на Изображ.10 и 11.

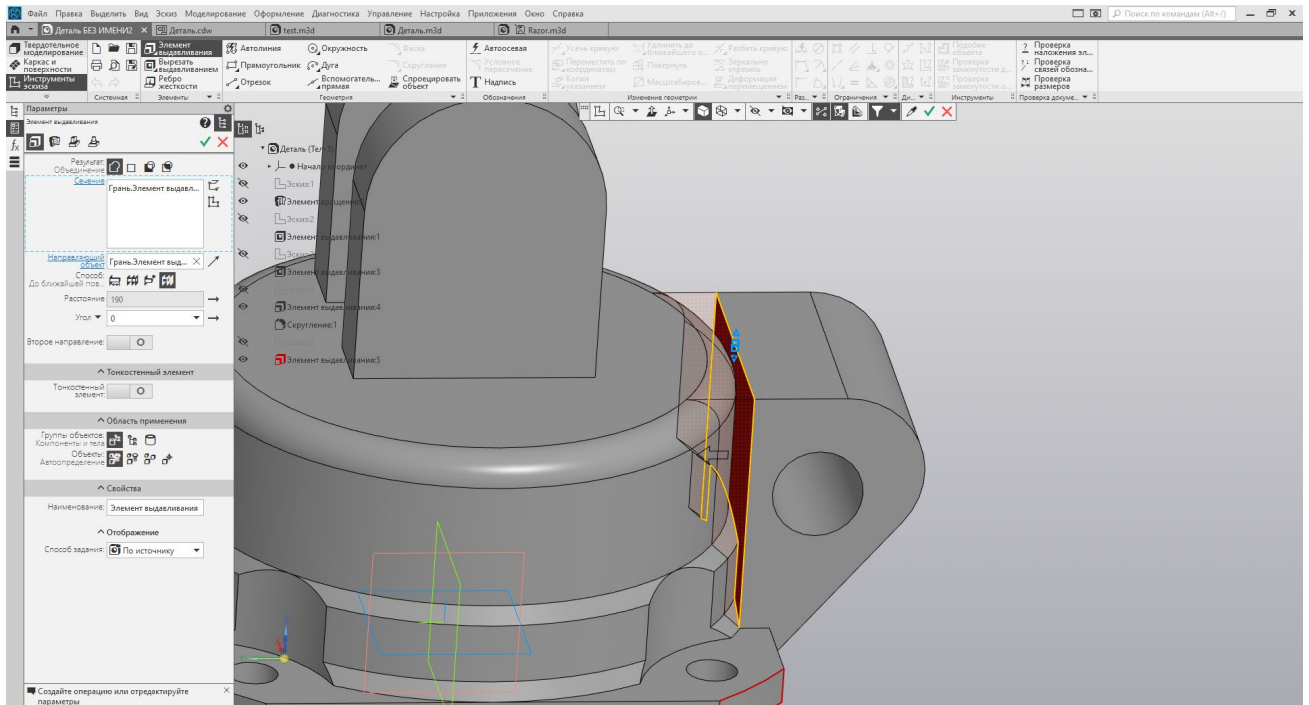


Изображение 10.



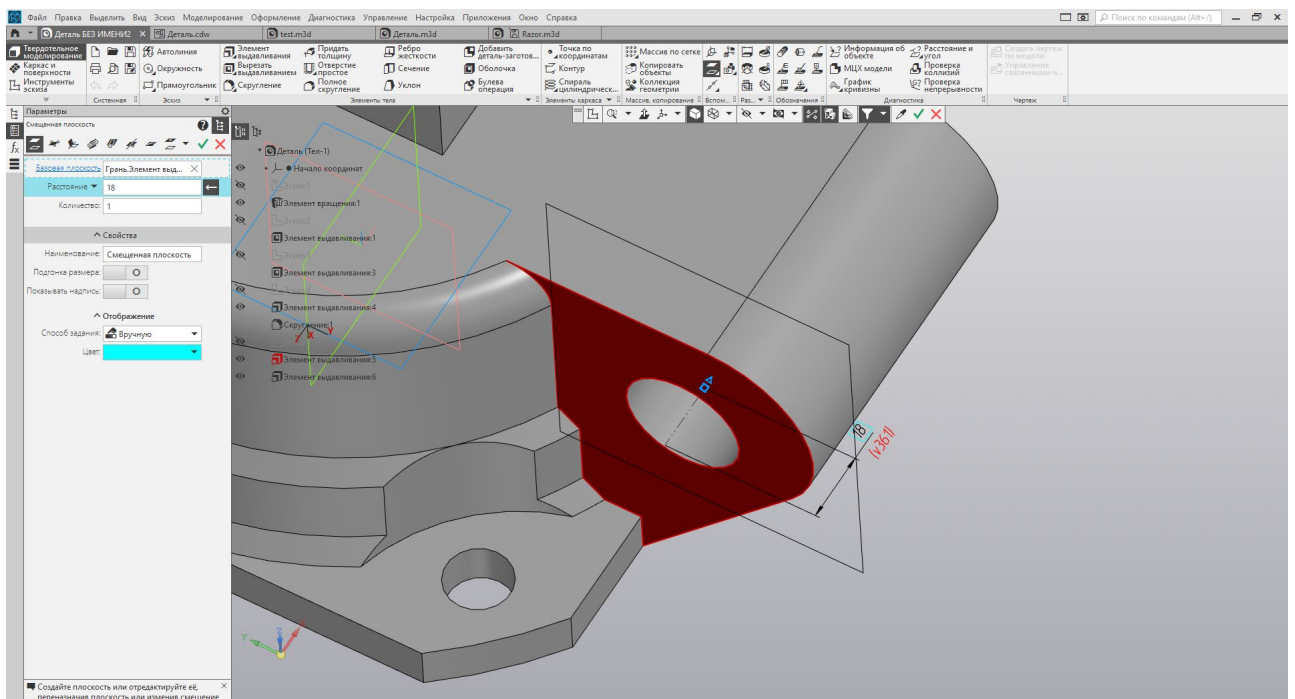
Изображение 11.

7. Сделаем выдавливание одной из граней ушка до поверхности, чтобы заполнить пустоту между ним и основным телом (Изображ.12).



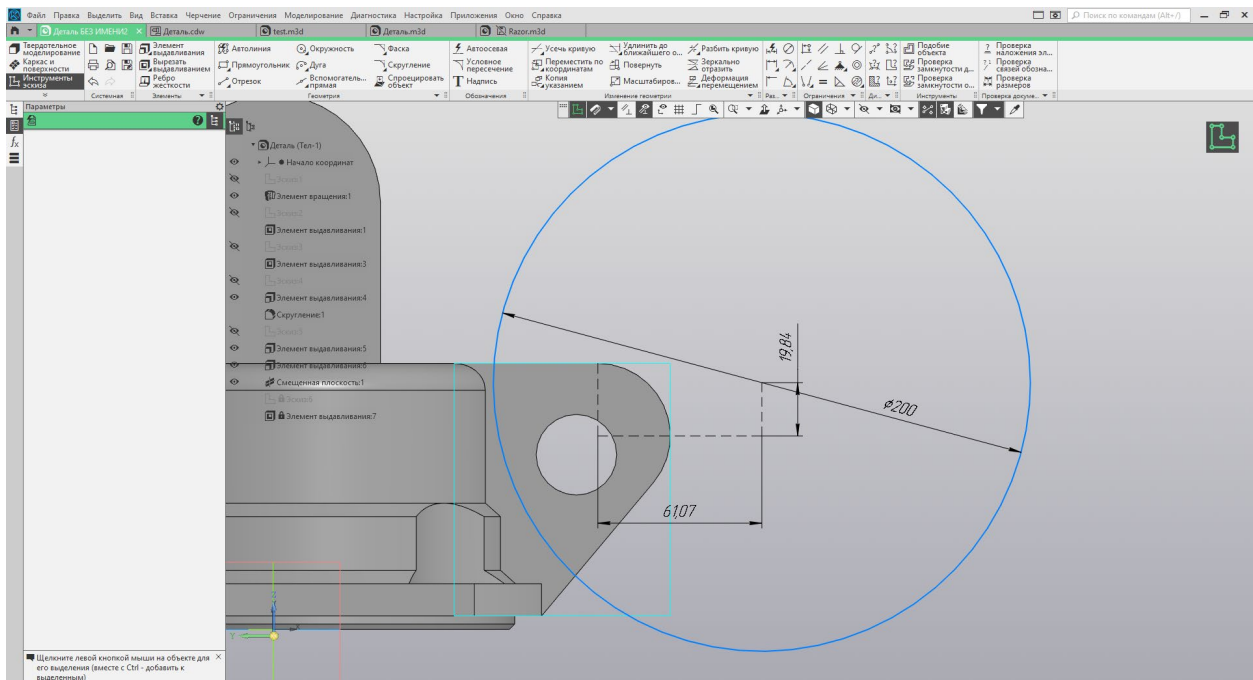
Изображение 12.

8. Построим вспомогательную плоскость для последнего выреза (Изображ.13).

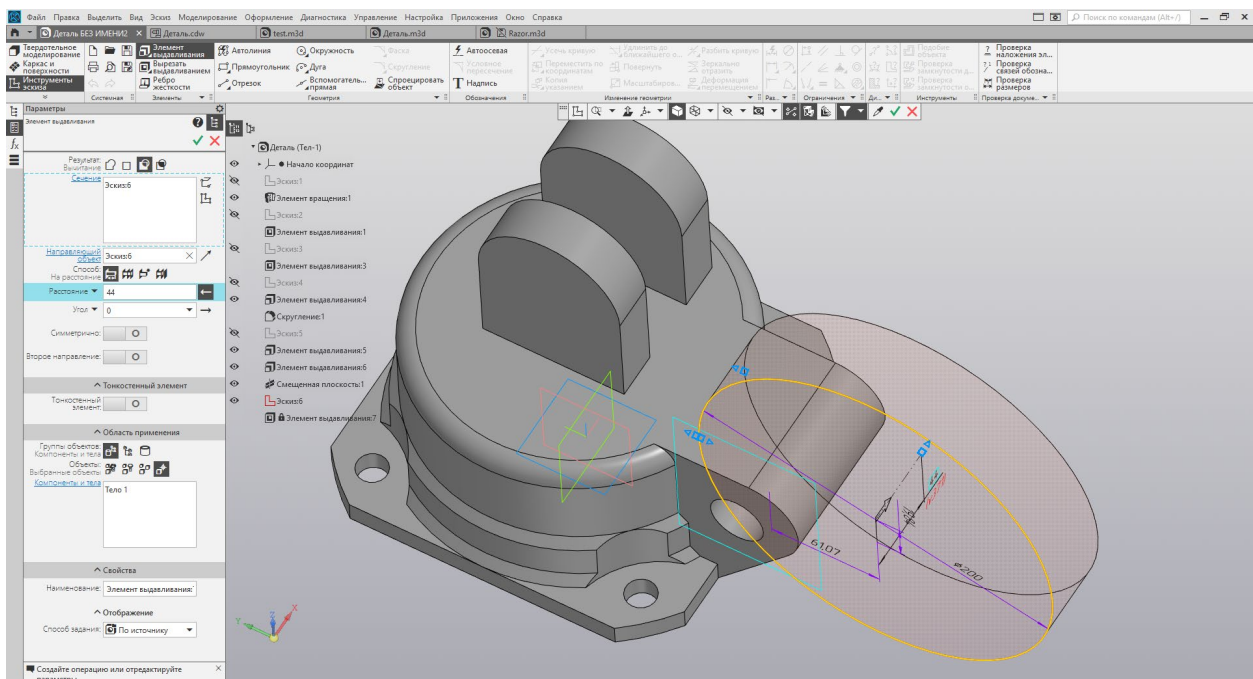


Изображение 13.

9. Строим эскиз и делаем вырез (Изображ.14,15).

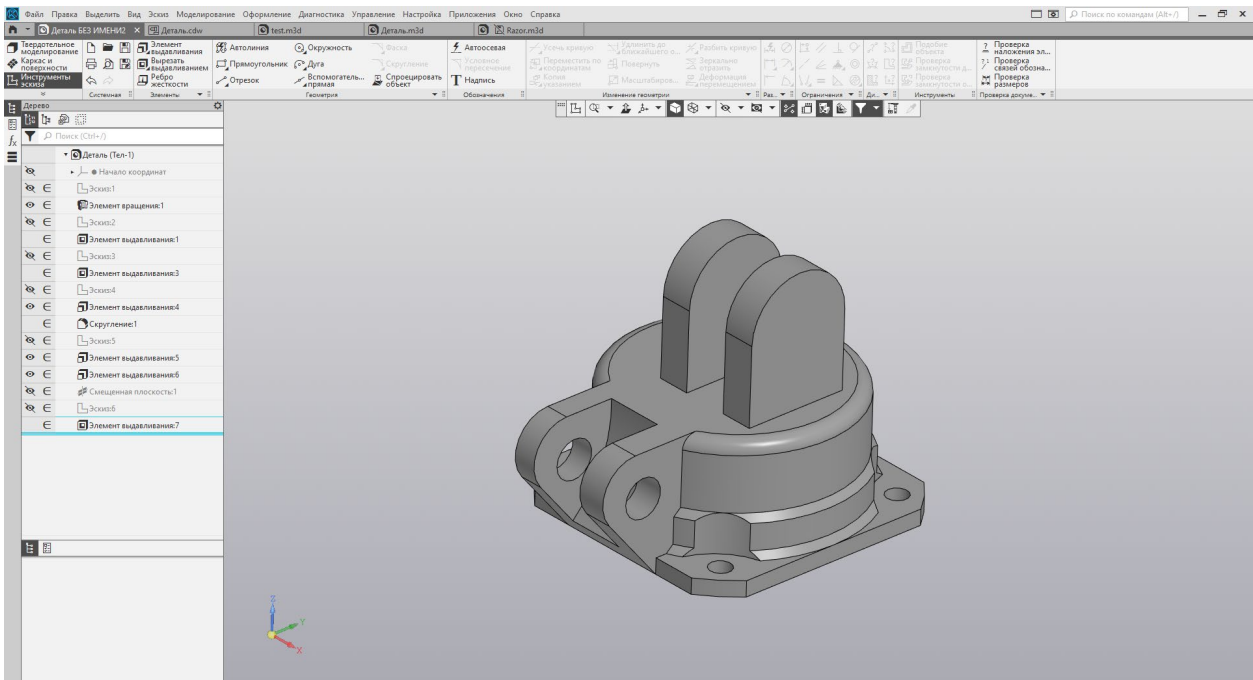


Изображение 14.



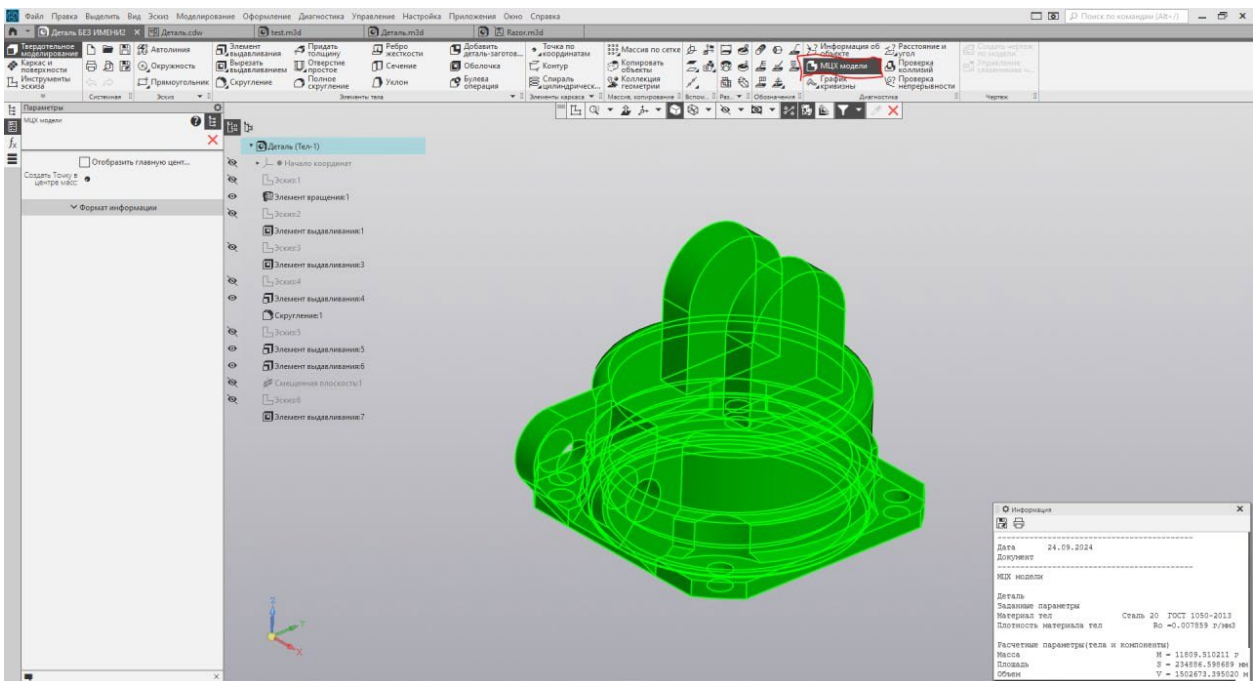
Изображение 15.

10. Деталь готова (Изображ.16).



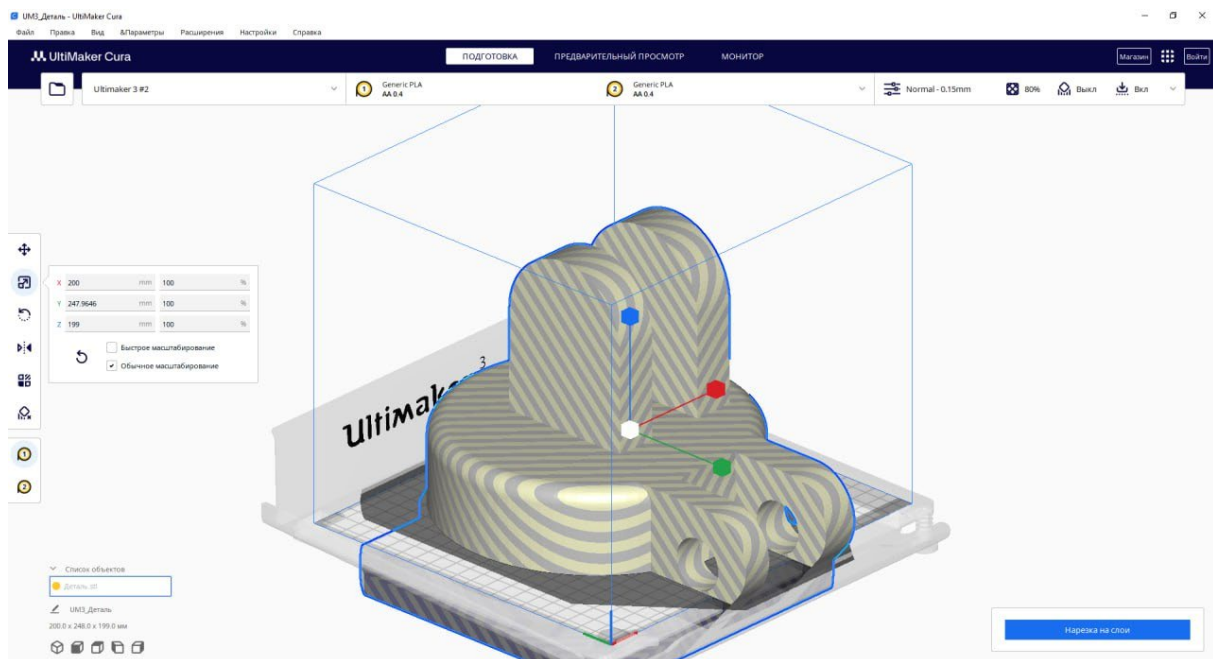
Изображение 16.

11. Далее необходимо определить объем и массы модели. К модели примените материал «Сталь 20», ГОСТ 1050-2013 (Изображ.17).



Изображение 17.

12. Загрузите файл 3D-модели в ПО Ultimaker Cura. Добавьте в слайсер нового принтера - Ultimaker 3. Параметры принтера оставьте по умолчанию, при выборе параметров печати используйте печатающую головку с соплом размера 0.4 мм. Уменьшите размер детали в 2 раза пропорционально по всем осям (Изображ.18).

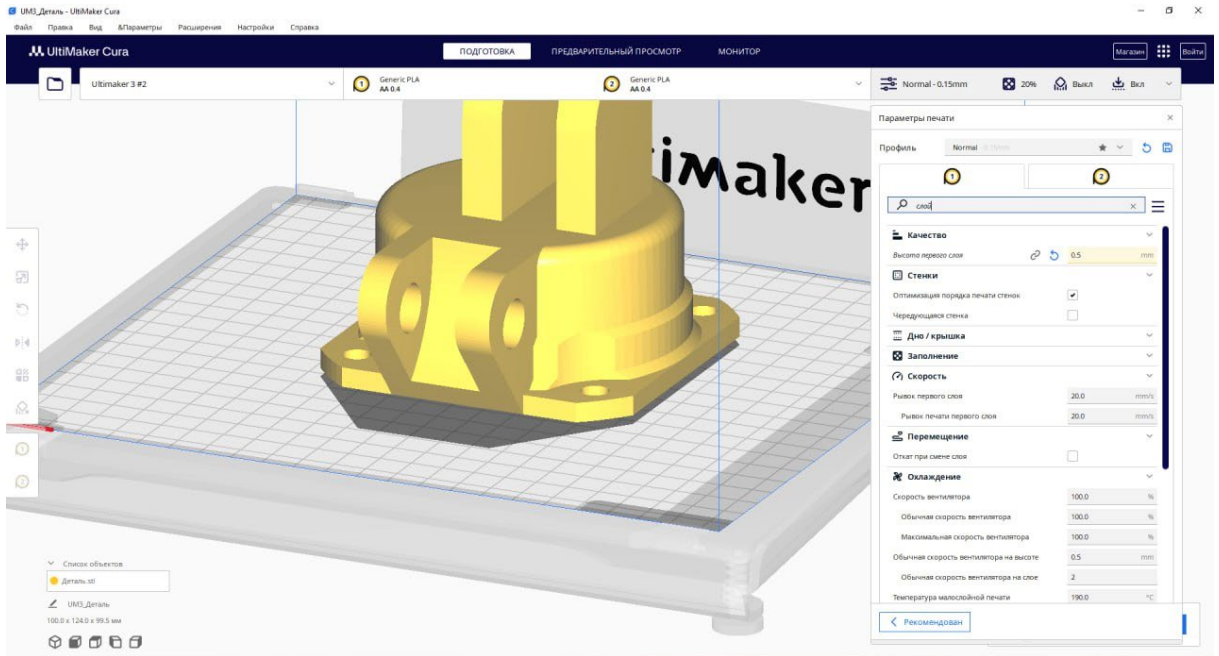


Изображение 18.

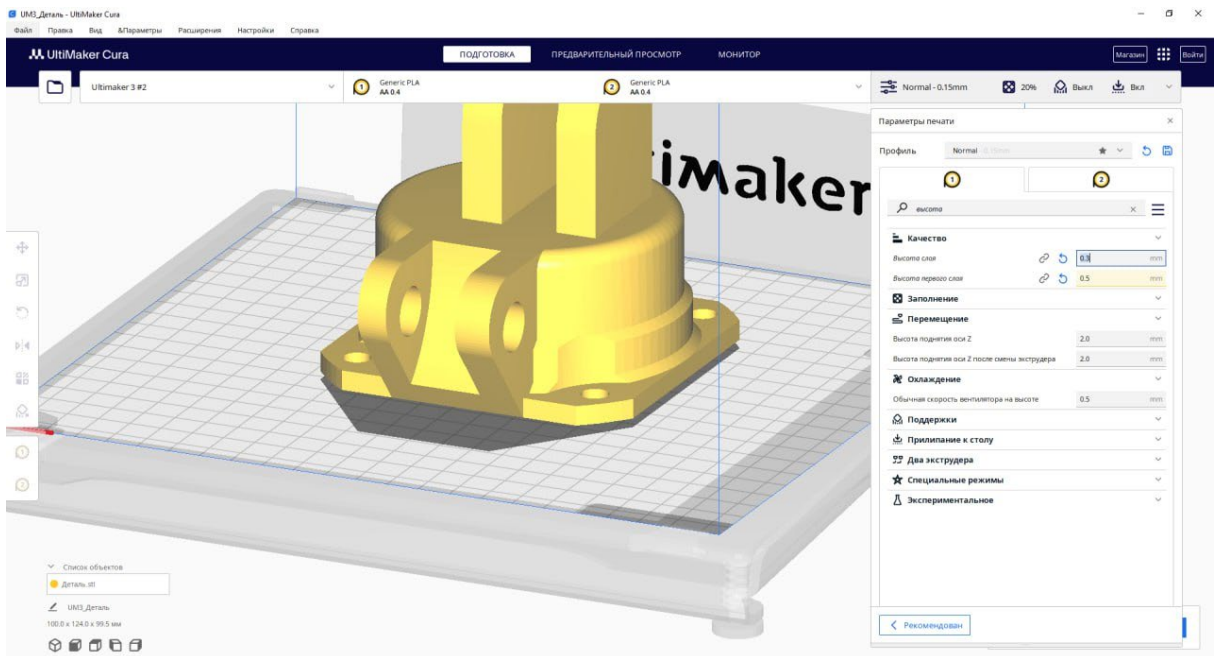
13. Далее необходимо установить параметры. Установите температуру печати и нагрева стола, соответствующую типу материала PLA. Оставьте остальные параметры установленными по умолчанию (Таблица 1. Изображ.19-24).

Таблица 1. Параметры печати

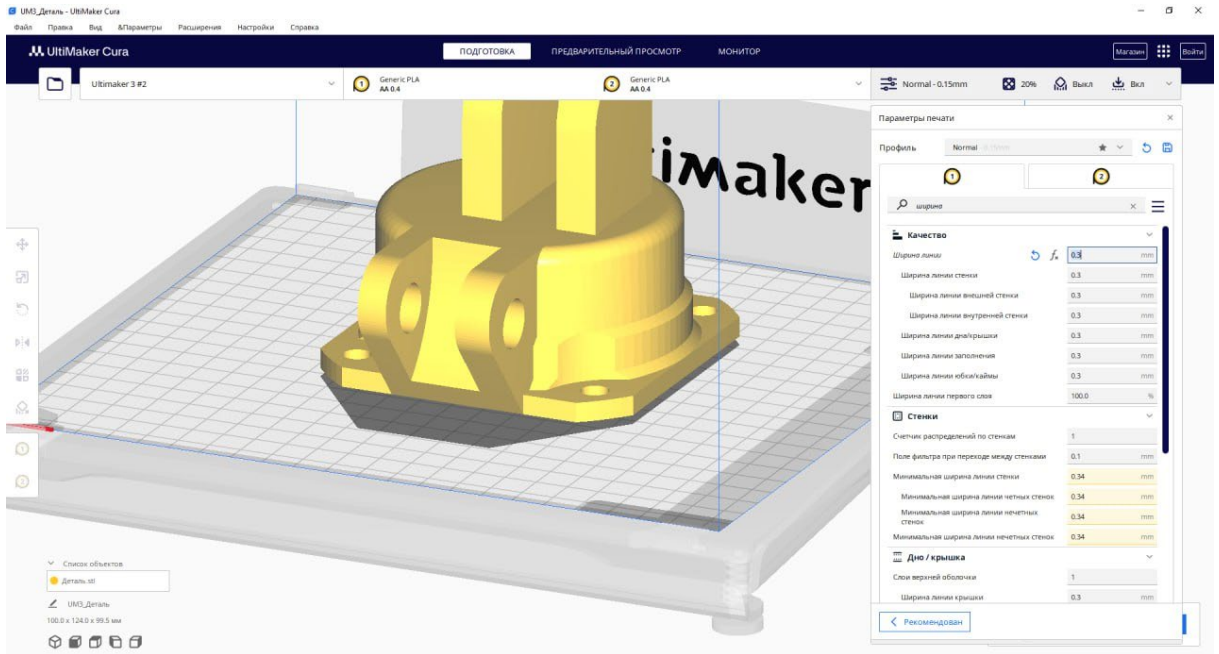
Параметр	Значение
Высота первого слоя	0.5мм
Высота слоёв	0.3мм
Ширина линии	0.3мм
Плотность заполнения	80%
Скорость печати	70мм/с
Скорость печати первого слоя	30мм/с
Тип поддержек	Без поддержки
Вентилятор	Выключен на первых двух слоях



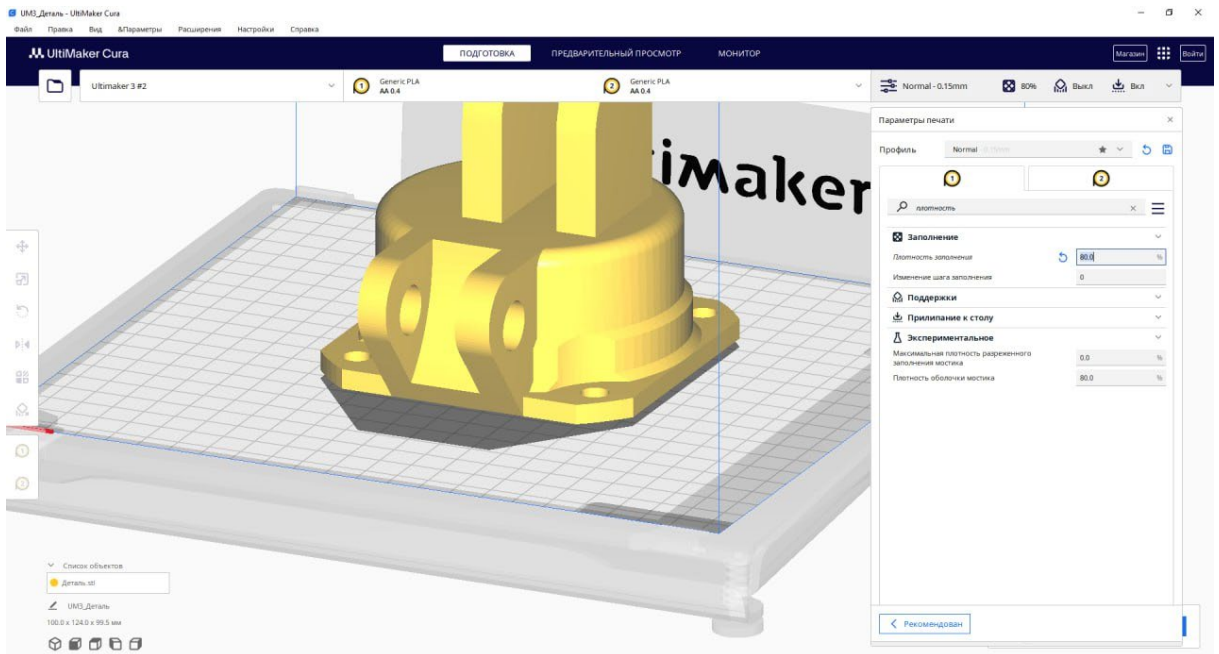
Изображение 19.



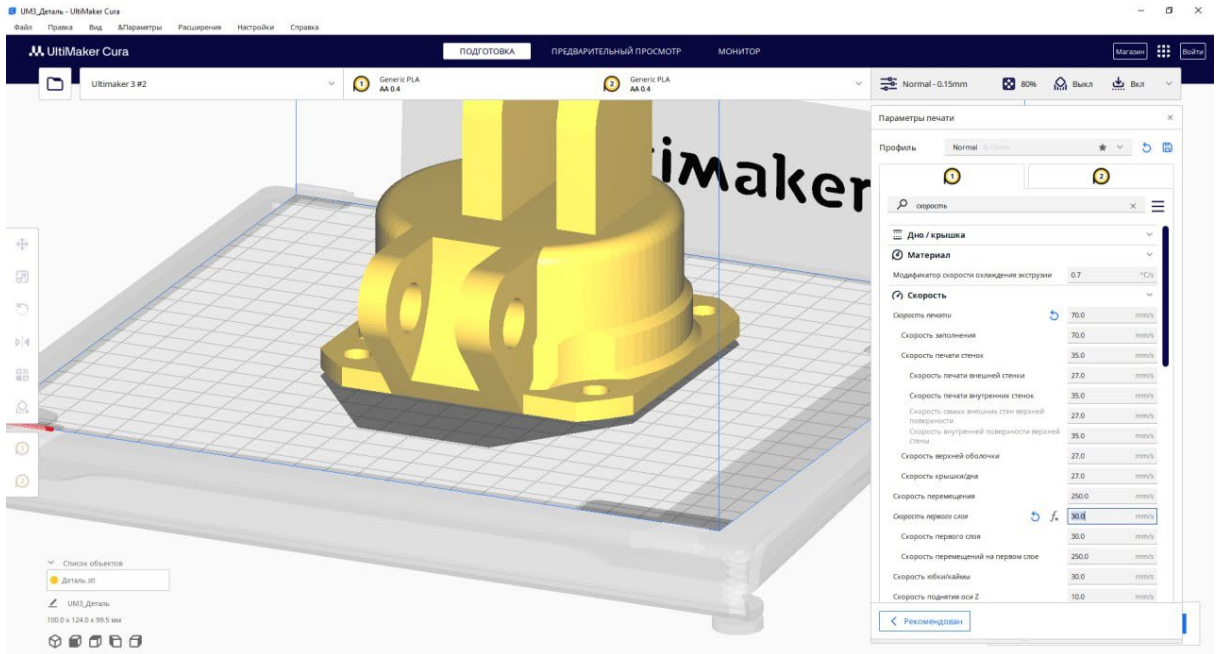
Изображение 20.



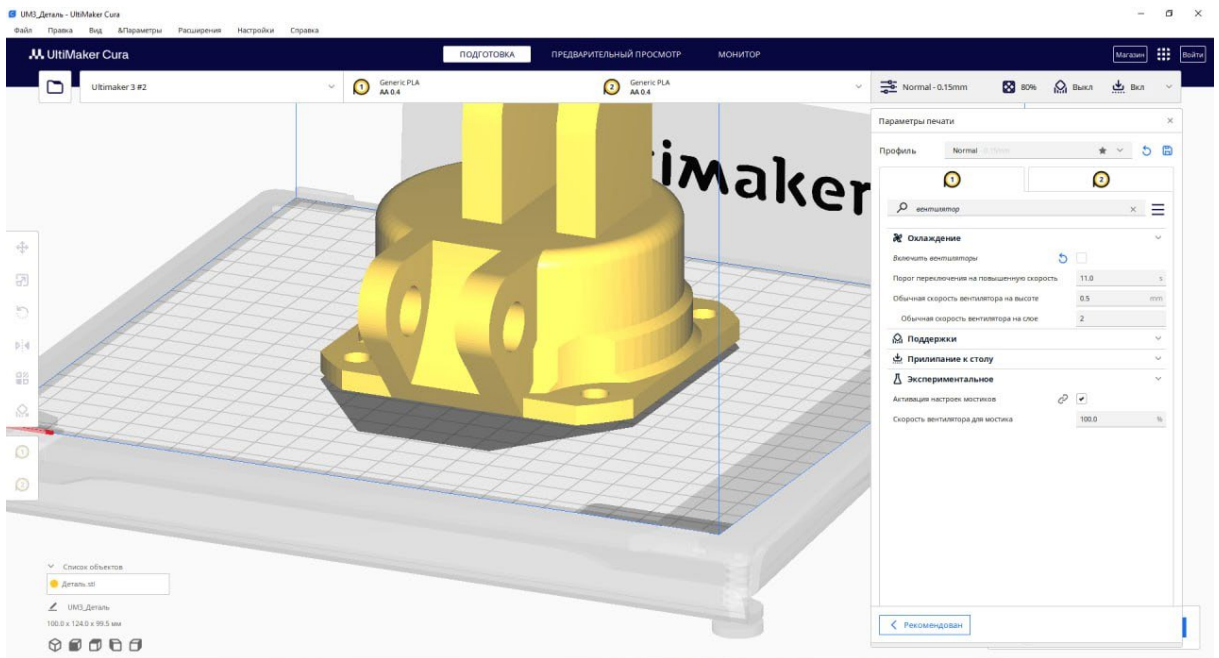
Изображение 21.



Изображение 22.

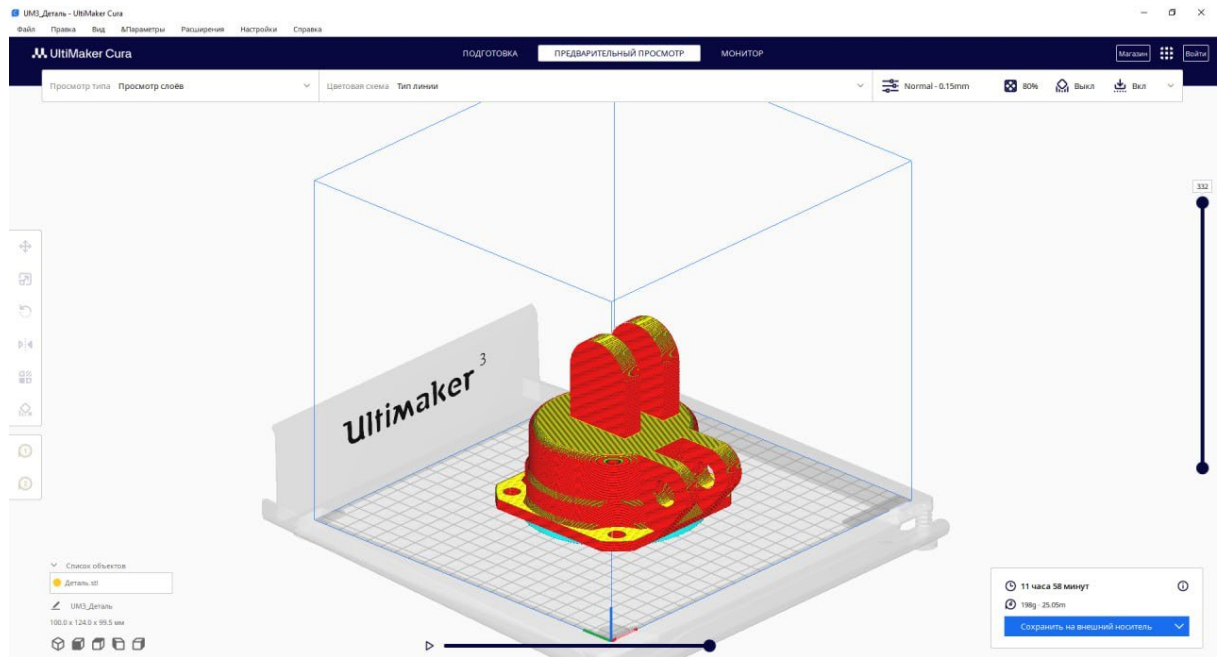


Изображение 23.



Изображение 24.

14. Определите массу модели (Изображ.25).



Изображение 25.