

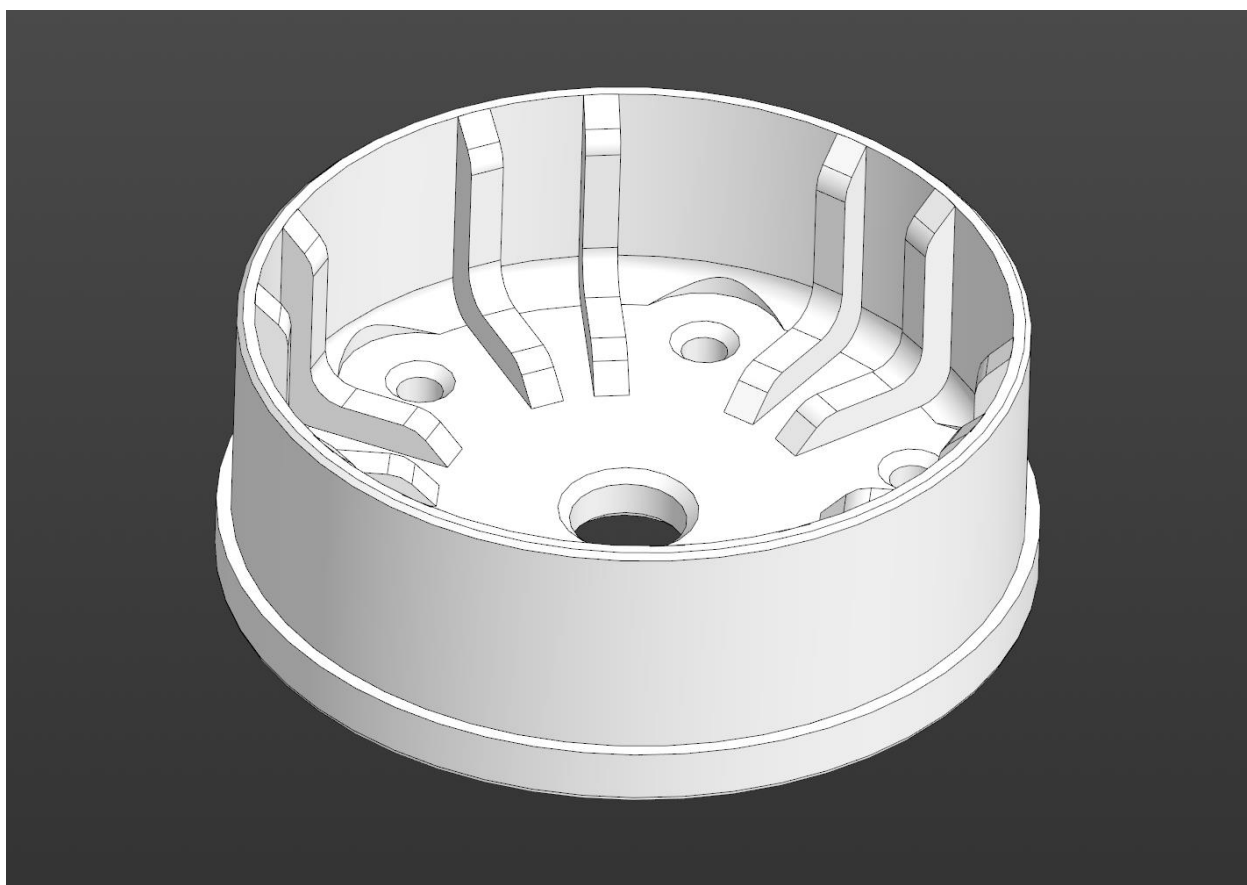
Задача 3.

Необходимо создать деталь, способную соединить корпус ракеты, представляющий собой тонкостенную трубку с внешним диаметром 70 мм, и топливный бак ракеты. Для выполнения последнего соединения в баке предусмотрены 7 глухих отверстий со стандартной резьбой.

Идея: создать деталь, которая одним концом будет крепиться на болты к баку, а другой её конец будет вставляться внутрь корпуса и фиксироваться в нём. Можно развить параллельную ветвь мысли: сам корпус будет вставляться в деталь. Но тогда наибольший диаметр поперечного сечения ракеты будет увеличен на столько, насколько прочной, а от того толстостенной, нужно создать деталь. А это плохо повлияет на обтекаемость ракеты. Поэтому такой вариант исполнения рассматривать не будем.

Исполнение 1 с неразъёмным соединением для печати на 3D принтере.

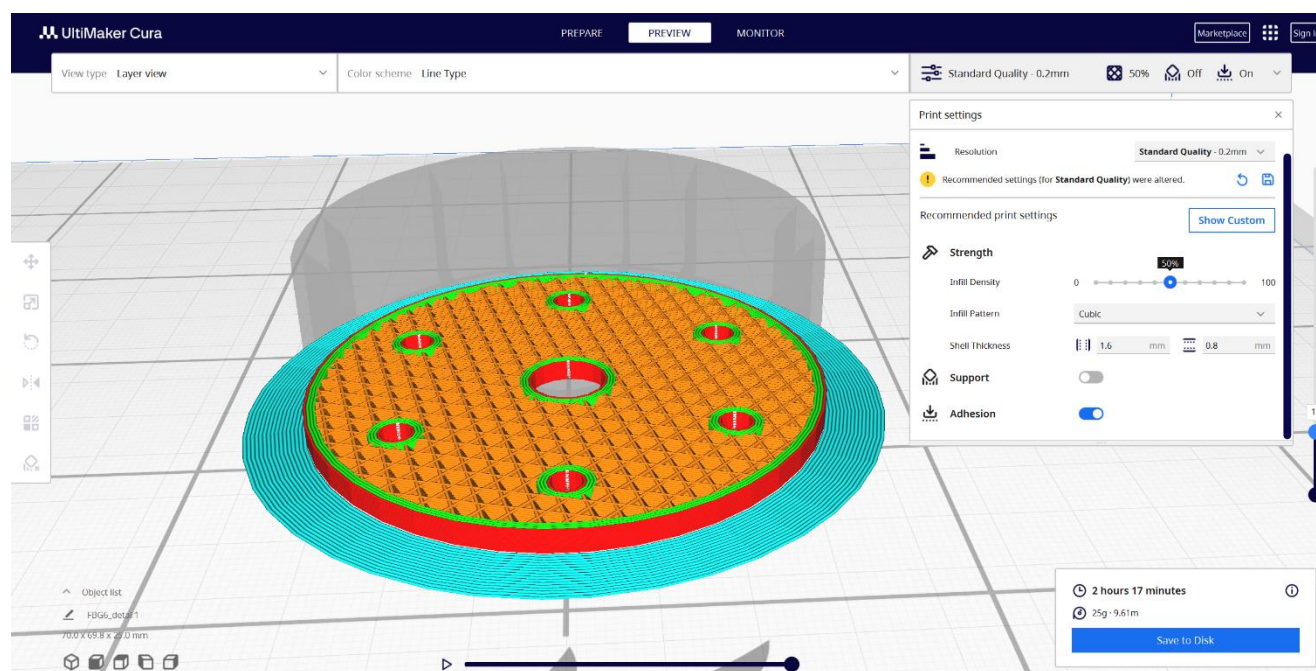
Неразъёмное соединение предполагается использовать в финальном варианте сборки ракеты, когда все системы отлажены и остаётся только поместить их внутрь корпуса без расчёта на дальнейшую модернизацию.



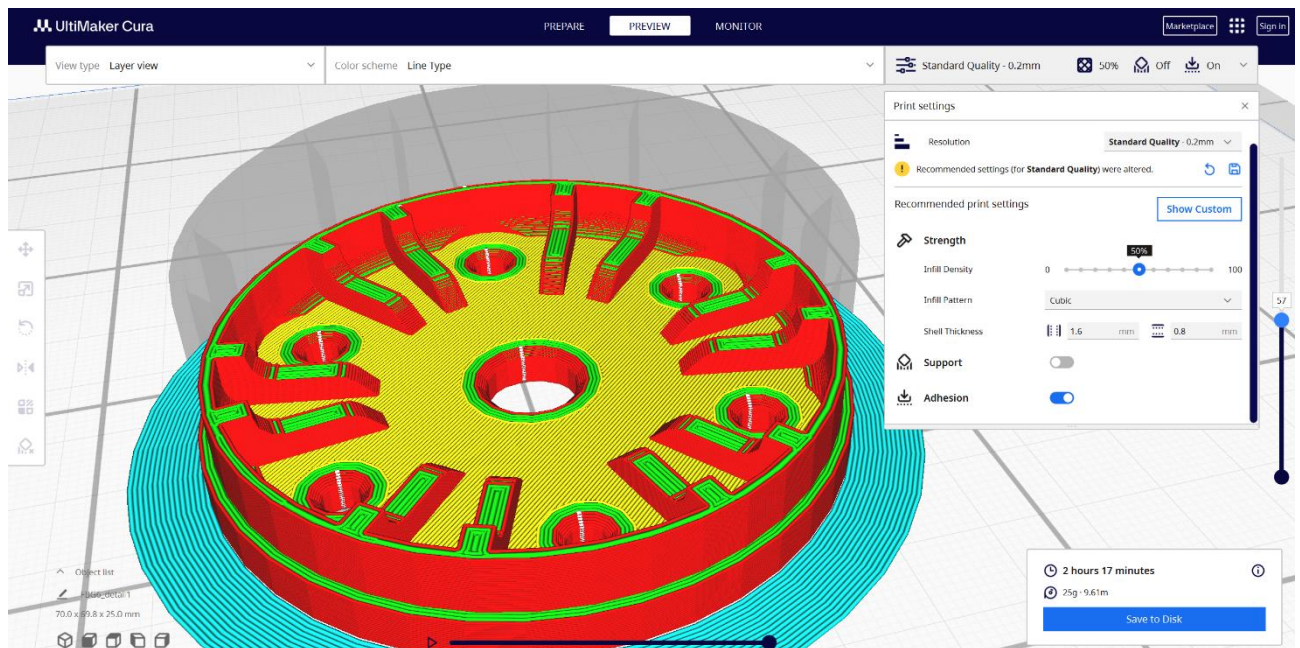
Основание этой детали имеет толщину 7 мм. Это сделано для обеспечения прочности при затягивании болтов с усилием. Цилиндрическая стенка, которая будет вставляться внутрь корпуса, имеет толщину 1.5 мм. Так как деталь

планируется изготовить на 3D принтере, причём наиболее оптимальное расположение детали на столе будет именно таким, как показано на рисунке, то плоскости слоёв будут параллельны основанию. При такой толщине стенки есть шанс, что от поперечных нагрузок во время полёта, а тем более нештатной ситуации, деталь может сломаться по слоям. Для предотвращения этого предусмотрено 12 рёбер жёсткости, расположенных на внутренней поверхности стенки. Такая необычная форма профиля рёбер жёсткости выбрана для увеличения свободного пространства внутри корпуса ракеты, которое можно будет занять полезной нагрузкой. Внешняя поверхность цилиндрической стенки имеет диаметр на 0.3 мм меньше внутреннего диаметра корпуса, чтобы обеспечить зазор для лёгкой установки детали на место. При остывании детали зазор может увеличиться на несколько десятых миллиметра. Фиксировать деталь в корпусе планируется эпоксидным клеем, поэтому лишнее пространство будет заполнено им. Высота боковой стенки составляет 20 мм. Это позволяет обеспечить необходимую соосность корпуса и бака и достаточно большую площадь склеивания. Разумеется, такое соединение получится неразъёмным.

Деталь будет изготовлена из ABS пластика. Он обладает большей прочностью по сравнению с другими пластиками.

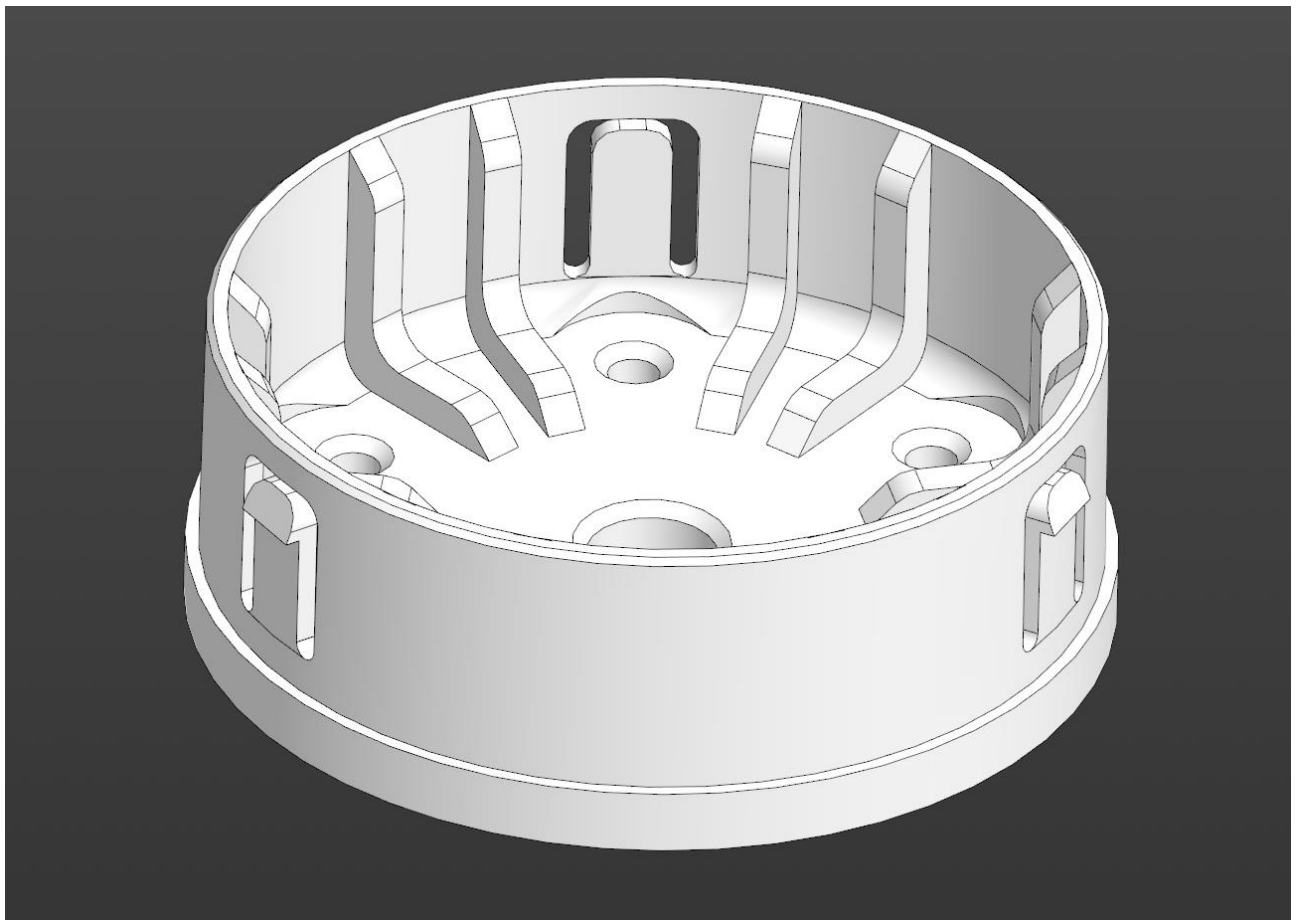


Для создания файла для печати я использовал слайсер Ultimaker Cura. При изменении плотности заполнения от 10% до 50% получается, что на каждые добавленные 10% масса детали увеличивается на 1 грамм. При дальнейшем увеличении плотности заполнения получается, что на каждые добавленные 10% приходится 2 или более грамма массы детали. Поэтому я решил остановиться на плотности заполнения 50%. Сетка получается достаточно плотной для придания жёсткости основанию, но притом обеспечивает оптимальную массу детали в 25 граммов.



При настроенной толщине стенки 1.6 мм, рёбра жёсткости и сама цилиндрическая стенка оказываются полностью заполненными (на рисунке это показывают зелёные линии укладки пластика), что положительно скажется на прочности детали.

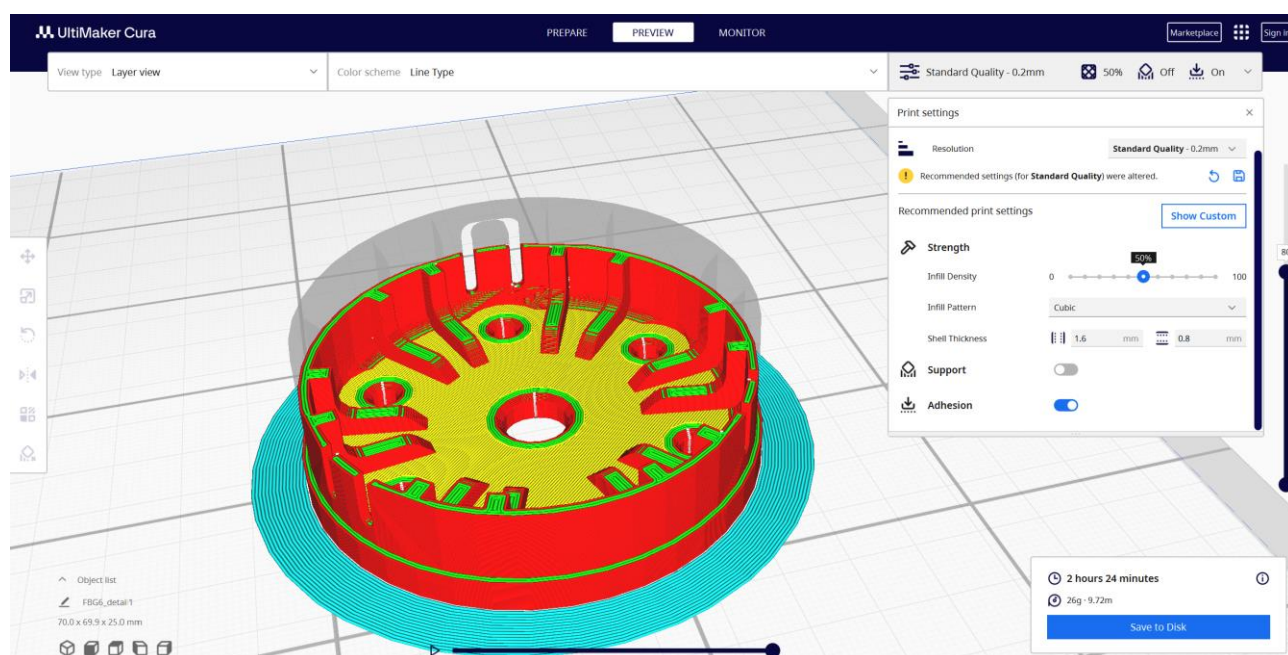
Исполнение 2 с разъёмным соединением для печати на 3D принтере.



В эту версию было внесено два конструктивных изменения.

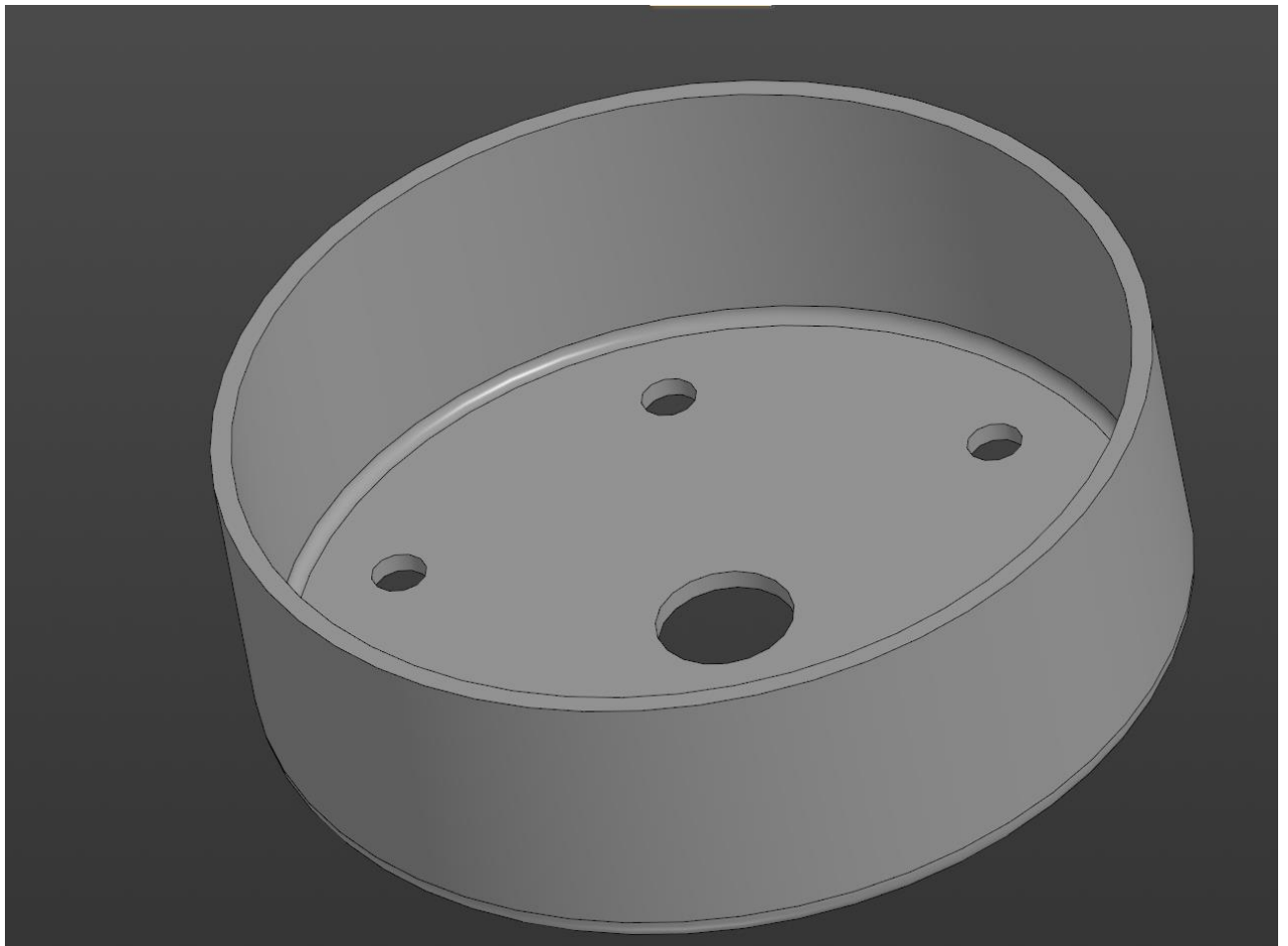
1. Внешняя поверхность стенки приобрела небольшую конусность. По мере установки детали внутрь корпуса, она будет всё плотнее и плотнее прилегать к его стенкам, компенсируя отсутствие эпоксидного клея большей силой трения.
2. Добавлены три фиксирующих элемента в виде защёлки. Когда деталь будет установлена на место, защёлки войдут в отверстия в корпусе, которые необходимо будет в нём сделать, и не позволят детали выскочить из корпуса. Такое количество фиксаторов обусловлено следующим. Деталь без защёлок обладает поворотной симметрией, причём минимальный поворот составляет 60° . Соответственно можно сделать $360^\circ/60^\circ = 6$ фиксаторов. Но тогда возникнут трудности с отсоединением детали—будет трудно нажать сразу на все 6 фиксаторов и одновременно тянуть деталь с усилием, чтобы её извлечь.

В случае если в корпус ракеты нельзя вносить абсолютно никаких изменений, то, защёлки можно убрать, оставив лишь конусность как единственный фиксирующий фактор. При необходимости, можно так же добавить клей.



Видно, что при тех же параметрах печати деталь имеет чуть большую массу — 26 граммов —, чем неразъёмная её версия. Это связано с тем, что из-за отверстий в боковой стенке суммарная площадь поверхности детали увеличилась, что увеличило используемого пластика. Вдобавок к этому, ещё немного пластика нужно для образования конусности. Чтобы в точности соответствовать массе 1-го варианта без защёлок, можно плотность заполнения сделать равной 40%, что, в целом, не столь критично.

Исполнение 3 для штамповки.



Этот вариант детали предполагает неразъёмную установку в корпус ракеты. Крепление по-прежнему осуществляется с помощью болтов через отверстия в нижней части детали к топливному баку, а к корпусу деталь можно прикрепить с помощью всё того же эпоксидного клея (предусмотрен небольшой зазор для заполнения клеем между внешней поверхностью детали и корпусом), либо с помощью вытяжных заклёпок, предварительно просверлив отверстия в корпусе и соединяющей детали, если допускается делать отверстия в корпусе. После штамповки наружная поверхность детали окажется более гладкой, чем у печатной детали. Нужно будет обработать боковую поверхность наждачной бумагой для создания искусственной шероховатости и улучшения адгезии в случае склеивания.

Данную деталь можно изготовить за один подход с помощью штамповки, объединив вытяжку стенки и просечку отверстий. Толщина листа заготовки 1.5 мм. Использовать можно дюралюминий. Он обладает высокой прочностью при малом удельном весе и довольно просто обрабатывается. Возможно, дюралюминий окажется слишком дорогим материалом по

сравнению с материалами остальной ракеты, поэтому можно использовать прокатную сталь. Но возникает вопрос экономической целесообразности способа изготовления данной детали штамповкой. Ведь для её получения требуется дорогостоящая оснастка, дорогостоящее оборудование, и всё ради одной детали. Если бы вопрос стоял о массовом производстве, то тогда использование такого варианта было бы оправдано гораздо большей скоростью изготовления деталей (минуты в сравнении с двумя часами для печати на принтере) и их количеством (себестоимость тем меньше, чем больше количество изделий). Но подразумевается штучное изготовление этой детали, поэтому при использовании технологии 3D печати себестоимость детали получается гораздо меньше.

Масса детали, изготовленной из дюралюминия марки Д16—31.8 граммов.

Масса детали, изготовленной из стали 45 —89.7 граммов.