



Основы 3D печати.

Прежде всего, это **экспресс-курс** по печати, который ни в коем случае не претендует на полное обсуждение всех нюансов, методик и возможностей. Большая часть материалов есть на YouTube, с наглядными демонстрациями. 3D-печать по-прежнему базируется на собственном опыте печатника, никаких четких инструкций не существует, есть только советы и рекомендации от более опытных людей.

Курс предполагает что вы знаете основы работы на ПК, некоторые познания в физике ~~высоких энергий~~, механике ~~космических кораблей~~ и электричества.

## Термины 3D-печати.

**Филамент** — пластик для печати. Выглядит, как катушка пластиковой нити. Диаметр бывает 1,75мм и 2,85 мм. В обычных принтерах используется диаметр 1,75мм и катушки в 1 кг. Есть больше или меньше по массе, выбирать вам.

**Сопло, фильера** — насадка, из которой выходит расплавленный пластик. Бывает от 0,2 до 1 мм. В стандартной поставке стоит 0,4 мм. Не спрашивайте, почему именно такой размер. Вот так получилось, что он оптимальный. Бывают латунные, стальные, закаленные, а также с рубиновым наконечником. Все, кроме латунных, нужны для композитных филаментов.

**Термобарьер** — полая трубка, стоящая между соплом и входом филамента. По сути, отделяет горячую зону от холодной. Конструкция бывает с ПТФ-трубкой внутри, цельнометаллическая и биметалл (два металла в разных частях). Почти на всех китайских принтерах стоит с ПТФ-трубкой.

**Фидер\*** — к рыбалке отношения не имеет. Это верхняя часть печатающей головы принтера, отвечающая за подачу филамента.

**Экструдер\*** — нижняя часть печатающей головы принтера. Здесь пластик плавится и выходит из сопла.

\*Фидер и экструдер часто называют просто экструдером или печатающей головой, т. к. конструктивно они связаны и часто продаются уже в сборе.

**Толщина слоя** — критичный параметр печати. Толщина слоя расплавленного пластика должна быть не больше 2/3 диаметра сопла. То есть из сопла 0,4мм вы можете печатать толщиной 0,3мм, не более, иначе пойдут проблемы.

**Ширина слоя(Ширина линии)** — критичный параметр печати. Ширина может быть до двух диаметров сопла, но не меньше одного диаметра. Например, при сопле 0,4мм можно печатать шириной от 0,4 до 0,8мм.

**Поток** — поток расплавленного пластика, измеряется в процентах. Зависит от возможности нагревателя плавить определенный объем пластика. Используется в разных вариантах печати.

**Адгезия** — способность пластика прилипать к столу в начале печати. Также означает степень спаянности слоев пластика между собой. Зависит от типа стола, его температуры и типа пластика.

**PEI-покрытие** — специальное покрытие стола в виде пленки или гибкой пластины. Обеспечивает адгезию пластиков за счет свойств этого самого покрытия.

**Ультрабаза** — еще один вид покрытия стола в виде тонкой пленки с адгезивными свойствами. Часто служит очень не долго, в какой-то момент отрываясь вместе с моделью. Но само стекло можно использовать, перевернув покрытием вниз.

**Откат** — нет, это не то, о чем вы подумали. Когда в процессе печати принтер перемещает печатающую голову, он немного подает филамент вверх, чтобы капли уже расплавленного пластика не портили печатаемую модель. Вот это и есть откат. Значение в мм, зависит от типа печатающей головы, пластика, частично от температуры его печати.

**Боуден** — тип печатающей головы, когда мотор подающий пластик располагается далеко от самой головы, на корпусе или раме принтера, к примеру. Это повышает скорость печати, но имеет и свои недостатки. В этом случае откат делается большой 3-6мм.

**Директ** — тип печатающей головы, когда мотор непосредственно установлен в голове. Из-за большой массы скорости у таких принтеров небольшие, но позволяет печатать большим набором пластиков, включая мягкие. Здесь откат совсем небольшой 1-2 мм.

**Печатный стол** — собственно стол, на котором печатается модель, обычно с подогревом. Бывают типа ultrabase, всяческие наклейки и пластины с специальным покрытием, обычное и закаленное стекло. Широко распространены PEI-пластины и обычное стекло.

**3D-клей** (адгезив) — клейкое вещество на основе энтеродеза (повидона). Используется для повышения адгезии и упрощения отделения модели от печатного стекла. Можно купить готовый, можно сделать самому.

**Дрыгостол** — народное название кинематики (подвижная механика) принтера, когда стол двигается по оси Y, а голова, посредством рамы по X и Z.

**Кубик** — тоже кинематика принтера, только тут стол двигается по оси Z, а голова по X, Y. Есть разные схемы такого движения, вдаваться в подробности сейчас незачем.

**STL** — широко распространенный формат файлов моделей для печати.

**Слайсер** — программа подготовки файла к печати. Есть несколько распространенных вариантов, тут будет описываться бесплатная Ultimaker Cura.

**GCODE** — собственно команды принтеру, записанные последовательно в файл. Генерирует его программа-слайсер с выбранными пользователем настройками. Можно менять в любом текстовом редакторе, но новичкам не рекомендуется. Готовится под конкретный принтер и конкретный пластик (есть исключения). **Запускать непонятный GCODE на принтере НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ.**

**Поддержки** — структуры, создающиеся при печати для поддержания нависающих частей модели. После печати отделяются с помощью кусачек и обценной лексики (иногда без).

## Сборка принтера.

Хотя в инструкции принтера детально показана сборка, следует обратить особое внимание на некоторые детали:

- Протяните все болты и гайки, при транспортировке они могут открутиться.
- Проверьте натяжение ремней и плавный ход по всем осям, проверьте вращение роликов.
- Не должно ничего греметь внутри, если разбираетесь в электронике, проверьте соединения проводов, наличие радиаторов на драйверах моторов.
- Проверьте работу вентиляторов.

### Необходимые инструменты и запасные части:

Обычно в комплекте принтера идет некоторый набор, но советую докупить:

- 1 килограмм пластика, которым собираетесь печатать. Для освоения печати такого количества достаточно.
- Штангенциркуль(электронный), замерять напечатанные детали.
- Адекватные шестигранные ключи, комплектные часто полное Г.
- Ключ для снятия сопла. Подходят от автомобильных наборов инструментов шестигранные головки и, поскольку сопло снимается на горячую, желательна какая-то ручка к ним. Можете смоделировать и напечатать — отличная практика. В китайском онлайн магазине можно купить как отдельный ключ, так и набором инструментов. Но надо ли...
- Комплект пружин для натяжения ремней, если у вас нет встроенных натяжителей.
- Кисточку для сметания остатков пластика из труднодоступных мест.
- Шпатель металлический в случае стола с стеклом(часто идет в комплекте). Для PEI и ультрабазы НЕ ПРИМЕНЯТЬ!
- Тонкая игла равная диаметру сопла, если ее нет в комплекте.
- Тонкий пинцет.
- Новую SD-карту хорошего качества.
- Небольшой фонарик, чтобы заглядывать в принтере туда, где не светит солнце.
- Запас сопел 0,4мм, если их нет в комплекте. Также, можете взять сопла с диаметров 0,6 и 0,8мм. Меньше диаметром существуют, но практически не используются.
- Если есть возможность, запасную горячую часть с датчиком и нагревателем (hotend kit).
- Маленькая щетка(размер под зубную щетку) с ворсом из металла(обычно латунь), для чистки сопла и термоблока от остатков пластика.

### Опционально:

- Неплохо себя показал стоматологический набор из зеркала, пинцета и нескольких инструментов разной формы. Используется при осмотре, ремонте, обслуживании принтера.
- Более тихие вентиляторы.
- Некоторые покупают небольшие огнетушители, можно даже автоматические. Да, бывали случаи что принтер сгорал, захватывая вместе с собой много чего еще.

# Основы 3D-печати.

## Настройка принтера.

После сборки принтера его нужно настроить. Обычно это пишется в инструкции к нему, но есть несколько нюансов.

Самое главное — настроить правильно стол. От этого зависит адгезия первого слоя печати. Обычно настраивают с помощью листа бумаги. Но можно использовать набор щупов для выставления зазоров на автомобиле. Там есть щуп с 0,1 мм, что позволяет первично выставить стол более точно.

В дальнейшем калибровка стола будет производиться только после замены сопла, стекла, ремонта и т. д. Крайне редко попадаются плохие пружины на столе и выставленный стол сам «уезжает» от уровня. пружины должны быть сжаты не менее 80-90%

Далее все параметры приведены для сопла 0,4мм.

## Процесс подготовки к печати.

В общем случае процесс подготовки состоит в следующем:

Добавляете STL модель в программу-слайсер. Выставляете параметры печати, они зависят от геометрии модели и пластика. В процессе работы программы формируется еще один файл, представляющий GCODE – команды принтеру. Через флешку или сеть он переносится на принтер и запускается.

### ВНИМАНИЕ!

**При освоении печати, вручную изменять GCODE – это последнее, чем вы должны заниматься.**

Так как он имеет не слишком читательный вид (хотя это обычный текст), проверить вы его не сможете. И делать в нем изменения тоже стоит с осторожностью, изучив хотя бы основные команды. Именно поэтому не стоит запускать чужой GCODE на вашем принтере, может все закончиться плачевно.

В общем случае нужно выставить:

- **Высоту слоя** — определяет качество печати, обычно ставится 0,2мм.
- **Количество линий стенки** — от 3 до 5, влияет на качество поверхности и прочность детали.
- **Выравнивание шва по Z** — определяет, где и как будет проходить шов, это начало и конец текущего слоя печати.
- **Настройки угла шва** — помогает скрыть шов.
- **Слои крышки и Слои дна** — количество слоев внизу и вверху модели, аналогично стенкам. Обычно 3 достаточно, но, если слой тонкий (к примеру, 0,1 мм) количество слоев требуется увеличить.
- **Плотность заполнения** — внутри модели для экономии пластика выстраивается трехмерная структура. Она может быть с разным «рисунком», который так же влияет на прочность. Обычно 20% и шаблона «сетка» достаточно для большинства моделей.
- В разделе **Материал** обязательно проверить **температуру сопла** и **температуру стола**, они должны соответствовать применяемому пластику. Для PETG обычно 230 сопло, 70 стол. Но могут быть отклонения, т. к. рецепты пластика разные и

температуры нужно подбирать под каждого производителя отдельно. Обычно на катушке указывается диапазон температур.

- **Скорость печати** — тут зависит от вашего принтера, она указывается в инструкции. Правда, обычно ее завышают раза так в два. Обычная скорость печати кубиков 40-60 мм/с, дрыгостолов 60-80 и вплоть до 150 при некоторой доработке. Опять же, если деталь высокая, скорость не стоит завышать, может слететь со стола из-за инерции.
- **Величина отката и скорость отката** — в общем случае величина у боудена до 5-6мм, у директа до 1-2 мм. Скорость отката варьируется от 20 до 40мм/с (плюс-минус). Точные значения подскажут только тесты.
- **Скорость вентилятора** — зависит от пластика. PLA нужно всегда 100%, для PETG от 50 до 70%, для АБС отключить. Позже будет пояснено, где и как нужно изменять в особых случаях печати.
- **Поддержки** — включать или нет, зависит от геометрии модели. Советую поэкспериментировать с этим режимом печати, так как отделение поддержек после печати иногда очень непростой процесс. Но при правильных настройках они должны и отделяться хорошо и оставлять ровной поддерживаемую поверхность.
- **Тип прилипания к столу** — юбка используется для очистки сопла перед печатью модели (есть еще вариант, но это в другом месте делается). Кайма печатается для увеличения устойчивости модели, если у нее малое пятно контакта со столом. Подложка используется крайне редко, это своего рода поддержка всей модели независимо от предыдущей настройки.
- Специальные режимы рассмотрим чуть позже.
- Крайне не рекомендуется изменять или применять параметры сути которых вы не знаете.

## Печать калибра.

Начать печать стоит с калибра для проверки наковальников. На нем написан диаметр, в который нужно попасть при печати.

Проблема состоит в том, что любой пластик при печати усаживается, сжимается. Причем это сильно зависит от геометрии. У разных пластиков разные усадки, от 0,5% у нейлонов и композитов до 3-4% у некоторых видов АБС.

Однако, АБС, нейлоны и композиты очень сложны в печати и на принтерах с открытым столом не используются. Как минимум, нужен закрытый принтер с хорошей термоизоляцией камеры и хотенд способный расплавить эти филаменты.

PLA хотя и прост в печати, не используется из-за своих свойств. При нагреве до 60 градусов он теряет твердость, а при охлаждении становится хрупким.

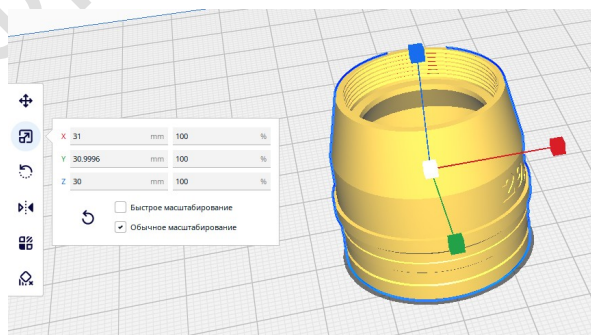
Мы для печати используем пластик PETG, у него усадка до 1,5%, что хватает чтобы размеры плавали до 0,5мм. Тем не менее это оптимальный пластик для печати всех моделей представленных в УФ.

Чтобы попасть в нужный нам размер, сначала печатаем как есть. Измеряем штангенциркулем (да, придется купить) диаметр в выделенной цветом области. Определяем его за 100% и вычисляем поправку. Вводим эту поправку в параметрах масштабирования модели и печатаем заново. Добиваемся, чтобы размер был точным. Этот калибр пригодится в дальнейшем, когда будем печатать наковальник и хвост.

То есть. Исходный диаметр 29.9-29.8 мм Допустим что у вас получилось 31 мм. Тогда мы берем  $29.9 \cdot 100$  и делим на получившееся 31 и получаем 96.451%.

После чего данное число вносим вместо 100% по X и Y .

Данный коэффициент допускается к дальнейшему применению при печати изделий.



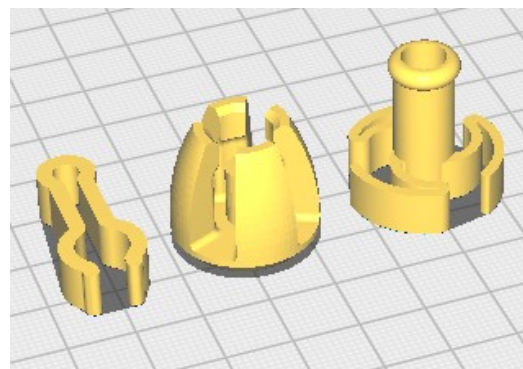
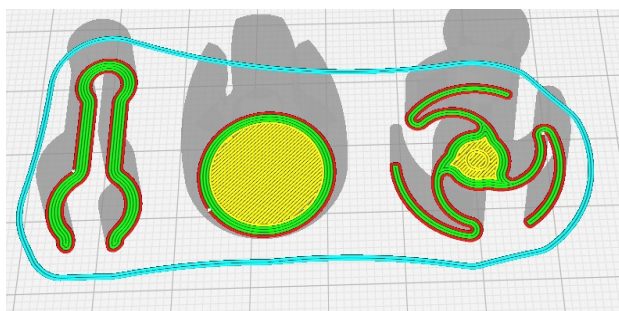
## Печать накольника.

Правильное расположение деталей приведено на рисунке.

Пройдемся по настройкам печати:

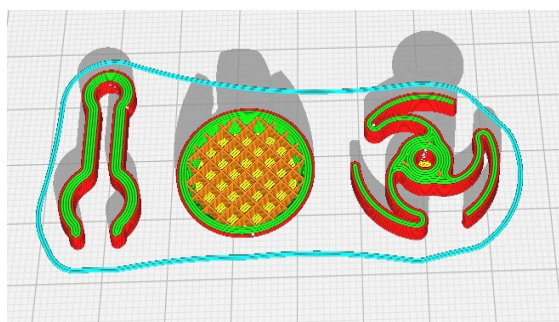
- высота слоя 0,2мм;
- ширина слоя 0,4мм;
- заполнение 30-40%.

Первый слой должен выглядеть вот так:



Обратите внимание на правую деталь — в центре первый слой сплошной. Это и есть защитная мембрана, которую пробивает гвоздь, она должна быть целой после распечатки и сборки.

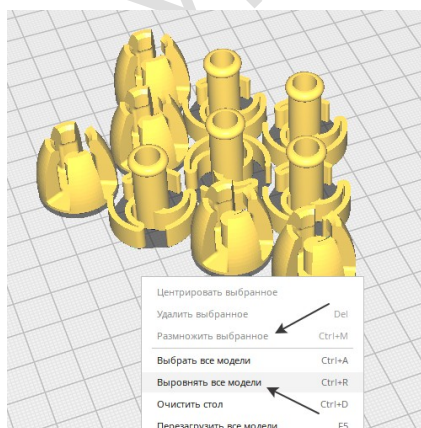
Button – ударник, Fuse – предохранитель, Shamrok — трилистник.



Это уже 12 слой, видно заполнение в 30% в центральной детали.

Левую деталь (предохранитель) нужно печатать отдельно, другим цветом, контрастным к другим деталям, чтобы было удобнее его заметить и выдернуть перед применением.

Безусловно можно размножить детали и выровнять их на столе, чтобы печатать сразу много. Однако, следите за временем печати! Чем больше вы размножите деталей, тем больше время и тем больше вероятность сбоя и потери пластика.



Эти детали нужны всегда, так что, если вы на них потренируетесь и напечатаете сотни (хорошего качества!), никто не будет против.

После печати партии желательно проверить, как входит собранный накольник в напечатанный ранее калибр. Должен фиксироваться там без проблем и не вылетать при тряске.



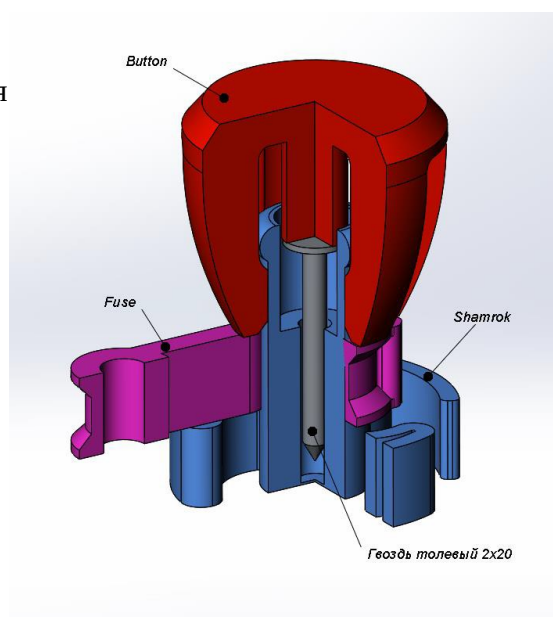
Сборка элементарная:

1. Вставляете гвоздь толевый 2x20мм (допускается длина гвоздя до 22мм, иногда попадаются).
2. Надеваете предохранитель.
3. Защелкиваете верхний элемент (ударник).  
Лапки должны остаться целыми, а сам ударник свободно вращаться вокруг оси трилистника.

Предохранитель не даст пробить мембрану. Тем не менее, проверяйте мембрану у трилистника, она должна быть целой, а гвоздь либо плотно сидеть, либо иметь небольшой люфт. В таком виде их и отправляете.

Один из накольников можете проверить на правильную работу:

Установите его на поверхность, которую не жалко повредить гвоздем. Ударник должен быть сверху. Выньте предохранитель. Уроните плашмя, примерно с 1 м, средней толщины книгу на накольник. Ударник должен гвоздем пробить мембрану и выйти не менее, чем на 2 мм. После испытаний накольник отправляется в мусор, он одноразовый.



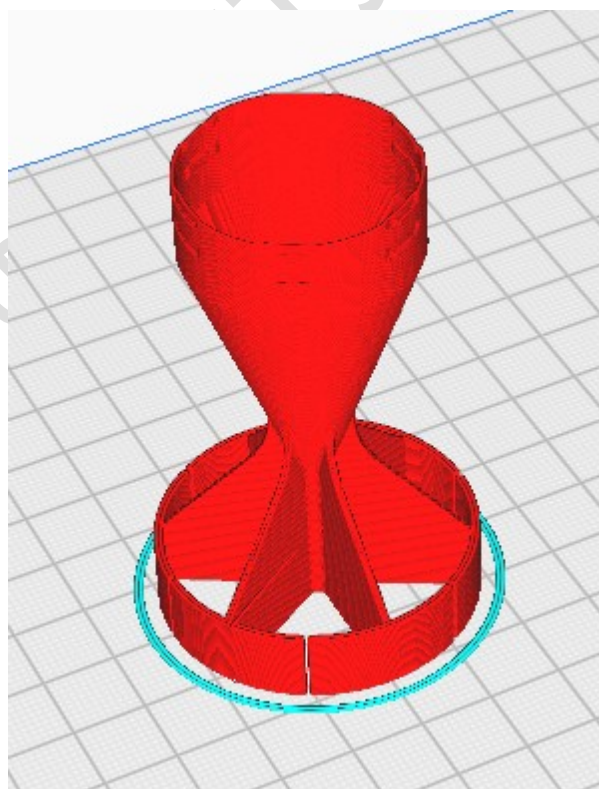
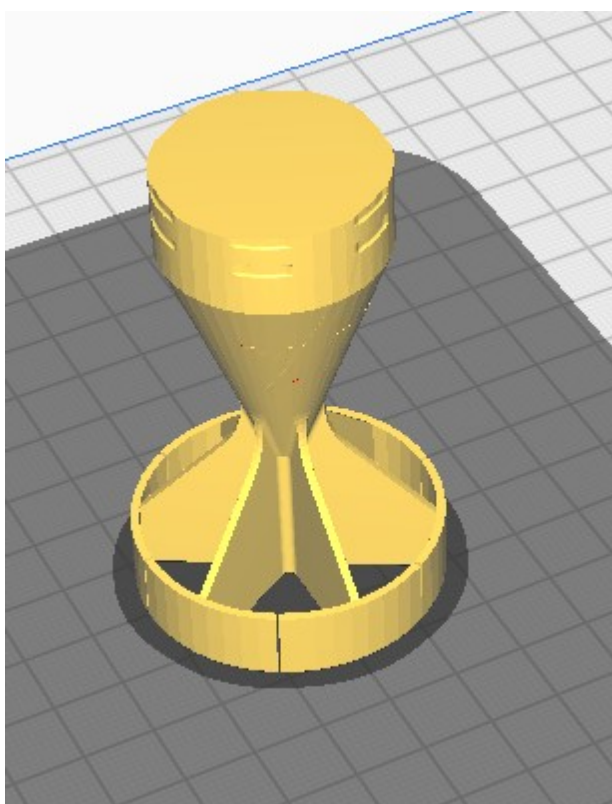
## Печать хвоста.

Печать хвоста отличается от печати накольника. Сначала действительно печатали хвосты так же, как накольник, но производительность была маленькой. Вышли из положения, адаптировав хвост к печати в режиме «ваза». Итого из 40 минут на один хвост в обычном режиме, вышло 13-19 мин. (зависит от принтера) в режиме вазы. Недостаток данного режима — можно печатать только один экземпляр модели. Но чуть ниже покажу выходы из этой ситуации.

**Прежде всего — не каждая модель годится для печати в этом режиме!**

Работает этот режим так: принтер после первого слоя переходит на печать спиралью, повторяя контуры детали. Высота слоя при этом остается неизменной.

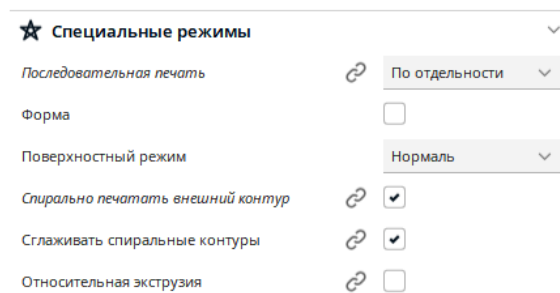
Пример нарезки, слева модель для печати в режиме «ваза», справа ее нарезка в Cura.



То есть, мы получаем ребра хвоста по горизонтали из 2 стенок и остальную часть из 1 стенки равной ширине слоя. **При этом ширина слоя равна 0,6мм!** Данные настройки приведены в отдельном архиве скриншотами.

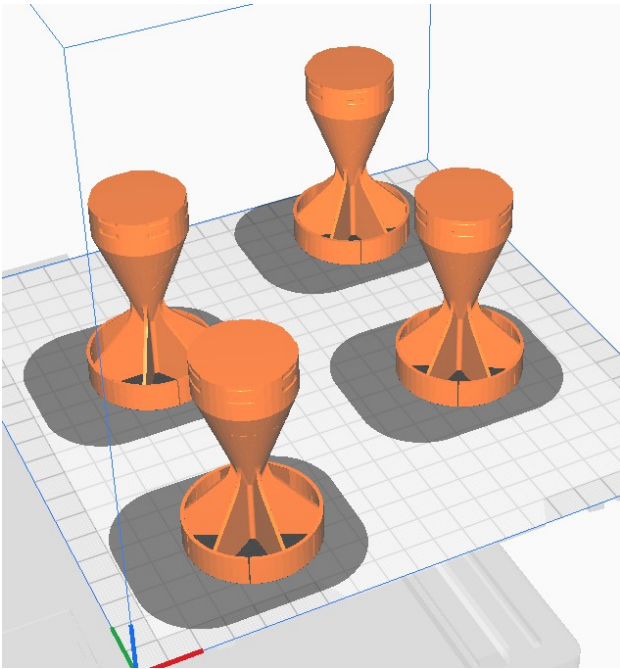
Разберем параметры:

- Включаем режим **«Спирально печатать внешний контур»**.
- Параметр **«Сглаживать спиральные контуры»** позволяет немного оптимизировать печать.
- Параметр **«Последовательная печать»** — в данном случае позволяет включить печать



одну деталь за другой, а не все одновременно, как при печати накольника. Но и размещаться детали должны так, чтобы не мешать печатать следующий элемент.

В случае хвоста это выглядит как-то так:



Принтер KP3S Pro имеет стол 200x200 мм, одну штангу, на которой сидит печатающая голова небольшого размера. Что позволяет разместить 4 хвоста на столе (не забываем про штангу!). У другого принтера может получиться разместить 3 или 5 хвостов.

Печать в режиме вазы идет последовательно — сначала ближний к нам хвост полностью, потом справа за ним, потом слева, потом опять справа. В шахматном порядке. Тут следует отметить, что **разместить копии в нужном порядке нужно вручную**. Сам слайсер так разместить модели не способен. Темные тени на столе (это отдельно настраивается в Cura), позволяют увидеть габариты движений головы и разместить модели чтобы голова не касалась их при движении.

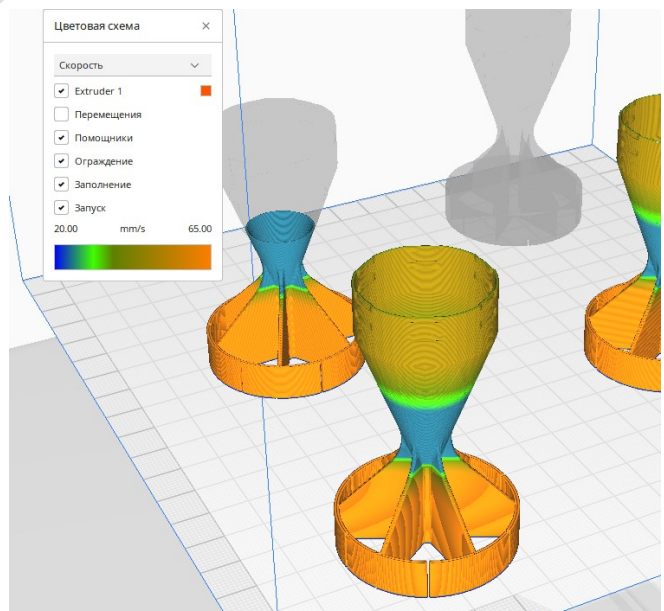
Конкретно в этом случае на 4 хвоста

уходит 1 час 12 минут времени. Это со средней скоростью.

Есть и другой способ — автосброс напечатанной модели легким ударом штанги принтера. В этом случае идет зацикливание GCODE в файле (или копирование части кода) и практически непрерывная печать.

Другие важные настройки печати в режиме «Ваза»:

- **Слои два и крышки** — 0, они не нужны в данном случае.
- **Заполнение** — 0, тоже не нужно, отключено на всякий случай.
- **Скорость вентилятора и Максимальная скорость вентилятора** — первая включается выше времени минимальной печати слоя, вторая равно и ниже. Объяснение ниже.
- **Порог переключения на повышенную скорость** — время, ниже которого вентилятор включает максимальную скорость.
- **Минимальное время слоя** — очень важный параметр, связанный с предыдущими, минимальное время за которое должен напечататься один слой. В режиме «ваза» это полный оборот по контуру модели.
- **Минимальная скорость** — минимальная скорость печати.



Итак, в чем смысл вышеприведенных настроек? Мы меняем охлаждение и скорость печати. Выглядит это примерно так, как на картинке выше. Как мы видим, на модели хвоста есть сужение после ребер, что дает совсем маленькое время печати слоя (меньше 2 секунд). Если оставить все настройки, как было на печати накольника — в этом месте пластик не будет успевать остыть, и получится нечто вроде лапши. Уменьшать общую скорость не выход. Но, выставив **Порог переключения на повышенную скорость** вентилятора, мы увеличиваем охлаждение, одновременно уменьшая скорость после перехода параметра ниже **Минимальное время слоя** до **Минимальная скорость** — и пластик предыдущего слоя уже успевает остыть. Баланс довольно тонкий и сильно зависит от охлаждения принтера, его вида и скоростных характеристик. После печати узкого участка скорость и охлаждение восстанавливаются до прежних значений. Как итог — общая скорость увеличивается почти в 2 раза.

Те же настройки применяются и при настройке автосброса. Только тут еще вручную добавляют в код команду отключить нагрев стола. Эта команда должна быть недалеко от конца печати, чтобы к последнему слою стол успел остыть и потерять свои адгезивные свойства. Тогда ударом рамы или головы принтера модель можно скинуть со стола, не повредив его поверхность.

Разница в этих двух подходах только в том, что при последовательной печати вам нужно будет каждый час подходить к принтеру и, дождавшись остывания стола, снимать модели. А в случае автосброса только поставить коробку под падающие хвосты.

Проблема лишь в том, что не на всех столах можно реализовать автосброс, иногда адгезия такая сильная, что просто ломает хвост (иногда и принтер). Здесь нужен баланс Offset и поймать его — главная задача. Offset может настраиваться отдельным винтом, так и программно в меню (зависит от принтера). Винты по углам стола для этого не предназначены!!!

Пробовать печатать стоит начинать с одного хвоста без автосброса. Как только он получился нормального качества, выбирайте вариант печати и настраивайте его.

## Продвинутая часть для понявших и освоивших все предыдущее.

### Печать с автосбросом.

Реализация автосброса зависит от механики вашего принтера и, в некоторых случаях, она достаточно капризна. Придется изучать команды GCODE и исправлять сгенерированный слайсером файл.

В общем случае, настройка выглядит так:

Располагайте модель на переднем крае стола. К примеру, на Ender3 S1 нужен небольшой сдвиг модели влево от центра, чтобы она при падении не цеплялась за ручку стола.

Текстовым редактором(блокнотом)откройте G-код модели, и перейдите в конец файла к завершающему коду. Завершающий код добавляется слайсером. В частности, в Cura он прописан в настройках принтера. Для каждого принтера код разный, но смысл один и тот же — позиционирование головы, отключение экструдера и моторов.

Для принтера Ender3 S1 завершающий код такой:

```
G91 ;Relative positioning
G1 E-2 F2700 ;Retract a bit
G1 E-2 Z0.2 F2400 ;Retract and raise Z
G1 X5 Y5 F3000 ;Wipe out
G1 Z10 ;Raise Z more
G90 ;Absolute positioning
G1 X0 Y220 ;Present print
M106 S0 ;Turn-off fan
M104 S0 ;Turn-off hotend
M140 S0 ;Turn-off bed
M84 X Y E ;Disable all steppers but Z
```

Разобраться вам помогут комментарии. Комментарии — это строки, начинающиеся с символа ";" (точка с запятой). В случае Ender3 S1 нужно добавить код автосброса непосредственно перед отключением моторов (это последняя строка кода M84 ...)

#### **ВНИМАНИЕ!**

В вашем случае координаты в командах G1 могут быть другие, в зависимости от размеров вашего стола и расположения модели.

; Автосброс

G90 ; Включить абсолютное позиционирование

G1 Y220 ; Передвинуть голову назад

G1 X50 ; Спозиционировать голову по оси X напротив модели

G1 Z50 ; Поставить голову на высоту 5см (сбивать модель лучше по верхней части, чтобы модель наклонилась и легче оторвалась)

G1 Y0 ; Сдвинуть голову вперёд до упора и сбить модель

**Опционально:** можно за несколько минут до окончания печати плавно снизить температуру стола, чтобы модель легче отделялась.

M140 S60.0 ; Сбросить температуру стола до 60 и не ждать

Слои в Cura отмечаются комментарием "LAYER:NNN", где NNN - номер слоя.

И если последний слой, например, 250, то команду можно добавить после комментария ";LAYER:200" и в дальнейшем "подвигать" команду по слоям, чтобы добиться желаемого результата.

Либо перед автосбросом можно добавить команду:

M190 S60.0 ; Ждать пока температура опустится до 60 градусов

УМЕЛЬЦЫ-ФРОНТУ