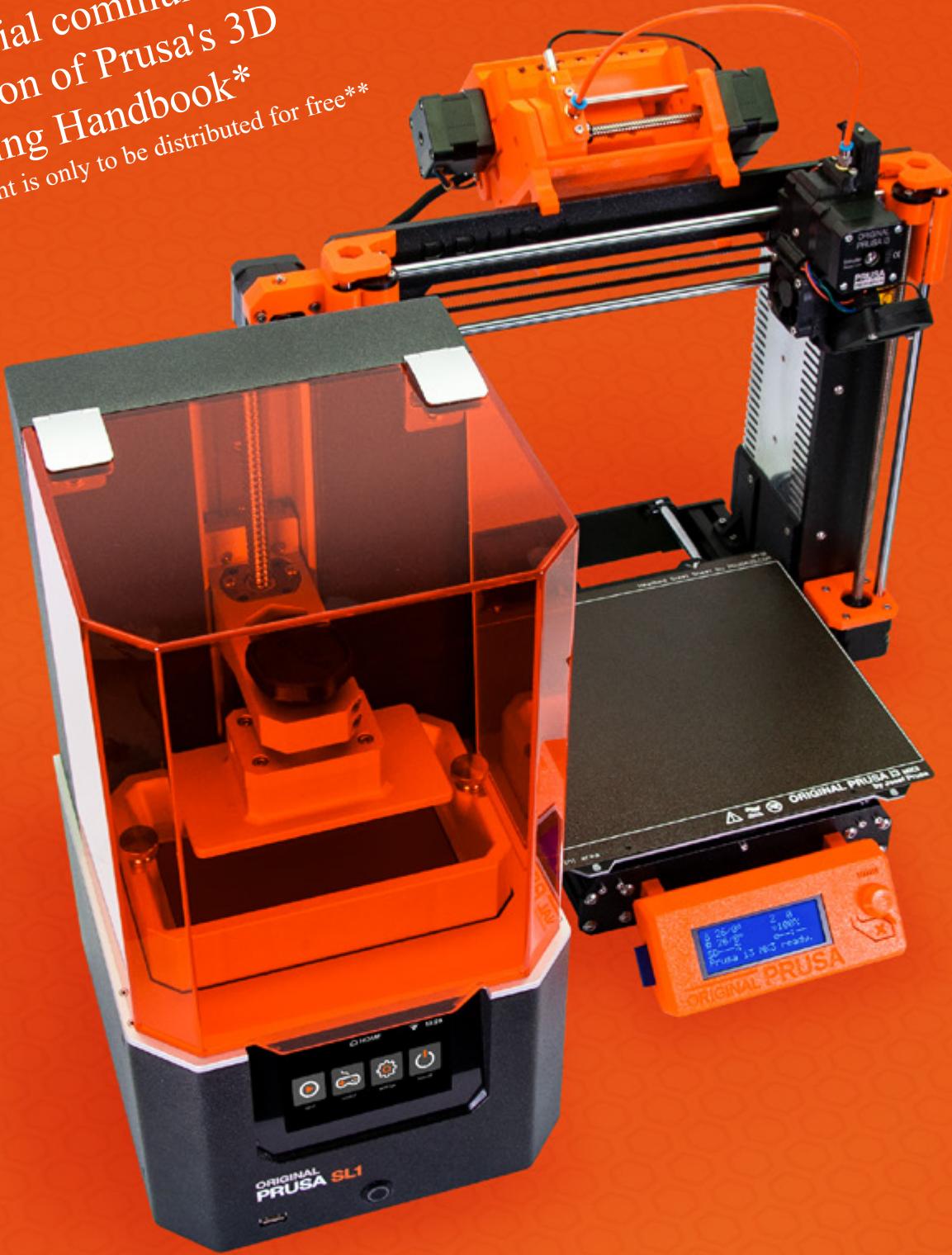


Unofficial community  
translation of Prusa's 3D  
printing Handbook\*  
This document is only to be distributed for free\*\*



# BASICS OF 3D PRINTING

with Josef Prusa

\* Неофициальный перевод сообщества Prusa's 3D-printing Handbook.

\*\* Этот документ предназначен только для бесплатного распространения.

# Вступление

Возможно, вы слышали о 3D-печати по телевизору или читали в Интернете. Как и все новые технологии, 3D-печать привлекает внимание основных средств массовой информации, но эта тема часто освещается поверхностно или сенсационно. О 3D-печати ходят много мифов, в том числе распространенное заблуждение, что это новая технология. Фактически, этот тип производственного метода известен с 1980-х годов, и сейчас он довольно широко используется во всех отраслях промышленности и даже любителями дома.

Вы обнаружите для себя, что 3D-печать - это не какая-то футуристическая, сложная и сверхдорогая технология, доступная лишь горстке смертных. Напротив! Принципы довольно просты и понятны. Есть ряд отраслевых слов и сокращений, которые, возможно, поначалу могут вас напугать - не беспокойтесь об этом! На самом деле, их не так уж и много, и вы скоро с головой окунетесь в них.

Эта книга поможет вам понять, какие технологии 3D-печати доступны в настоящее время и как они работают. Мы проведем вас через весь процесс 3D-печати, начиная с получения 3D-модели для печати, через предпечатную подготовку и до окончательной постобработки напечатанного объекта. Вы узнаете, что такое экструдер, а также нарезка, периметр или заполнение. Мы собираемся объяснить различия между обычно используемыми материалами и то, как использовать 3D-печать для практического применения.

Эта книга даст вам ясное представление о 3D-печати, а также предоставит вам все базовые знания, необходимые для начала. Остается только купить 3D-принтер и начать печатать!

◆ Josef Průša

## Джозеф Прюша (Чеш. - Josef Prusa)

Джозеф (дата рожд. 23.02.1990) заинтересовался 3D-печатью до того, как поступил в Пражский экономический университет в 2009 году. Вскоре Джозеф превратился в одного из ведущих разработчиков международного открытого проекта RepRap Адриена Байера. Сегодня вы можете увидеть продукты Прюши в различных вариациях по всему миру. Это один из самых популярных 3D-принтеров, и это одна из причин, почему знаний о 3D-печати вырос среди общественности. В 2012 году Джозеф основал компанию Prusa Research, которая производит 3D-принтеры Original Prusa и поставляет их клиентам по всему миру.



# Содержание

Что такое 3D печать?	4
История 3D печати	5
Открытие стереолитографии	5
Проект RepRap	5
Применение 3D печати	6
Технология 3D печати	10
FDM/FFF	11
Компоненты принтера FFF	13
SLA-стереолитография	16
Компоненты принтера MSLA	18
SLS/DMLS	20
Выбор 3D принтера	21
Основы 3D печати	23
Получение 3D модели	25
Онлайн-библиотеки и 3D обменники	25
ПО для 3D моделирования	26
Tinkercad	26
Autodesk Fusion 360	27
Blender	28
OpenSCAD	29
Что нужно иметь в виду при разработке модели	30
3D-сканирование и фотограмметрия	34
Выбор подходящего материала для печати	35
Нарезка (слайсинг)	35
PrusaSlicer	36
Simplify3D	37
Cura	37
Слайсер-основные настройки	38
Подготовка поверхности для печати	41
Начало печати	42
Постобработка	42
Склейка и разглаживание ацетоном	43
Филаменты	44
PLA	46
PETG, ASA и ABS	47
FLEX	48
Композиты	48
PVA и BVOH для растворимых поддержек	49
Другие материалы	49
Фотополимеры/смолы	50
Многоцветная 3D печать	52
Глоссарий	54
Вопросы	58

---

Что такое 3D печать?

**3D** печать - это автоматизированный процесс аддитивного производства, при котором 3D-принтер создает физическую модель на основе цифровых данных (3D-объект). Существует ряд различных технологий 3D-печати, но наиболее часто используемая технология, называемая FFF (Fused Filament Fabrication - изготовление наплавлением волокон), проста: объект создается слой за слоем путем плавления нити пластика. Представьте, что вы берете трехмерный объект и разрезаете его на тонкие кусочки – как картофель на чипсы. Затем вы берете kleевой пистолет и «рисуете» каждый слой горячим kleem. Обычно объекты печатаются так – это аддитивный метод, потому что мы добавляем материал. Это прямо противоположно методу вычитания, который заключается в обработке существующего материала.



3D-печать быстро расширяется и развивается. 3D-принтеры и материалы для печати постоянно находятся в состоянии развития. 3D-принтеры успешно расширились из профессиональной сферы в мир хобби.

## История 3D-печати

Сначала 3D-печать называлась Rapid Prototyping (быстрое прототипирование) - этот термин используется даже сегодня, хотя и редко. До того, как доступные 3D-принтеры стали обычным явлением, эта технология использовалась только для создания прототипов.

Типичной задачей быстрого прототипирования являлась разработка и производство пультов дистанционного управления для телевизоров. Подготовительные работы к производству могут стоить десятки тысяч долларов США (изготовление форм, сам производственный процесс, тестирование...), поэтому производитель должен быть полностью уверен, что его пульт от телевизора удобно лежит в руках пользователя и все кнопки могут быть нажаты комфортно. Вот тут-то и пригодилось прототипирование. Несмотря на то, что цены на 3D-принтеры были действительно высокими, стоимость изготовления одного прототипа старыми методами составляла около тысячи долларов, что все равно позволяло сэкономить много денег относительно полного цикла производства. Высокая стоимость печатных станков не оставляла шансам на приобретение для простых обывателей, однако ситуация вскоре изменилась.

## Открытие стереолитографии

3D-печать в том виде, в каком мы ее знаем сегодня, была открыта в 1984 году, когда основатель компании 3D Systems Чарльз Халл подал заявку на патент на свое изобретение - стереолитографию. Халл был первым, кто напечатал цифровые 3D-данные. Эта технология, обычно обозначаемая как SLA, используется и по сей день. Вы можете узнать об этом больше в главе, описывающей различные методы 3D-печати.



### Первый коммерческий 3D-принтер

В 1992 году компания 3D Systems начала производить и продавать первый коммерчески доступный 3D-принтер на основе технологии SLA.

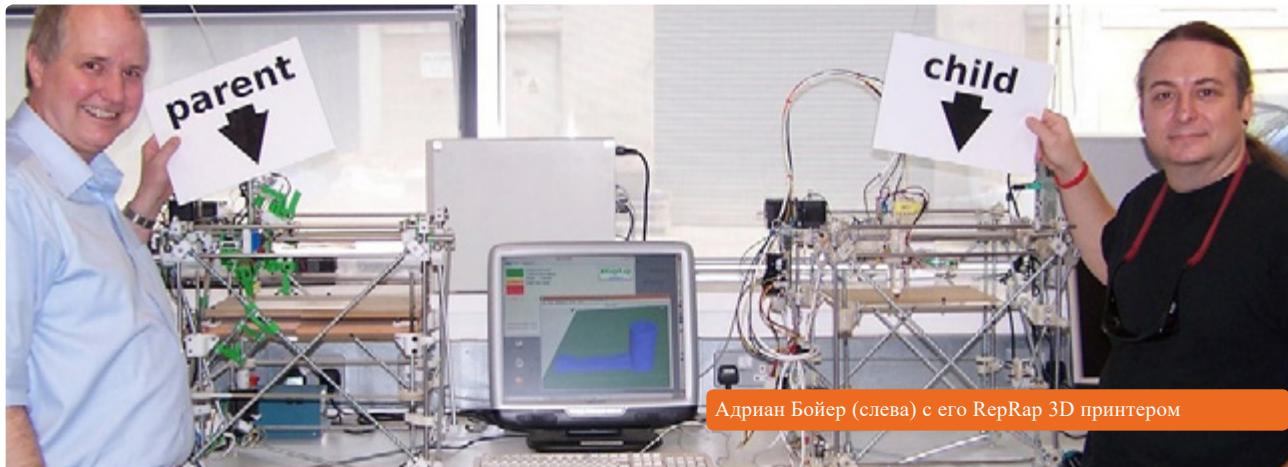
## Проект RepRap

2005 год был, вероятно, самым важным годом в истории современной 3D-печати: проект RepRap был создан доктором Адрианом Бойером из Университета Бата. Идея заключалась в разработке 3D-принтера, который мог бы печатать как можно больше собственных деталей. Проект с самого начала был задуман как открытый, что означает, что все исходные коды доступны для всех бесплатно и открыты для дальнейших модификаций и

## Что такое 3D печать?

улучшений. Это было важное решение, которое позволило энтузиастам со всего мира принять участие в проекте. Это основная причина, по которой машины RepRap в настоящее время являются самыми распространенными 3D-принтерами в мире. Благодаря RepRap мы теперь можем покупать 3D-принтеры для DIY / производителей и полупрофессиональных рынков - обычно это машины стоимостью менее 4000 долларов США.

Сообщество принтеров RepRap огромно. Если вы хотите понять, как работают 3D-принтеры (или хотите попробовать различные обновления, модификации и эксперименты), RepRap - идеальное решение для вас. Эти 3D-принтеры можно приобрести либо в виде откалиброванных и полностью собранных машин, либо в виде сборочных комплектов для самостоятельной сборки, которые довольно весело строить - и на самом деле они не так сложны, как вы думаете.



Адриан Бойер (слева) с его RepRap 3D принтером

## Применение 3D-печати

Сначала 3D-печать использовалась как средство для создания дешевых и быстрых прототипов. По мере того, как технология дешевела, 3D-принтеры нашли применение в других отраслях.

Один из таких примеров - мелкосерийное производство. Существуют компании, производящие продукцию в небольших объемах; в таком случае проблема высокой стоимости крупносерийного производства отпадает. Поэтому 3D-печать оказывается более подходящим решением. Еще один полезный аспект заключается в том, что когда вы придумываете улучшенный дизайн, вы можете сразу приступить к его производству, что означает, что вы можете вводить новые и улучшенные продукты гораздо быстрее, чем обычно.

Мы применили этот подход при производстве наших 3D-принтеров Original Prusa i3. Наша собственная ферма по 3D-печати насчитывает более 500 принтеров. Когда есть переработанная или улучшенная деталь, все, что нам нужно сделать, это протестировать ее, а затем загрузить в систему фермы печати - производство может начаться практически сразу. Кроме того, мы также можем отправлять данные нашим клиентам, чтобы они могли сразу же распечатать детали. Возможность быстрых итераций - одна из самых сильных сторон 3D-печати.



Ферма принтеров Prusa



Персонализированное производство позволяет производителям изготавливать изделия по индивидуальному заказу на основе запросов клиентов. Это может быть, например, чехол для смартфона с индивидуальным рисунком, настраиваемый брелок или различные маркетинговые элементы, модифицированные в соответствии с потребностями клиента.



3D-принтер также отлично подходит для изготовления игрушек и фигурок. В Интернете можно найти тысячи бесплатных или платных моделей, от простых игрушек до тщательно продуманных настольных игр.



Для поклонников косплея\* 3D-принтеры особенно полезны, потому что их можно использовать для производства масок, оборудования, аксессуаров и других предметов, которые можно легко подвергнуть последующей обработке (отшлифовать и покрасить), чтобы придать им аутентичный вид.

\* Косплей (cosplay – costume play)- дословно «костюмированная игра». Это представление, в котором участники (косплееры) надевают костюмы, изображающие определенного персонажа из книг, фильмов или видеогр.

## Что такое 3D печать?



[www.thingiverse.com](http://www.thingiverse.com)

Еще одна область, в которой 3D-принтеры действительно сияют, - это производство запчастей, которые больше не доступны даже у официального поставщика. Довольно часто, когда дело доходит до реставрации и ремонта старинных вещей или старых/ретро автомобилей, некоторые детали больше не доступны - и вам часто нужно только это одно. То же самое касается ремонта бытовой техники или изготовления различных крышек, ящиков или держателей. Гарантированно, купив 3D-принтер, вы скоро увидите его эффект повсюду в своем доме!



[www.archprint.cz](http://www.archprint.cz)

3D-принтеры - влиятельная вещь в архитектуре и строительстве. Одной из важнейших частей архитектурных проектов являются 3D-визуализации. Они по-прежнему часто демонстрируются как 2D-изображения на экране компьютера, однако это не очень-то наглядно. Многие архитекторы решили перейти на 3D-визуализацию. Благодаря возросшей популярности (и удобству использования) виртуальной реальности теперь можно совершить экскурсию по цифровому зданию. Однако есть еще один отличный вариант - напечатать небольшую копию запланированного проекта, чтобы получить что-то более физическое, чем просто цифровая визуализация.



3D-печать позволяет архитекторам создавать модели быстрее и эффективнее. Цель состоит в том, чтобы преодолеть разрыв в коммуникации между архитектором и заказчиком, используя физический отпечаток вместо компьютерных данных.

Это, конечно, еще не все. 3D-печать используется во многих отраслях, включая автомобильную и авиационную промышленность, здравоохранение, радиоуправляемые модели, ювелирные изделия и многие другие. Новые применения 3D-печати открываются почти каждый день.

Таким образом, независимо от того, нужна ли вам новая рама для дрона, держатель кабеля или что-то еще, вы можете сделать это с помощью 3D-принтера. Это делает жизнь намного проще!

---

# Технологии 3D печати

**B**есе виды 3D-печати основаны на одном принципе: создание объектов путем добавления слоев поверх существующих. На данный момент не существует технологии 3D-печати, которая была бы полностью универсальной и подходящей для любых целей. Вот почему так важно решить, как и для каких целей вы собираетесь использовать принтер. Чтобы упростить задачу, давайте разделим все типы 3D-принтеров на три основные категории:

1. Нить пластика, расплавленная нагревательным элементом и выдавленная печатающей головкой (экструдером) через сопло. Это типичное описание технологий FFF (Fused Filament Fabrication - Изготовление наплавлением волокон) / FDM (Fused Deposition Modeling - изготовление методом послойного наложения). Эти термины можно рассматривать как синонимы. FDM является товарным знаком Stratasys.
2. Жидкий материал затвердевает слоями в заранее определенных областях. Это то, что мы обычно называем SLA - Stereolithography Apparatus. Жидкий материал (смола) затвердевает под лучом света (УФ-лазер или светодиодная панель, DLP-проектор).
3. Тонкий порошок, спеченный (уплотненный и сформированный, а не расплавленный) с помощью лазера. Эта технология называется SLS (избирательное лазерное спекание) и по сравнению с двумя предыдущими намного дороже.

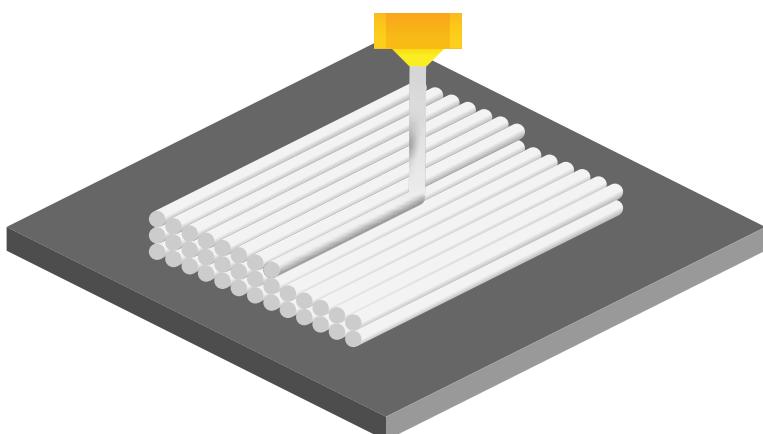
## FDM/FFF

Самая распространенная и самая доступная технология 3D-печати, подходящая для печати функциональных / механических деталей и прототипов. В качестве основного ресурса принтер использует нить пластика. Катушка с нитью пластика называется филамент. Типовой диаметр нити пластика - 1,75 мм.

На рынке все еще распространены 3-миллиметровые прутки, однако их точность печати довольно низкая, и их использование не рекомендуется. По сравнению с жидкими смолами или порошкообразными материалами, филамент безопасен и с ним легко работать. Обратной стороной FDM печати - слои на печатных объектах видны невооруженным глазом. Обычная высота слоя (при использовании сопла 0,4 мм) составляет от 0,05 до 0,3 мм.



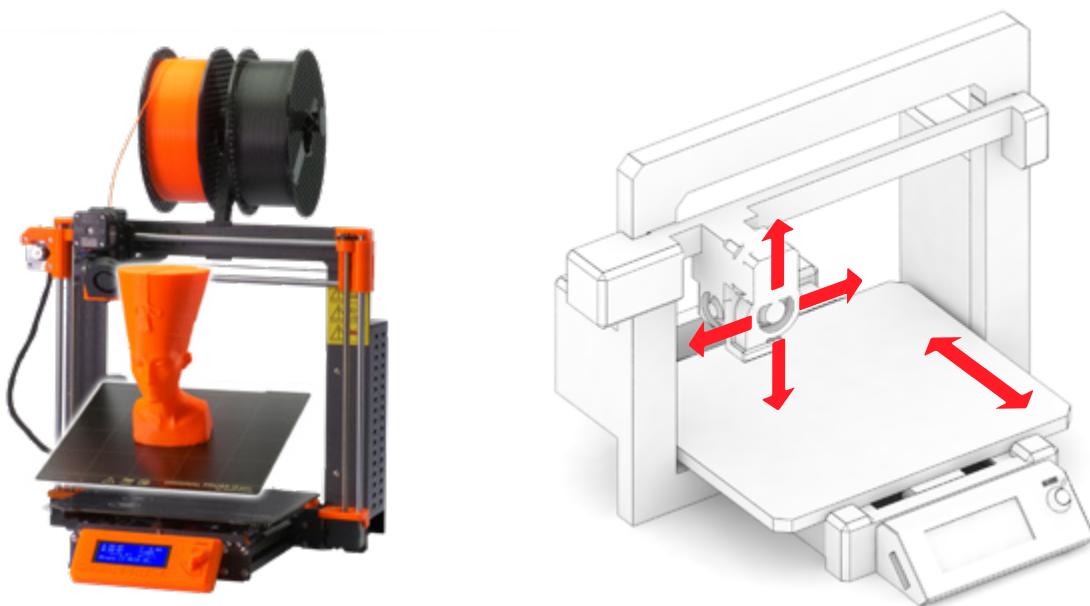
Диапазон цен на принтеры FFF начинается от 150 долларов США для дешевых 3D-принтеров из Китая и может превышать 100000 долларов США для профессиональных машин. Стоимость оригинального 3D-принтера Prusa i3 MK3S начинается от 749 долларов США / 769 евро и представляет собой идеальный компромисс между ценой и качеством.



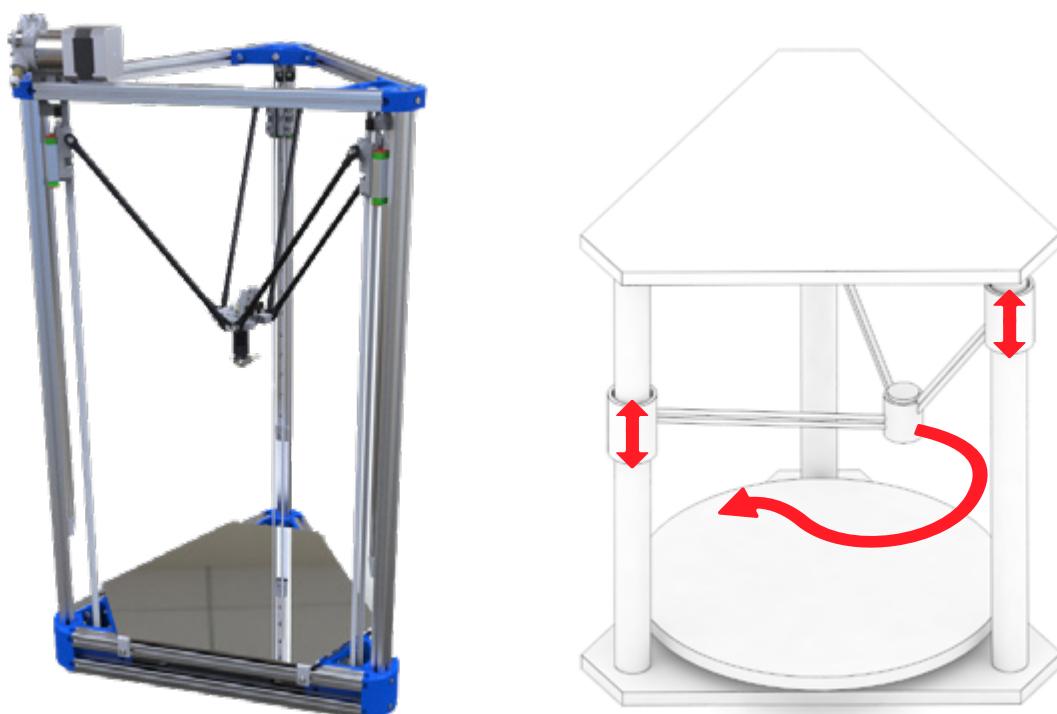
Мы можем разделить 3D-принтеры FDM / FFF на подкатегории на основе механики движения их осей в трехмерном пространстве.

### 1. Декартовый 3D-принтер назван в честь размерной системы координат XYZ.

Экструдер движется в двух направлениях (X и Z), а платформа для печати движется по оси Y. Это также означает, что платформа для печати обычно имеет квадратную или прямоугольную форму. Оригинальный Prusa i3 MK3S - декартовый принтер.



### 2. Дельта-принтеры перемещают экструдер с помощью трех подвижных рычагов, закрепленных на самом экструдере. Двумя самыми большими преимуществами являются скорость печати и большие объемы печати. Однако для принтера требуется чрезвычайно точная сборка и калибровка. Геометрия принтера требует сложных расчетов движений шаговых двигателей в каждом из рычагов.



**3. Полярные** 3D-принтеры встречаются довольно редко. Они основаны на полярной системе координат. Экструдер перемещается по двум осям, а платформа для печати вращается. Эта система довольно проста в конструктивном отношении, однако подготовка модели довольно сложна.



## Компоненты принтера FFF

Все 3D-принтеры FFF очень похожи по конструкции. Обычно они состоят из следующих частей:

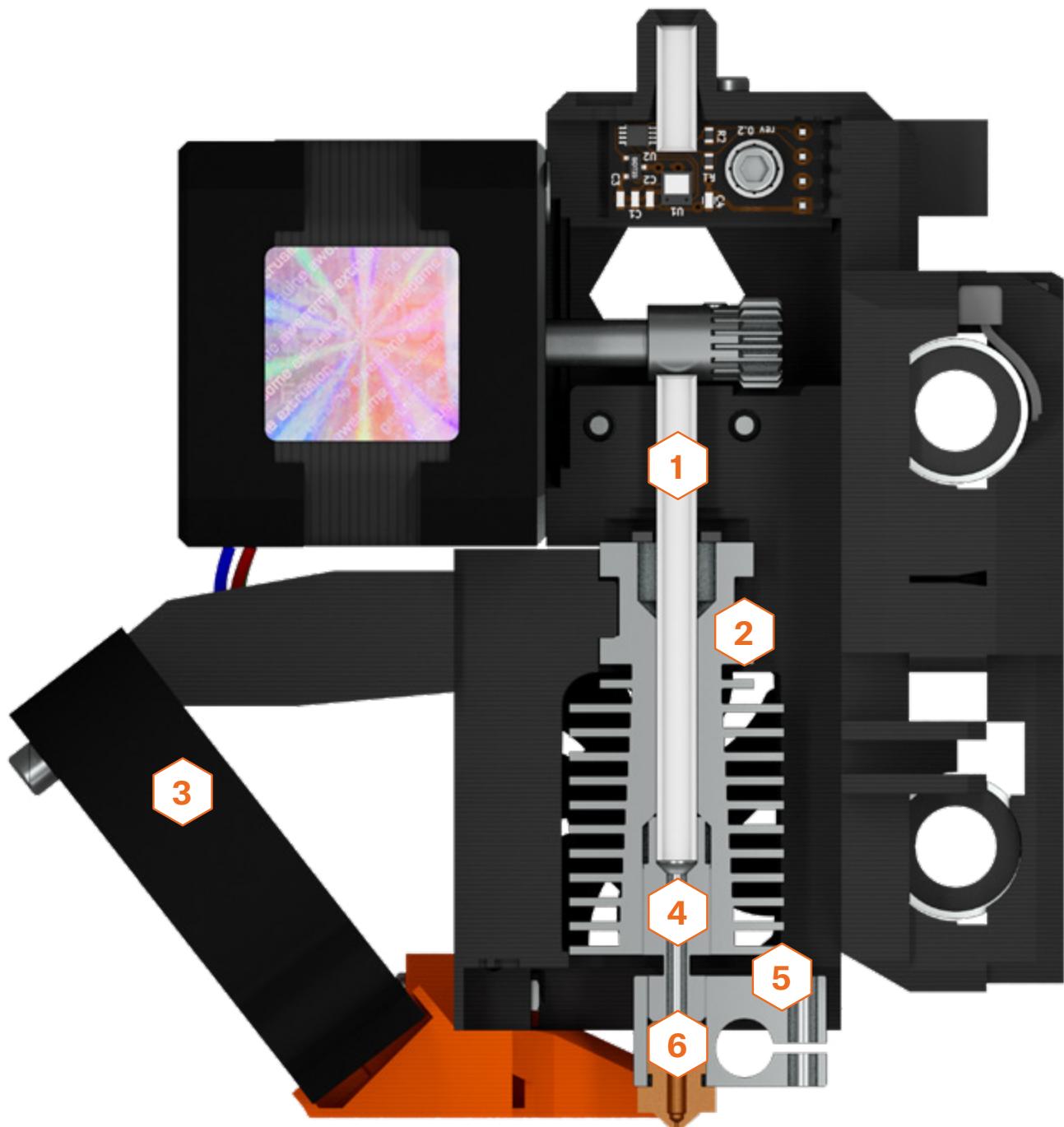
### Экструдер

Печатающая головка или экструдер предназначен для нанесения отпечатанных слоев путем экструзии расплавленного пластика. Сначала филамент поступает в экструдер через трубку из PTFE (Политетрафторэтилен - ПТФЭ). В этот момент филамент представляет собой твердую пластиковую нить, имеющую комнатную температуру. Он проходит через радиатор, который является частью, предназначеннной для отвода тепла, исходящего от термобарьера, и минимизации площади перехода между твердой и расплавленной нитью. Радиатор обычно имеет вентилятор, установленный сбоку, для повышения эффективности охлаждения. Термобарьер – это, по сути, кусок трубы с наружной резьбой, которая на одном конце заужена до минимального диаметра; благодаря этому меньше тепла передается в область, где филамент должен оставаться твердым.

Нагревательный блок изготовлен из теплопроводных материалов, обычно алюминия, и содержит небольшой электрический нагревательный элемент вместе с термистором для измерения температуры. Материал плавится в блоке нагревателя и выталкивается дальше и через сопло. Сопло может иметь разный диаметр, и многие принтеры позволяют пользователям менять сопло на новое с другим диаметром. Вы можете узнать больше о форсунках различного диаметра и их преимуществах в статье на сайте [blog.prusaprinters.org/nozzles](http://blog.prusaprinters.org/nozzles).

**Экструдер:**

- 1 Трубка ПТФЭ
- 2 Радиатор
- 3 Вентилятор охлаждения печати
- 4 Термобарьер
- 5 Нагревательный блок
- 6 Сопло



## Стол с подогревом

Подогреваемый стол или Heatbed (Хотбед, термостол) - важная часть любого современного 3D-принтера, которая должна быть совместима с максимально возможным количеством материалов. Подогреваемый стол не дает печатным объектам изгибаться, деформироваться или отслаиваться от поверхности.

## Рама

Рама - это несущая конструкция принтера. Жесткая и точно изготовленная, она положительно влияет на качестве печати. Прочная и прочная рама сводит к минимуму вибрацию и позволяет печатать быстрее без заметных проблем с качеством получаемых печатных деталей.

## Шаговые двигатели

Шаговые двигатели обеспечивают движение по всем осям - включая экструдер и стол, а также контролируют движение филамента. Преимущество шаговых двигателей в том, что шагами можно точно управлять.

## Материнская плата

Материнская плата представляет собой электронную плату с интегральными схемами, которая управляет всем принтером. Ее основная функция состоит в чтении файлов инструкций (G-кодов) и управлении двигателями, подогреваемым столом и нагревателем на основе инструкций, содержащихся в G-коде.



Стол с подогревом



Рама



Шаговые двигатели

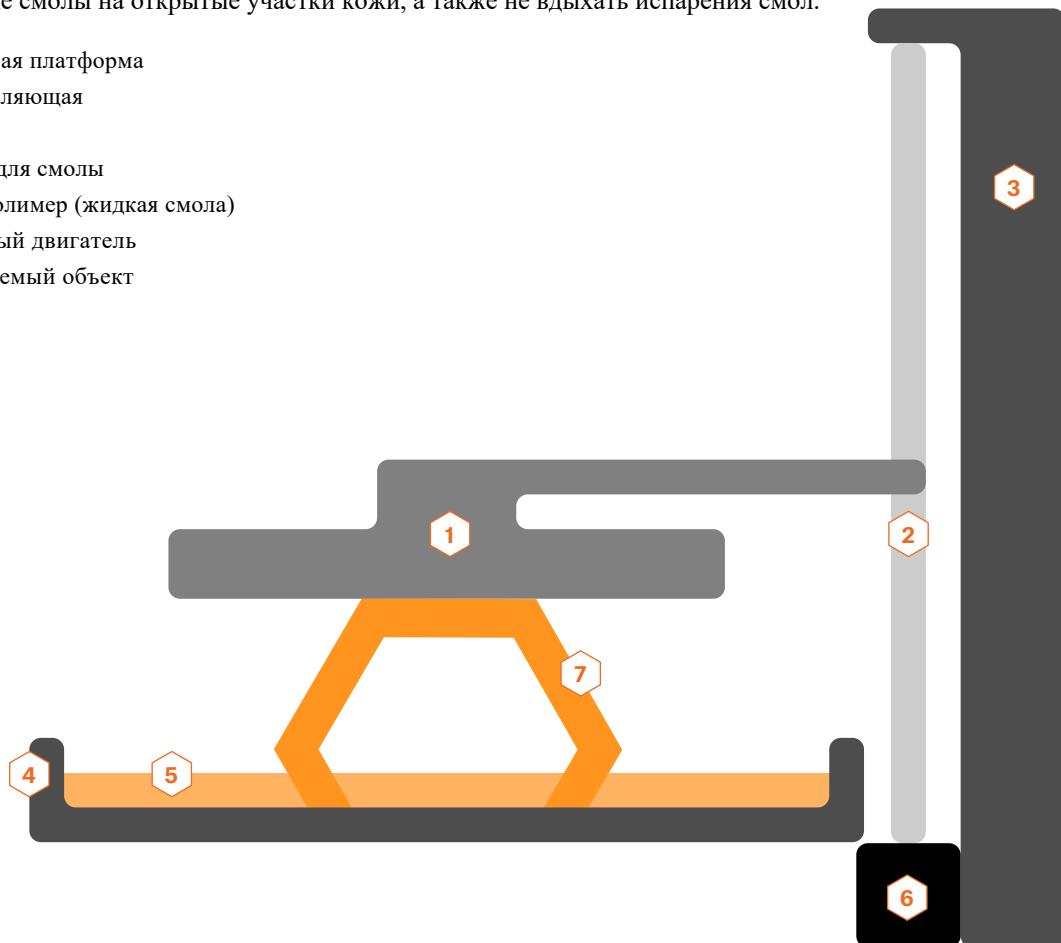


Материнская плата

## SLA (Стереолитография)

Технология SLA основана на светочувствительных жидким смолах, которые могут застывать (затвердевать) под УФ-светом. У 3D-принтеров SLA есть платформа, которая перемещается после затвердевания слоя, чтобы создать пространство для нового слоя, который прилегает к предыдущему. В отличие от деталей FFF печати, объекты SLA заметно более детализированы, однако их печать обычно занимает больше времени при меньшем объеме. Эти принтеры особенно подходят для ювелирной или медицинской промышленности. Печатные объекты почти идеально гладкие, невероятно детализированные, а слои почти невидимы для человеческого глаза - особенно по сравнению с принтерами FFF. Самым большим недостатком этой технологии - меньшая площадь поверхности печати и токсичность жидким смол. Вам следует быть осторожнее и предотвращать попадание смолы на открытые участки кожи, а также не вдыхать испарения смол.

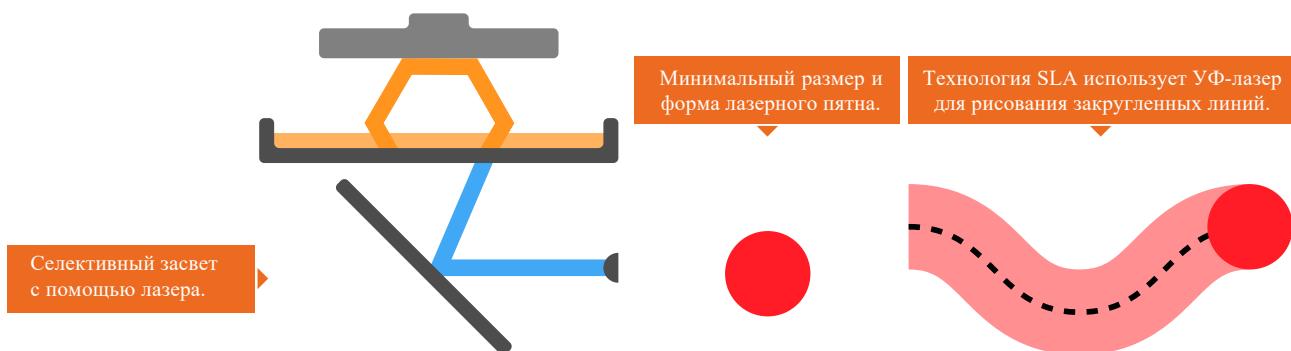
- 1 Печатная платформа
- 2 Направляющая
- 3 Z-ось
- 4 Ванна для смолы
- 5 Фотополимер (жидкая смола)
- 6 Шаговый двигатель
- 7 Печатаемый объект



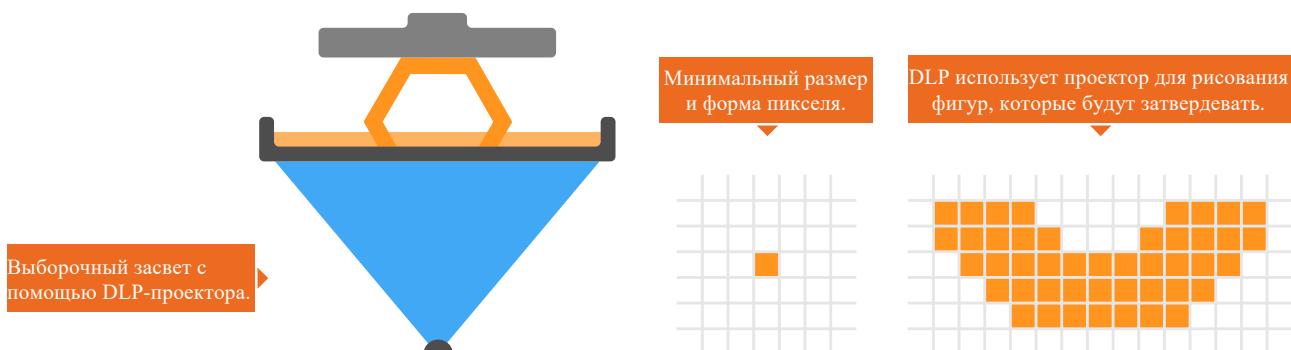
Для принтеров SLA окончание печати еще не означает окончание работы. Отпечатанные объекты не подходят для немедленного использования после завершения задания на печать, поскольку они имеют тенденцию быть немного мягкими и липкими, что вызвано остатками неуплотненной смолы на поверхности объекта. Рекомендуется вымыть изделие изопропиловым спиртом и дополнительно обработать УФ-светом. Все это нужно делать очень осторожно в защитных перчатках. К счастью, есть машины, которые автоматически обо всем позаботятся. Отверждающая и омывающая машина (CW1) - это дополнительный аксессуар для нашего оригинального принтера Prusa SL1, который может делать все это быстро и легко.

Есть три основных типа принтеров SLA. Они различаются в зависимости от методов воздействия. Хотя они могут показаться похожими, качество печати может сильно отличаться.

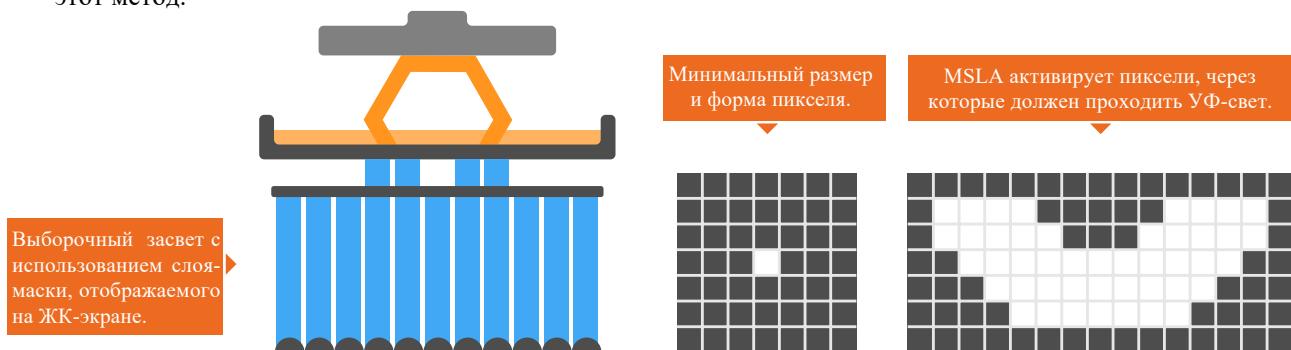
**1. SLA - Лазер** - засвет производится лучом УФ-лазера. Луч контролируется двумя зеркалами и постепенно «рисует» каждый слой. Время, необходимое для затвердевания одного слоя, зависит от размера области, которую необходимо обработать лазеру. Проще говоря: чем больше объектов на платформе печати, тем больше времени занимает печать.



**2. DLP (Digital Light Processing - цифровая обработка света)** - SLA - весь слой сразу затвердевает благодаря цифровому проектору. Области, на которые воздействует проектор, затвердевают. Преимущество этого метода очевидно - каждый слой затвердевает за одинаковое время, независимо от того, сколько объектов находится на платформе печати.



**3. MSLA (Masked Stereolithography - масочная стереолитография)** - засвет выполняется с помощью УФ-светодиода с высокой эффективностью, а слой формируется с помощью полупрозрачной маски на ЖК-экране. УФ-свет может проходить только через белые пиксели на дисплее. Поскольку ЖК-дисплеи имеют фиксированное разрешение, это также означает, что печатаемые объекты имеют фиксированное разрешение по осям XY. Этот метод также обрабатывает весь слой за раз, то есть не имеет значения, сколько объектов находится на платформе печати. В 3D-принтере Original Prusa SL1 используется именно этот метод.



Рисунки выше представляют собой упрощенное представление каждой из технологий. При описании технологий DLP и MSLA не учитываются такие функции, как сглаживание. Без AA (anti-aliasing - сглаживания) края маски были бы заметно пикселизованными. Проще говоря, AA может сгладить резкие края за счет усреднения цвета из ближайших пикселей. Так что в нашем случае на самом деле рассматривается не только черно-белые края; метод сглаживания фактически создает градиентный переход, в результате чего линии становятся более плавными.

## Компоненты принтера MSLA

Ситуация с 3D-принтерами SLA аналогична моделям FFF / FDM - есть разные конструкции, разные конфигурации, в зависимости от того, как 3D-принтер SLA засвечивает смолу. Мы хотели бы сосредоточиться на машинах MSLA, поскольку в нашей собственной оригинальной Prusa SL1 используется стереолитография с маской.

### УФ светодиодная панель

Высокоэффективная УФ-светодиодная панель используется для отверждения жидкой смолы в резервуаре для смолы. Поскольку мы используем панель, а не один светодиод, УФ-свет распределяется более равномерно, и мы также можем добиться меньшего (более быстрого) времени экспозиции.

### ЖК-экран

ЖК-экран используется для техники, называемой «маской». Что это значит? УФ-светодиодная панель освещает всю область печати, поэтому без маски единственной формой, которую она могла бы напечатать, был бы сплошной блок. На ЖК-экране отображается маска - черно-белое изображение в виде одного слоя. Белые пиксели на маске пропускают УФ-свет, а черные - блокируют.

### Сенсорный экран

Это второй ЖК-экран принтера, однако он не используется для самой печати. Вместо этого пользователь может легко настраивать принтер и управлять им с помощью простого в использовании интерфейса.

### Резервуар (ванна)

Резервуар, иногда называемый ванной, представляет собой емкость для жидкой смолы. У него прозрачное дно, через которое проходит УФ-свет. В 3D-принтере Original Prusa SL1 даже есть специальный механизм наклона резервуара. Для чего это? После отверждения каждого слоя отпечатанный объект имеет тенденцию прилипать к дну ванны. Некоторые принтеры просто перемещают платформу для печати вверх - вертикально. Это создает большое поверхностное натяжение, которое может привести к повреждению слоя. Печатный объект мог даже оторваться от платформы. Однако благодаря механизму наклона слой постепенно отделяется от дна - требуется меньше усилий, а надежность повышается.

### Z-ось

Единственное механическое движение платформы печати происходит по оси Z (вверх и вниз). Благодаря маскирующему ЖК-экрану с фиксированным разрешением X-Y никаких других движений не требуется.

### Акриловая крышка

SL1 имеет полупрозрачную акриловую крышку оранжевого цвета. Она блокирует большую часть ультрафиолетового света, поступающего извне (например, солнечный свет), который иначе отвердил бы смолу в резервуаре. Он также блокирует утечку УФ-света, излучаемого УФ-светодиодом, из принтера. Наконец, что не менее важно, он также частично удерживает пары смолы внутри принтера.

### Фильтрация воздуха

Большинство имеющихся в продаже смол имеют резкий запах. Вот почему SL1 имеет встроенный фильтр.

### Прочная алюминиевая рама

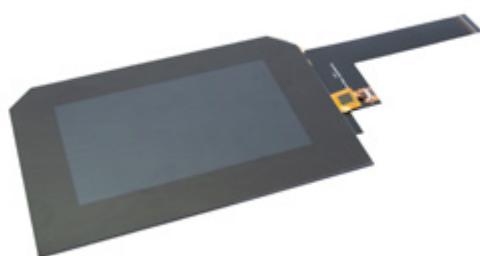
Рама обеспечивает принтеру прочность и устойчивость . Более мягкие рамки подвержены короблению или колебаниям, что приводит к низкому качеству печати.



УФ светодиодная панель



ЖК-экран



Сенсорный экран



Резервуар (ванна)



Z-ось



Акриловая крышка



Фильтрация воздуха



Прочная алюминиевая рама

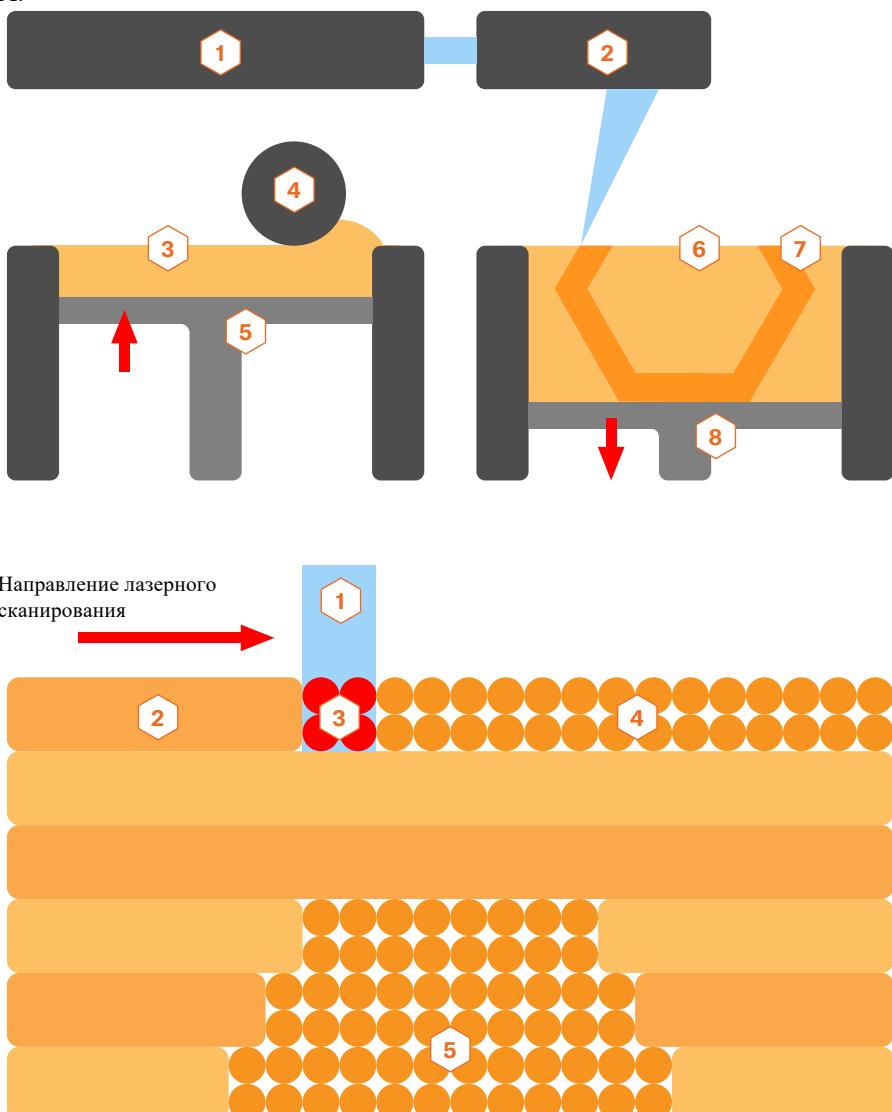
Принтеры SLA, как правило, дороже, чем FFF – обычно они стоят вдвое дороже. Самые дешевые 3D-принтеры SLA стоят около 450 долларов США, профессиональные машины - более ста тысяч долларов. Стоимость нашего оригинального 3D-принтера Prusa SL1 начинается с 1399 долларов или евро.

## SLS / DMLS

Другими типами технологий 3D-печати являются SLS и DMLS (Selective Laser Sintering - Селективное лазерное спекание; Direct Metal Laser Sintering - Прямое лазерное спекание металлов), в которых используется процесс, называемый спеканием. По сути, каждый раз, когда печатается новый слой, цилиндр распределяет тонкий слой мелкодисперсного порошка по платформе, который затем спекается лазером до требуемой формы. По окончании печати весь объект покрывается порошком для печати. Из-за того, как работает этот метод, на печатных объектах должны быть отверстия, через которые выливается излишек порошка. Неспеченый материал можно повторно использовать для следующих отпечатков, что позволяет свести к минимуму расход впустую материала. Еще одним преимуществом является то, что слои на изделии практически не видны.

Эти принтеры не получили большого распространения среди широкой публики. В связи с их основным использованием в различных отраслях производства, цены на них заметно выше - самые дешевые машины начинаются от 6000 долларов США.

- 1 Лазер
- 2 Система сканирования
- 3 Контейнер для порошка
- 4 Раскатный ролик
- 5 Механизм загрузки порошка
- 6 Порошковый слой
- 7 Печатаемый объект
- 8 Подвижная платформа



---

Выбор 3D принтера

**Н**ачиная выбирать 3D-принтер, всегда важно решить, как и для каких целей он будет использоваться. Может быть, вы ожидали увидеть длинный список принтеров, отсортированных от лучшего к худшему, но это практически невозможно без чрезмерного упрощения вещей до крайностей. Вместо этого мы хотели бы представить вам ряд вопросов, которые вы должны задать себе перед покупкой 3D-принтера. Ответы на них помогут вам выбрать подходящую машину для ваших целей.

На какой ценовой диапазон вы ориентируетесь? Дорогие профессиональные принтеры или дешевые китайские?

В цену заложены качество сборки и срок службы принтера, а также другие полезные функции и «плюшки».

Какая поддержка будет оказана по принтеру? Есть ли активное сообщество, которое потенциально могло бы помочь в случае возникновения проблем? Это принтер с открытым исходным кодом? А как насчет запасных частей и обновлений?

Это, наверное, самый важный вопрос. Сообщества становятся одним из наиболее важных факторов при покупке 3D-принтера. Ситуация схожа со смартфонами - производители поддерживают свои модели новыми обновлениями только в течение ограниченного времени, однако при наличии активного сообщества участники могут работать над своими собственными обновлениями и продлевать срок службы устройства. То же самое и с 3D-принтерами - проекты с открытым исходным кодом идеально подходят для активных сообществ.

Каковы текущие расходы?

Некоторые производители разрешают использовать только материалы и запасные части собственных брендов. Это увеличивает эксплуатационные расходы, а также ограничивает диапазон поддерживаемых материалов.

Насколько большая поверхность для печати вам нужна?

Может показаться, что лучше иметь большую поверхность для печати, однако в большинстве случаев это просто пустая траты денег. Объекты, сделанные из PLA, обычно не могут быть больше 20 см по одной оси из-за теплового расширения, которое приводит к деформации и отрыву более крупных объектов от поверхности печати. Не забывайте, что вы всегда можете разрезать модель на несколько частей и склеить их.

Насколько детализированные распечатки вам нужны?

На качество и уровень детализации объектов, напечатанных на принтере FFF, можно повлиять используя сопло с другим диаметром и выбирая правильные материалы, скорость и температуру. Несмотря на все возможные варианты модификаций, уровень детализации на принтерах FFF ниже, чем на принтерах SLA.

Достаточно ли хороши принтер на один материал, или вам нужен мульти-материалный (или даже многоцветный) 3D-принтер?

Вы узнаете больше о многоцветной печати в следующей главе.

Вы должны решить для себя, какие варианты лучше всего подходят лично вам. Многие из них - прямые противоположности, а значит, потребуются некоторые компромиссы. Проще говоря: если вас устраивает меньшая область печати и вам нужны высококачественные печатные детали, SLA - лучший вариант. Однако большинство пользователей будут полностью довольны 3D-принтером FFF.

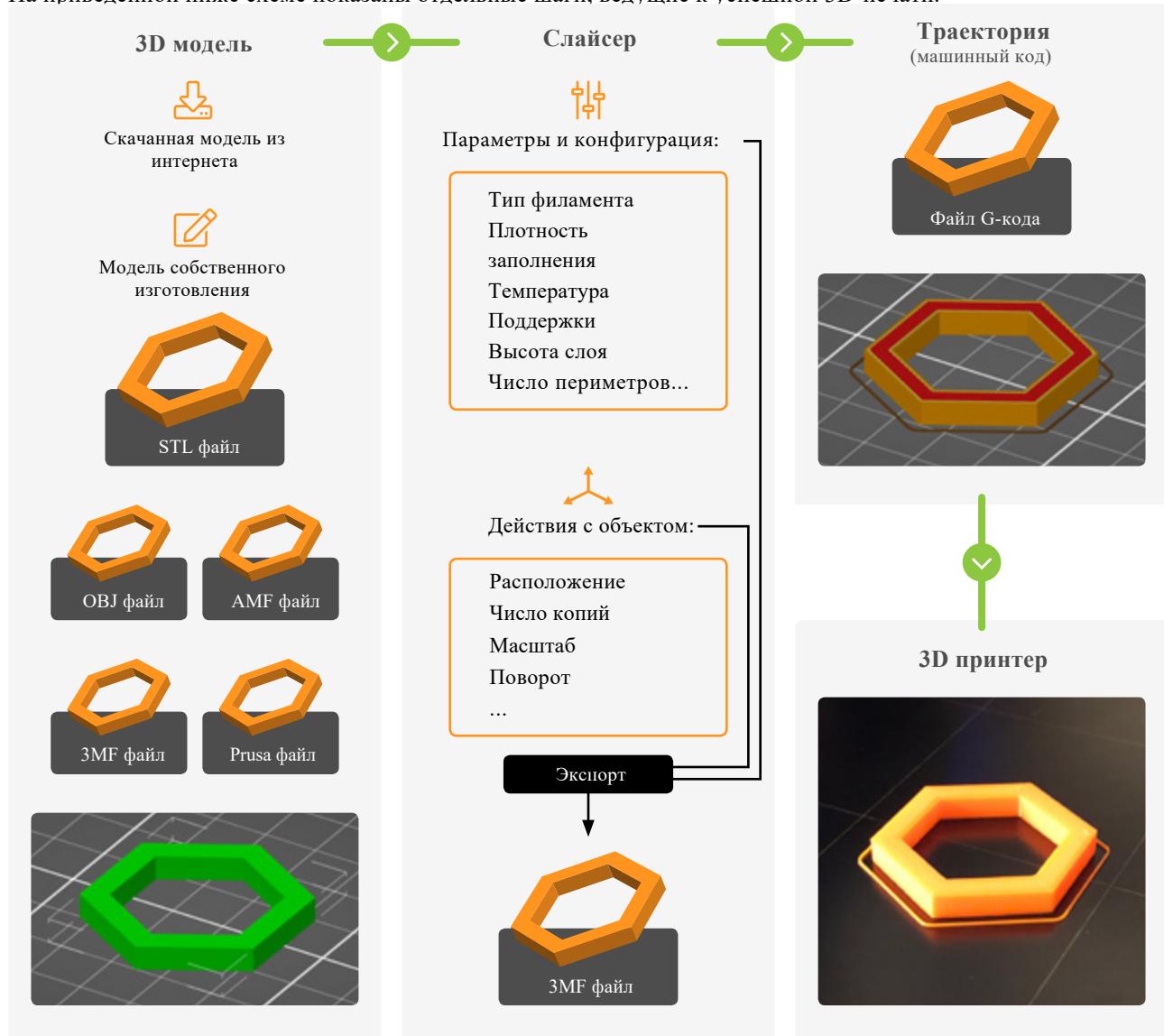
---

# Основы 3D печати

**П**роцесс 3D-печати состоит из трех основных этапов. Во-первых, вам нужно получить 3D-модель для печати. Затем вы должны подготовить её к печати, и последний шаг - это само задание на печать. Давайте посмотрим на все с общей точки зрения. Затем мы обсудим все нюансы подробнее.

Первый шаг - получить трехмерный объект, который обычно является файлом STL. Однако этот формат не распознается 3D-принтерами и не подлежит прямой печати. Для обработки файла STL вам необходимо использовать специальный инструмент, широко известный как «слайсер». На рынке представлены разные слайсеры, некоторые из них бесплатные (PrusaSlicer), другие платные (Simplify3D), и они обычно совместимы с ограниченным набором принтеров, поэтому вам нужно выбрать подходящий для своей машины. Вы можете импортировать файл STL в слайсер по вашему выбору, настроить параметры печати и затем экспортировать окончательный результат в виде «G-кода», который в основном представляет собой исходный 3D-объект, нарезанный на тонкие слои и преобразованный в набор распознаваемых команд для 3D-принтера. Кроме того, слайсеры вставляют дополнительную информацию в G-коды, например информацию о температуре, настройках охлаждения и т. д. Результирующий G-код зависит от принтера, поэтому 3D-объекты обычно используются как файлы STL - пользователи могут затем нарезать их для своего принтера / филамента индивидуально.

На приведенной ниже схеме показаны отдельные шаги, ведущие к успешной 3D-печати.



# Получение 3D модели

В целом, 3D-модель можно получить одним из следующих способов:

1. Скачать 3D-модель из Интернета.
2. Создать собственную модель
3. 3D-сканирование реального объекта.

## Онлайн-библиотеки и 3D-обменники.

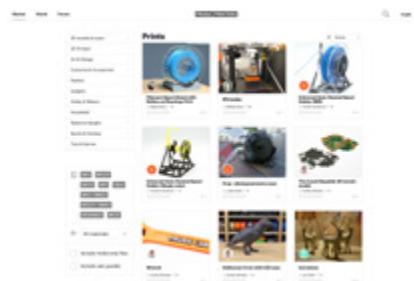
Самый простой способ начать работу с 3D-печатью - это бесплатно найти 3D-объекты в Интернете.

Обычно они имеют форматы файлов .stl или .obj. Существует ряд веб-сайтов, предлагающих широкий спектр загружаемых моделей, лучшие из которых перечислены ниже:

### PrusaPrinters

Бесплатные модели

[www.prusaprinters.org](http://www.prusaprinters.org)



Центр сообщества для всех владельцев принтеров Prusa и единственная онлайн-библиотека, предлагающая предварительно нарезанные и готовые к печати G-коды! Но это гораздо больше, чем просто библиотека файлов STL или 3MF! Присоединяйтесь сейчас и общайтесь с сообществом разными способами!

### Pinshape

Платные / бесплатные модели

[www.pinshape.com](http://www.pinshape.com)



По словам создателей, Pinshape - это магазин качественных 3D-моделей. Однако многие модели на сайте также предлагаются бесплатно. Дизайнеры могут использовать эту сеть для продажи своих творений.

### Thingiverse

Бесплатные модели

[www.thingiverse.com](http://www.thingiverse.com)

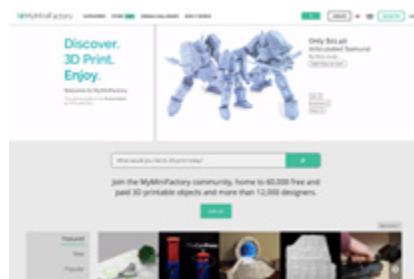


Thingiverse - самый богатый 3D-архив в Интернете. В настоящее время он предлагает более 1,2 миллиона моделей для бесплатной загрузки - и их число растет с каждым днем. Он стал популярным местом для загрузки, обмена и демонстрации всевозможных 3D-моделей.

### MyMiniFactory

Платные / бесплатные модели

[www.myminifactory.com](http://www.myminifactory.com)

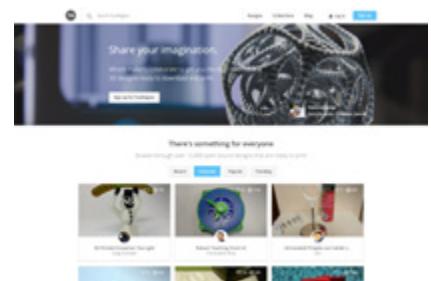


Популярный репозиторий, содержащий около 50 000 моделей от профессиональных дизайнеров. Все модели тестируются перед публикацией, поэтому вы можете быть уверены, что получаете STL высокого качества. Цена платных моделей обычно составляет от 4 до 40 долларов США.

### YouMagine

Бесплатные модели

[www.youmagine.com](http://www.youmagine.com)



YouMagine - это сайт сообщества, поддерживаемый Ultimaker. Модели делятся на популярные категории или коллекции, которые курируют пользователи сайта. На данный момент портал предлагает для скачивания более 15 000 моделей.

### Cults

Платные / бесплатные модели

[www.cults3d.com](http://www.cults3d.com)



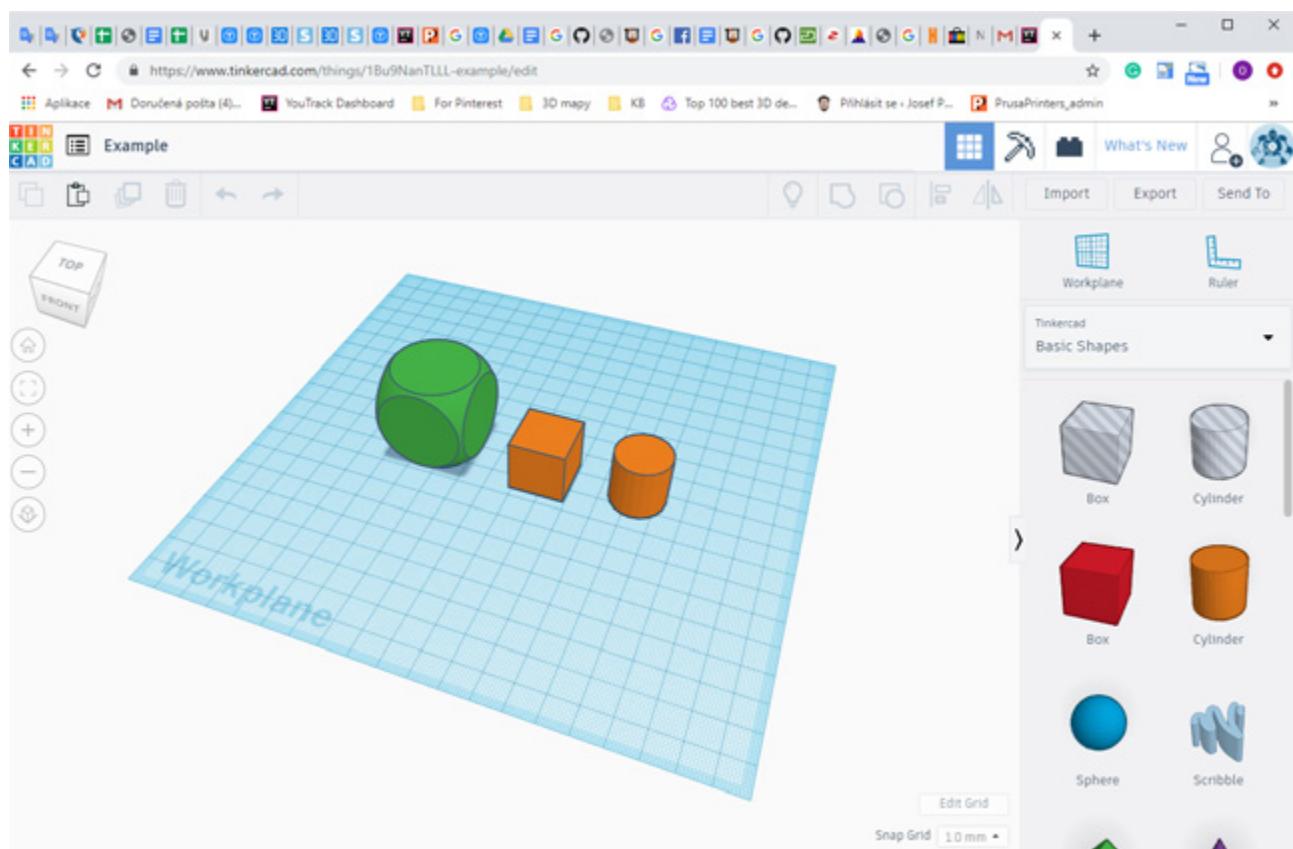
Репозиторий с более чем 25 000 бесплатных 3D-моделей и несколькими тысячами платных моделей. Интересное отличие этого сайта от остальных - это различные коллекции, основанные на популярных брендах, таких как Lego, IKEA или GoPro.

## Программное обеспечение для 3D-моделирования

В настоящее время вы можете выбирать из широкого спектра различных приложений для 3D-моделирования. Существуют простые и легкие в освоении (зачастую веб-приложения), такие как TinkerCad. Вы можете попробовать параметрическое моделирование с помощью OpenSCAD или использовать полностью профессиональный инструмент, такой как популярный Autodesk Fusion 360. Все эти приложения позволяют создавать модель и экспортить ее как файл STL.

### Tinkercad

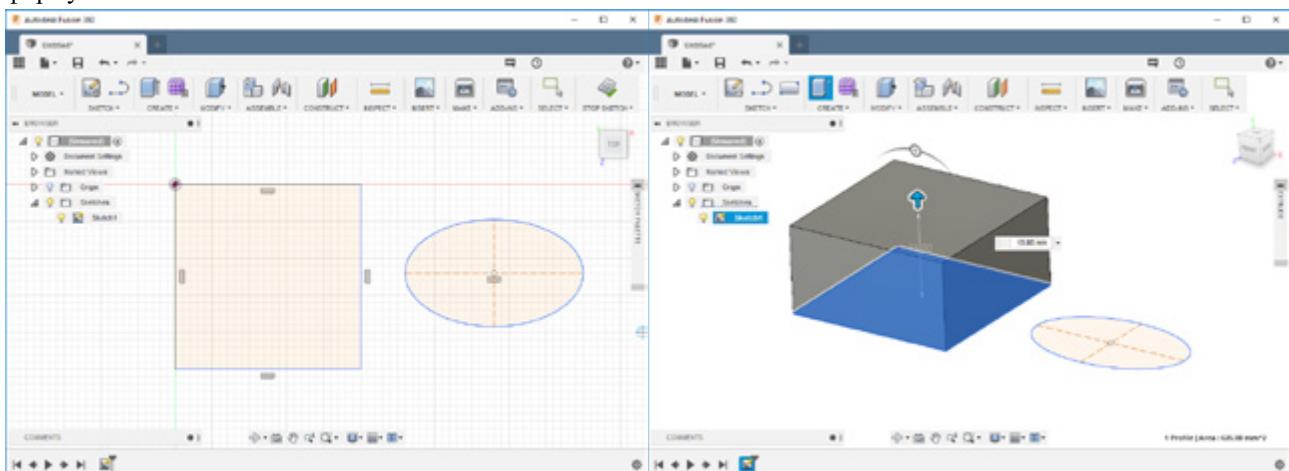
Tinkercad - отличный и интуитивно понятный инструмент для новичков. Он бесплатный, хотя и потребуется регистрация. Вы можете найти множество учебных пособий, руководств и советов в Интернете. TinkerCad построен на идее базовой библиотеки с различными формами, которую можно перетащить в главное окно и изменить. В приложении отсутствуют расширенные функции, однако оно может импортировать и редактировать существующий файл STL. Tinkercad доступен на [www.tinkercad.com](https://www.tinkercad.com).



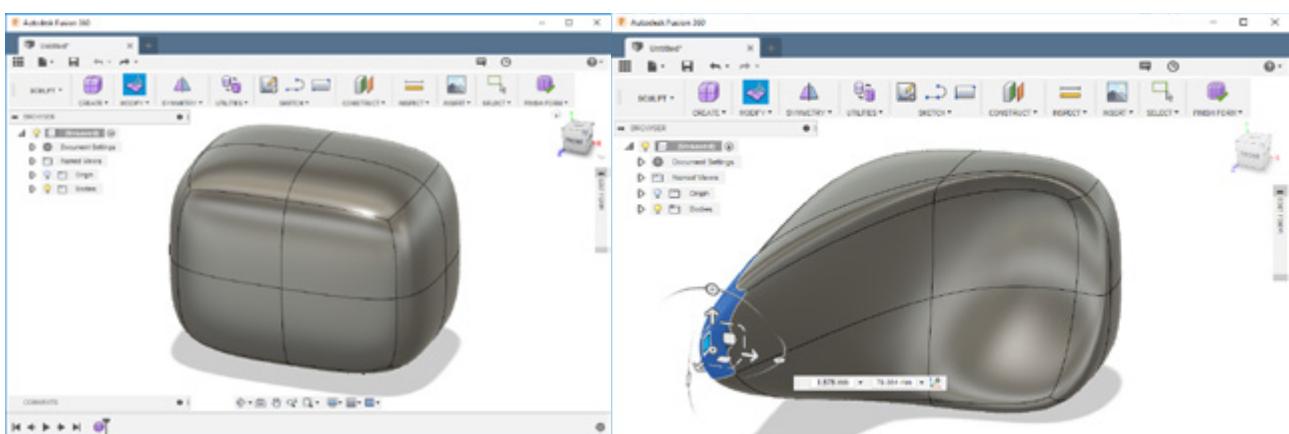
## Autodesk Fusion 360

Если вы хотите начать проектировать более сложные объекты или даже различные компоненты, которые должны подходить друг к другу, вам нужно выбрать более профессиональный инструмент. Fusion 360 - популярный вариант. Пользователи могут работать как в CAD (компьютерное проектирование), так и в CAM (компьютерное производство), анализировать прочность или визуализировать. Fusion 360 предлагает не только параметрическое моделирование, но и скульптурирование. Давайте подробнее рассмотрим эти два метода.

**Параметрическое моделирование** - распространенный способ создания структурных моделей или механических деталей. Объект начинается как двухмерная форма с использованием основных примитивов (линия, квадрат, прямоугольник, точка...). Затем объект выдавливается, что превращает его в трехмерную форму.



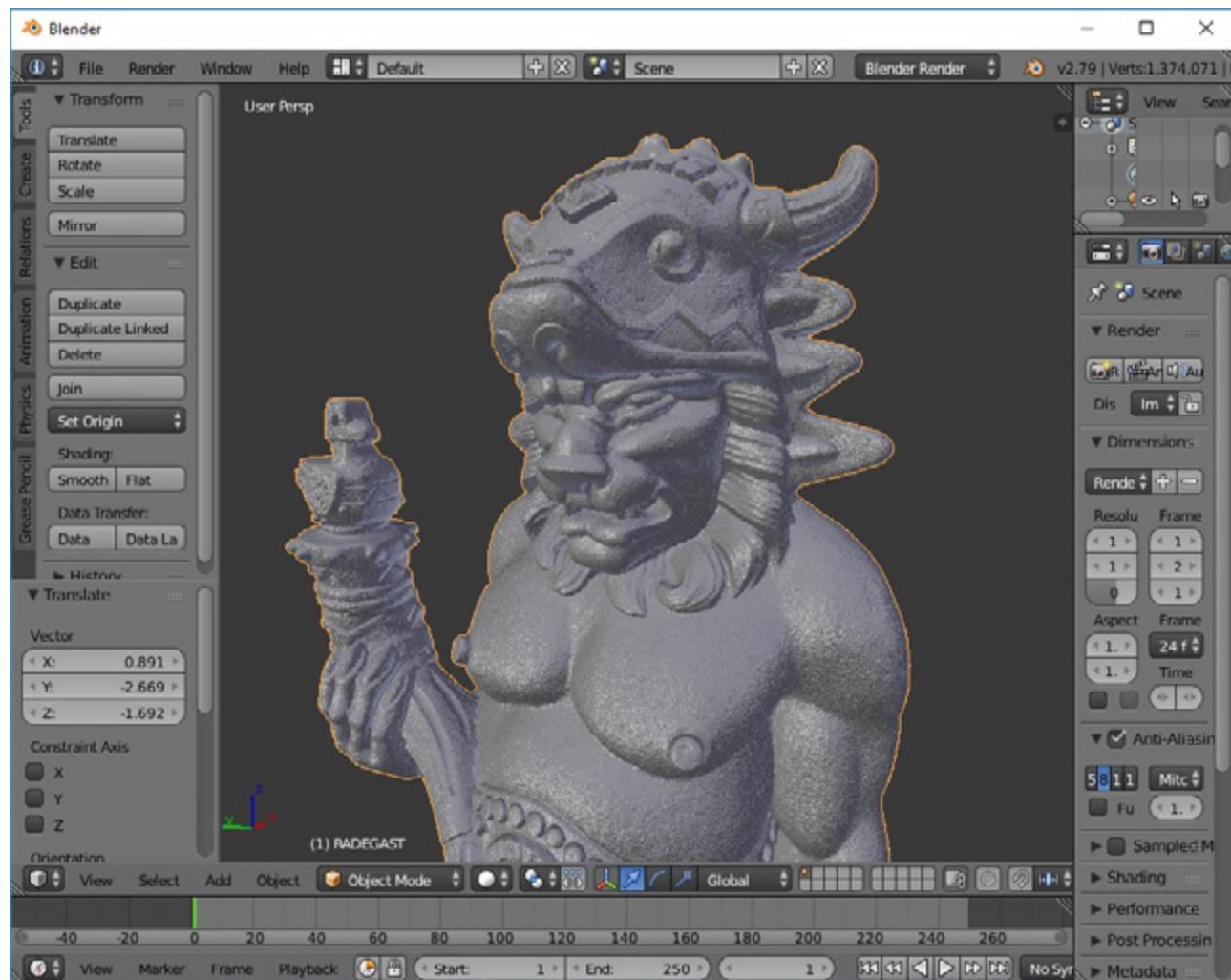
Теперь представьте, что мы хотим создать модель собаки. Использование параметрического моделирования неэффективно и слишком сложно, потому что мы хотим создать органичную форму. Здесь вступает в дело лепка. Цифровая скульптура чем-то похожа на скульптуру в реальном мире (например, с использованием гипса/глины или подобного материала), однако у нее есть много преимуществ, например, функция отмены. Примитивные объекты в этом случае уже являются трехмерными объектами - кубом, сферой, цилиндром, тороидом и другими. Эти объекты можно произвольно выдавливать, сжимать, гнуть... Рассмотрим рисунки ниже.



Fusion 360 становится все более популярным благодаря тому, что его можно использовать бесплатно для производителей, новаторов, энтузиастов и небольших компаний с оборотом до 100 000 долларов США в год. Если эта программа привлекла ваше внимание, действуйте - это отличный инструмент, вокруг которого находится активное сообщество. Кроме того, вы можете найти множество учебных пособий в Интернете. По ссылке [www.autodesk.com/products/fusion-360](http://www.autodesk.com/products/fusion-360) можно загрузить приложение.

## Blender

Blender, наверное, лучший бесплатный инструмент для 3D-моделирования из доступных сегодня. Он разработан по лицензии с открытым исходным кодом и доступен для Windows, Mac и Linux. Он может быть слишком сложен для новичка, даже хаотичен, однако он нашел свое место в сердцах многих пользователей. Blender - отличный инструмент, особенно для пользователей с художественными амбициями, которым не нужно точное параметрическое моделирование. Скульптура, текстурирование, анимация... Blender - это швейцарский армейский нож среди приложений для 3D-моделирования.

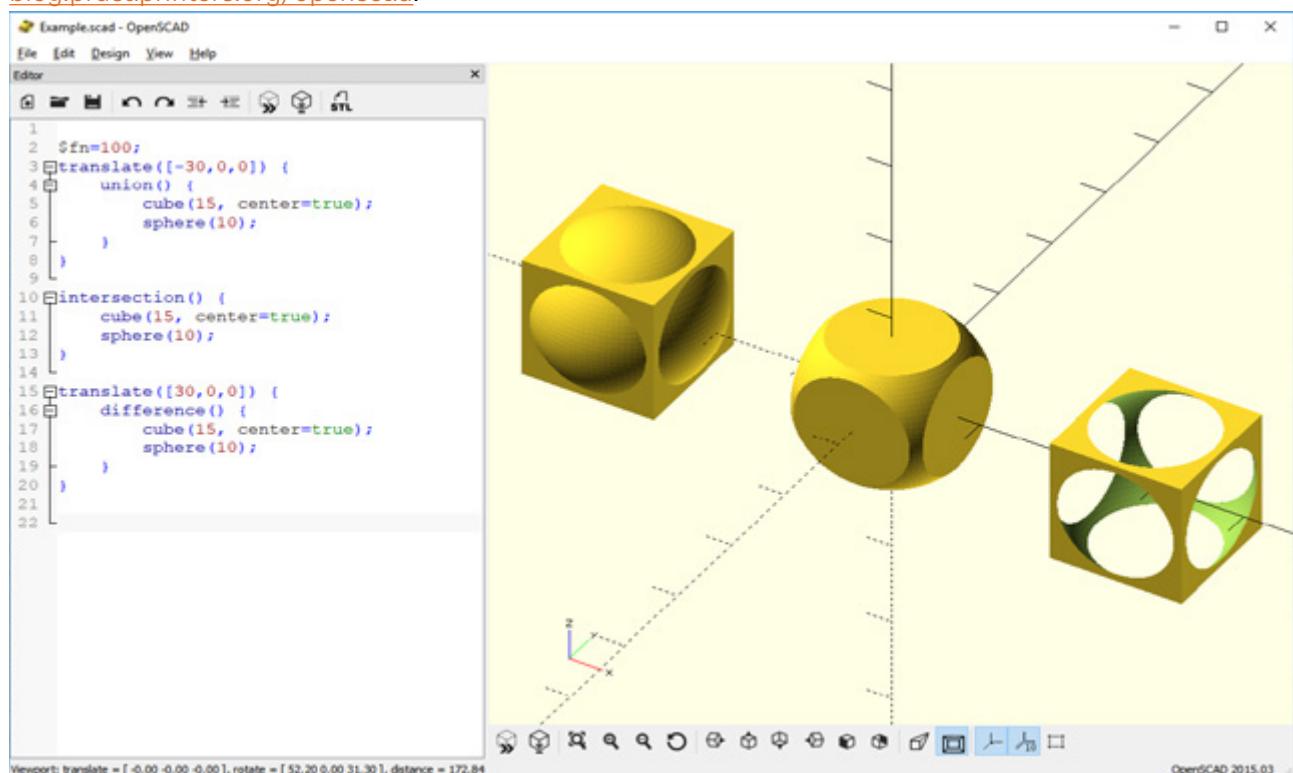


## OpenSCAD

OpenSCAD - это проект с открытым исходным кодом, доступный бесплатно на сайте [www.openscad.org](http://www.openscad.org). Совершенно другой подход к 3D-моделированию - все делается путем написания кода. Пользовательский интерфейс разделен на две части. В левой части пользователь определяет 3D-объекты, «программируя» их, а в правой части отображается предварительный просмотр в 3D. Приложение работает в основном с парой примитивов (куб, цилиндр, сфера, ...) и базовыми логическими операциями (соединение, разрез, пересечение). Однако программа также позволяет создавать сложные сценарии - вы можете использовать общеизвестные операторы, такие как if, while, for, логические операторы и другие. Если Вы чувствуете, что Вы больше программист, чем художник, попробуйте OpenSCAD.

Как начать создавать модели в OpenSCAD подробно описано тут:

[blog.prusaprinters.org/openscad](http://blog.prusaprinters.org/openscad).



Вы также можете попробовать следующие приложения:

Microsoft 3D Builder

Meshmixer

Rhinoceros 3D

FreeCAD

Autodesk Inventor

SolidWorks

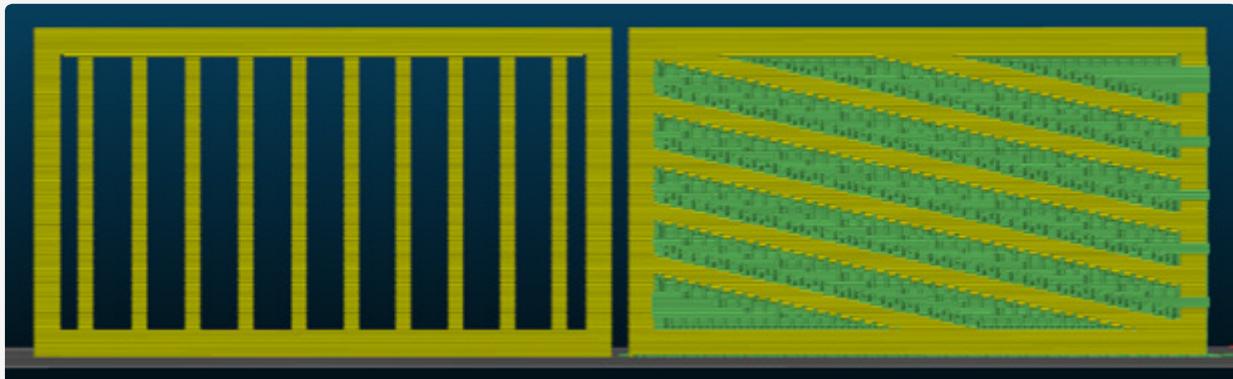
Autodesk AutoCAD

SketchUp

### Что нужно иметь в виду при разработке модели

1. Постарайтесь свести к минимуму потребность в поддержках. 3D-принтеры не могут печатать в воздухе, а для больших выступов также требуются поддержки. Чтобы сэкономить время, материал и улучшить качество поверхности объекта, постарайтесь спроектировать объект таким образом, чтобы свести к минимуму необходимость в поддержках. Рассмотрим пример - Вам нужно спроектировать часть забора, и вам решать, как будут выглядеть пикеты. На картинках ниже Вы можете увидеть два способа оформления забора, если мы хотим распечатать его в вертикальном положении. Лучшим решением здесь будет распечатать деталь по горизонтали.

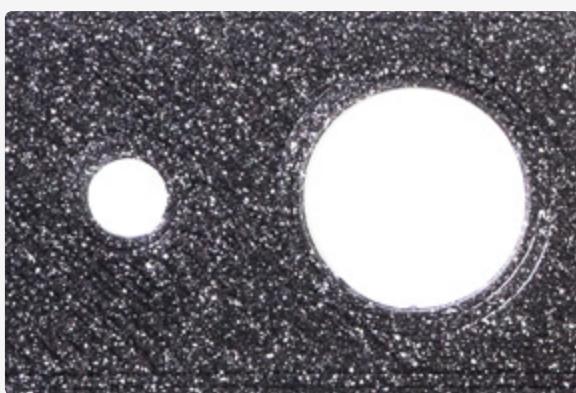
Предварительный просмотр модели в Slic3r - опорные конструкции отмечены зеленым, а сам объект желтым.



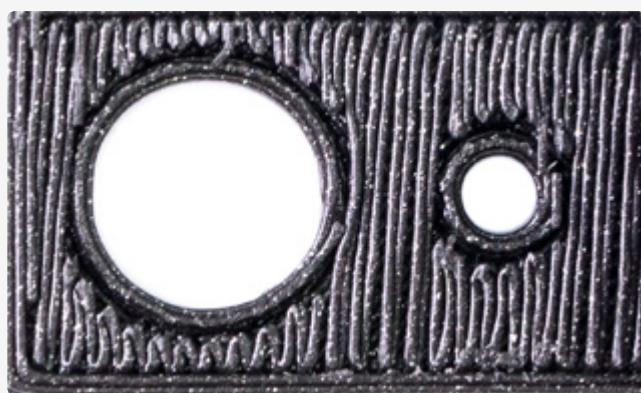
Возможна печать этой модели без поддержек.

Необходимы поддержки для успешной печати этой модели. Тем не менее, удалить их будет сложно и поверхность модели не будет идеально гладкой.

2. Решите, как модель будет расположена на печатном столе. Поверхности, расположенные поверх опор, не будут такими же гладкими, как поверхности, расположенные непосредственно на печатной платформе.



Поверхность, напечатанная непосредственно на печатной платформе, идеально ровная и гладкая.

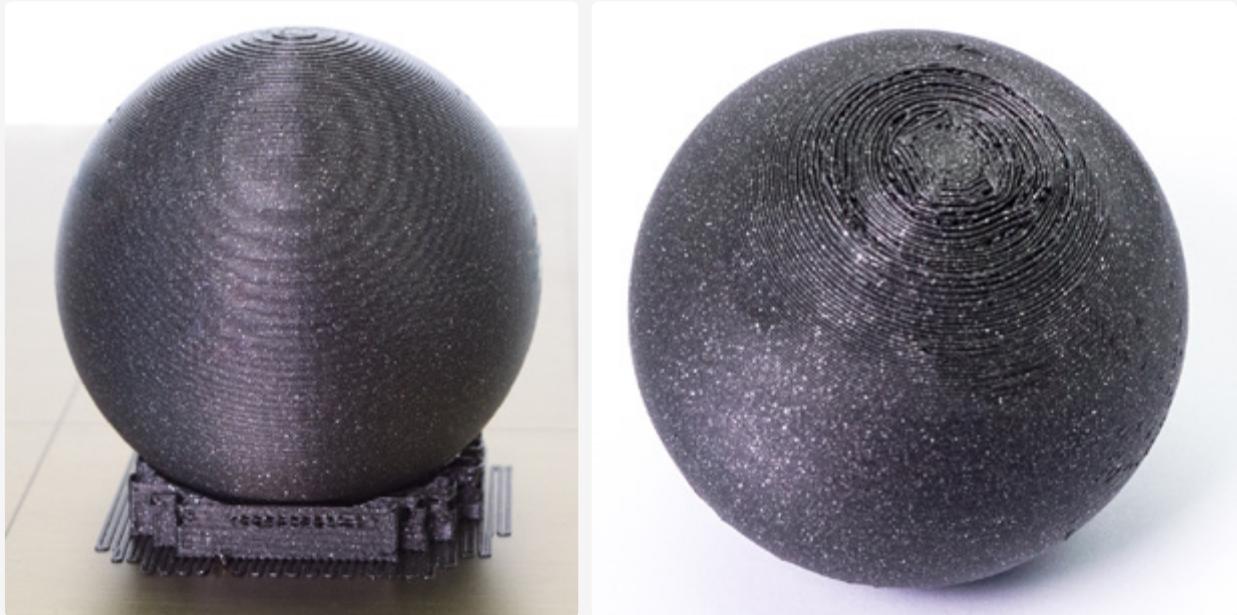


Поверхность напечатана над поддержками. Поверхность неровная и шероховатая. Это наихудший сценарий для демонстрационных целей. Поверхности с меньшим углом нависания выглядят намного лучше даже с поддержками.

3. Печать имеет меньшую прочность в направлении, параллельном напечатанным слоям, чем в направлении, перпендикулярном напечатанным слоям. Если Вы ожидаете, что печатная деталь будет выдерживать определенные нагрузки, имейте это в виду.

**4. 4.** Вы можете разделить модель на несколько частей, а затем найти оптимальное положение для этих частей на печатном столе. Возьмем для примера простую сферу. Распечатать её как единую деталь довольно сложно, потому что начальный слой, который касается печатной платформы, очень мал. Вы можете добавить козырек и опоры, чтобы решить эту проблему. Однако пострадает качество поверхности (см. ниже). Возможное решение - разрезать сферу на две части. Распечатайте их по отдельности, а затем склейте.

Печать сферы как единого объекта. Это повлияло на слои внизу объекта.

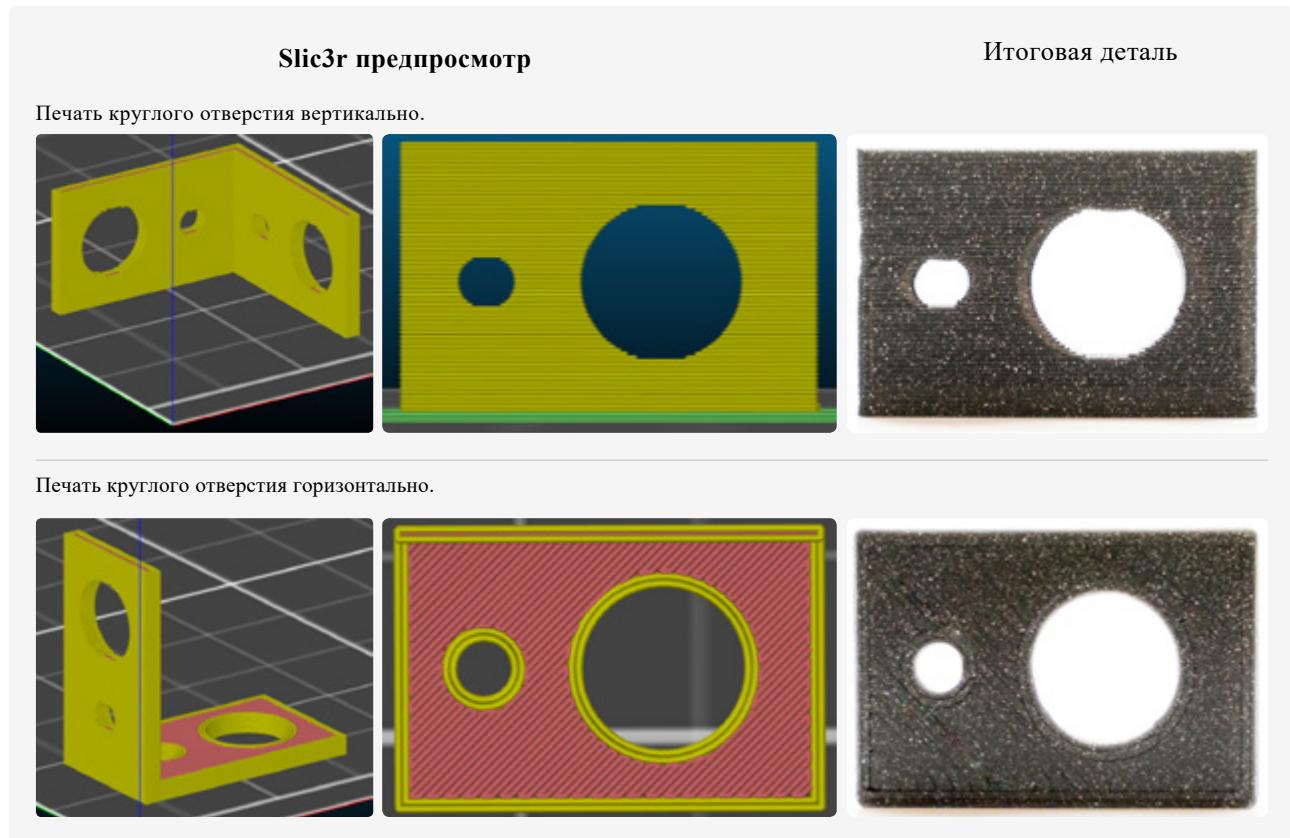


Печать сферы как двух полусфер, которые затем склеиваются.



**5.** При моделировании деталей, которые должны подходить друг к другу, необходимо учитывать определенный допуск. Вы не сможете соединить две детали с нулевым допуском у размеров. Имейте в виду, что вам, вероятно, придется изменить допуски, пока не достигнете оптимального результата. Не существует единого «универсального» значения - все зависит от размера модели, горизонтальной или вертикальной ориентации, формы деталей, которые должны сцепляться, калибровки, настроек, материалов и других аспектов. Так что не беспокойтесь о том, что не добьетесь успеха с первого раза, потребуется несколько попыток, чтобы все настроить - в конце концов, 3D-принтеры созданы как отличные машины для создания прототипов, поэтому продолжайте перебирать варианты, пока не получите наилучший результат. Быстрый пример: если мы хотим вставить стержень диаметром 10 мм в трубку, диаметр трубы должен быть примерно на 0,15 мм больше.

**6.** Круглое отверстие, напечатанное вертикально, не будет идеально круглым. Для достижения лучшего результата распечатайте круглые отверстия по горизонтали, как показано на рисунках ниже.



**7.** Ширина одного периметра при печати со стандартным соплом 0,4 мм составляет около 0,45 мм. Это влияет на общую ширину стенок модели.

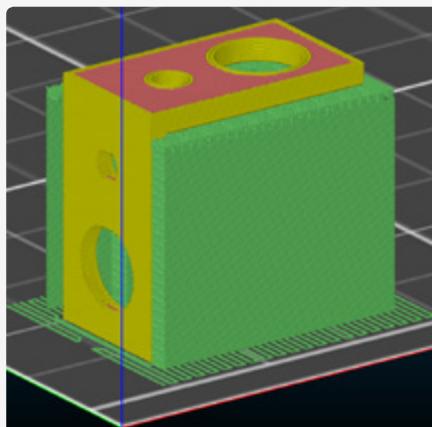
Толщина стенки	Возможно ли это напечатать?
Меньше чем толщина одного периметра (меньше диаметра сопла)	✗
Один периметр (в диаметр сопла)	✓
Больше толщины одного периметра, но меньше двух периметров	✗
Больше двойной толщины одного периметра	✓

## Примеры возможных ориентаций объектов и их влияния на получаемые распечатки.

Давайте посмотрим на простой L-образный зажим с двумя отверстиями на обоих концах и как ориентация объекта влияет на его окончательный вид. При этом затрагивается не только внешний вид - способ ориентации объекта также влияет на его структурную целостность и прочность.

- + На стороне, параллельной столу, будут круглые отверстия правильной формы.
- Слишком много опор приводит к потере большого количества материала.
- Низкая прочность материала в углу 90 °.  
Часть детали, напечатанная вертикально,  
будет иметь тенденцию ломаться в  
направлении напечатанных слоев.
- Часть детали, напечатанная вертикально,  
не будет иметь идеально круглых  
отверстий.
- Поверхность части над поддержками будет  
немного шероховатой.

Slic3r предпросмотр

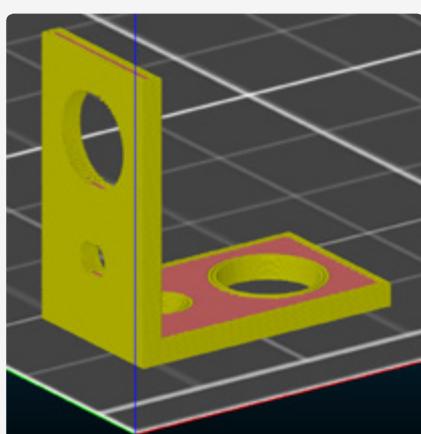


Напечатанный объект



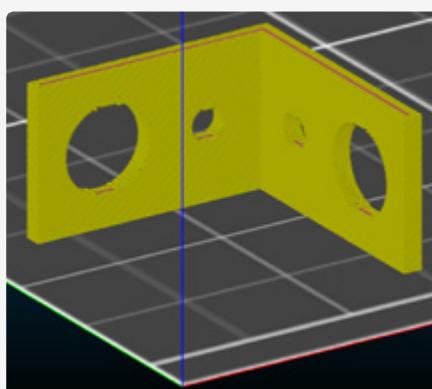
### Это не лучшая ориентация модели для печати

- + Сторона, напечатанная параллельно печатному столу, будет иметь круглые отверстия правильной формы
- + Никаких поддержек.
- Низкая прочность материала в углу 90 °.  
Часть детали, напечатанная  
вертикально, будет иметь тенденцию  
ломаться в направлении слоев.
- Часть детали, напечатанная  
вертикально, не будет иметь идеально  
круглых отверстий.



### Это не лучшая ориентация модели для печати

- + Наилучшая возможная прочность  
материала в углу 90 °.
- + Никаких поддержек.
- Отверстия не будут идеально круглыми.



### Это лучшая ориентация модели для печати

## 3D-сканирование и фотограмметрия

3D-сканирование и фотограмметрия - два популярных варианта создания цифрового объекта на основе реального. 3D-сканеры присутствуют на рынке довольно давно, но их высокая цена делает их недоступными для массовых пользователей. Самые дешевые сканеры можно купить даже менее чем за 300 долларов США, в то время как дорогие сканеры могут стоить намного дороже 10 000 долларов США. Вот тут-то и вступает в дело фотограмметрия. Это гораздо более дешевая технология, однако она требует дополнительной работы - весь принцип основан на обработке десятков или даже сотен фотографий одного объекта в специализированном программном обеспечении. Хорошо то, что для работы достаточно даже камеры вашего смартфона. Вы можете узнать больше о фотограмметрии по ссылке: [blog.prusaprinters.org/photogrammetry](http://blog.prusaprinters.org/photogrammetry).



## Выбор подходящего материала для печати

Распространенное заблуждение состоит в том, что разные филаменты – это лишь разные цвета. На самом деле существует множество различных типов филамента с очень разными свойствами. Некоторые материалы очень легко печатаются и позволяют детализировать отпечатанные объекты, но их термостойкость низкая (PLA). Другие материалы могут быть полной противоположностью (ABS).

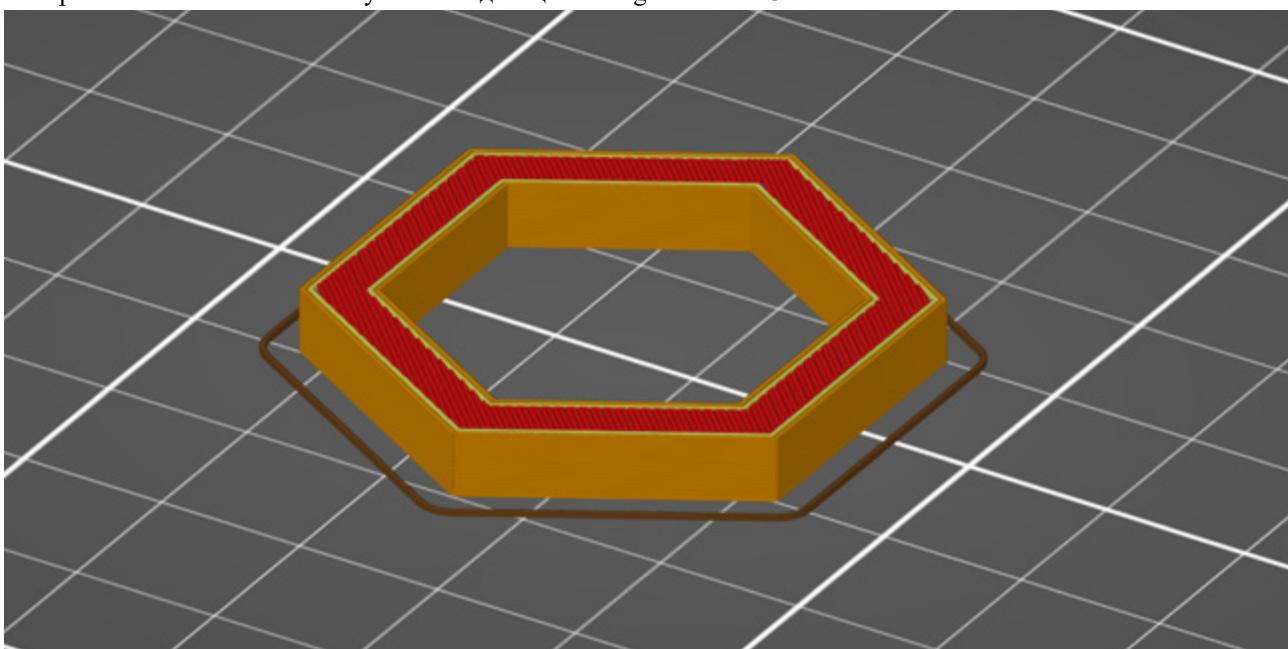


Вы можете узнать больше о материалах для печати в главе «Филаменты».

## Нарезка (слайсинг)

Нарезка - это процесс превращения трехмерного объекта в машинный код (G-код) с помощью программы, называемой слайсером. Наиболее распространеными слайсерами являются Slic3r PE (и его преемник PrusaSlicer 2.0), Simplify3D и Cura. Входными данными для генерации G-кода является не только трехмерный объект, но и различные настройки. Они могут повлиять на G-код / процесс печати разными способами - например, на прочность модели, количество деталей или скорость печати. Также можно изменять объекты - доступны инструменты масштабирования, вращения, резки и другие. И последнее, но не менее важное: вы можете использовать слайсеры для размещения объекта или объектов на виртуальной поверхности стола. Программное обеспечение так же важно, как и оборудование, а это означает, что правильные настройки слайсера оказывают решающее значение для красивой и правильной 3D-печати.

Существует несколько доступных слайсеров, у каждого из которых есть свои плюсы и минусы. Большинство из них доступны бесплатно. Новичкам следует придерживаться слайсеров, которые оснащены протестированными предварительно созданными профилями для их принтеров. Как только вы освоитесь с чем-то, что работает «из коробки», вы можете загрузить другие пакеты программного обеспечения и попробовать поэкспериментировать. Практически каждый крупный производитель 3D-принтеров имеет собственный слайсер, настроенный для своей линейки принтеров. Давайте посмотрим на три слайсера, которые больше всего используются владельцами Original Prusa i3.

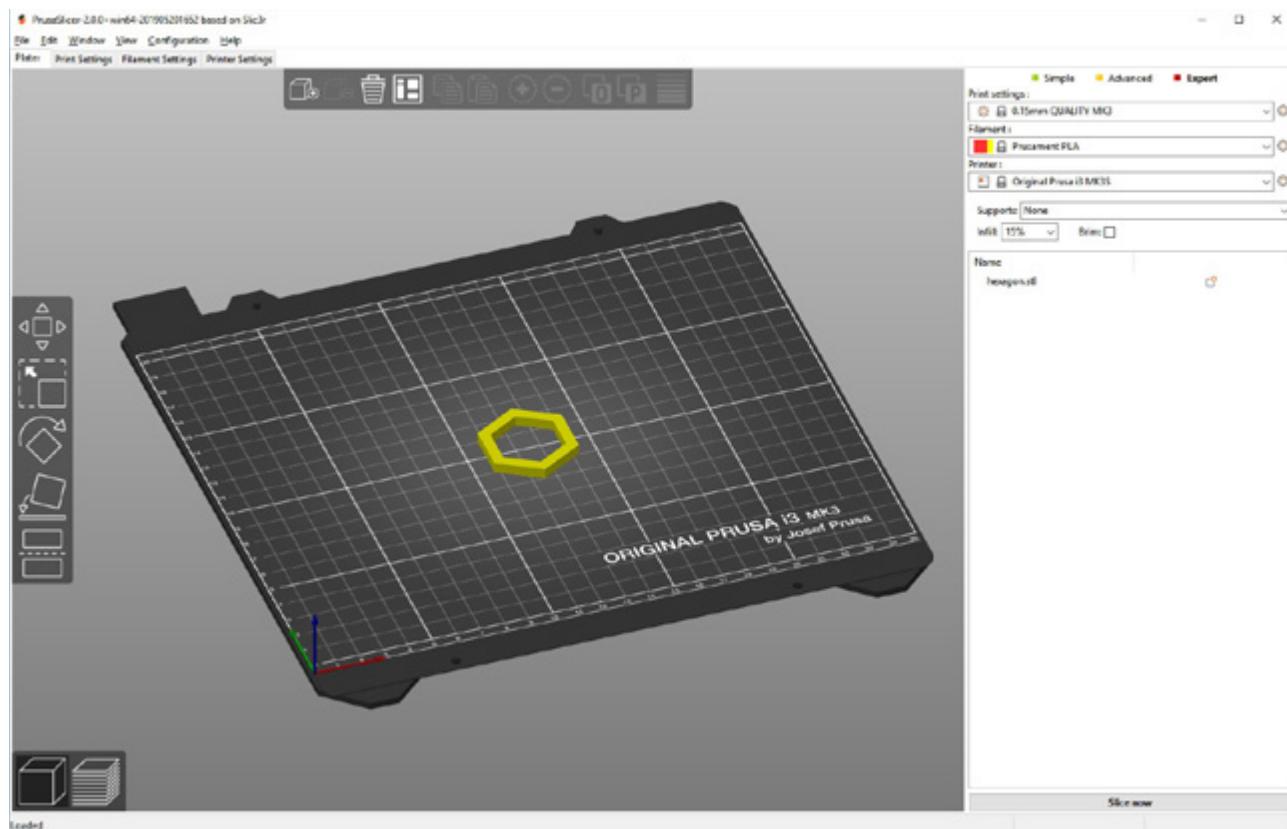


## PrusaSlicer

PrusaSlicer основан на проекте Slic3r с открытым исходным кодом или, скорее, является его ответвлением. PrusaSlicer - это наш слайсер по умолчанию, который также входит в состав нашего пакета драйверов и приложений. Приложение имеет ряд полезных функций и регулярно обновляется. Оно содержит множество улучшений и оптимизаций для продуктов Prusa Research, включая профили для печати на нескольких материалах. Кроме того, он поставляется с огромной библиотекой готовых и протестированных настроек для всех видов материалов. Это отличный вариант для каждого владельца 3D-принтера Original Prusa.

### Особенности:

- ⌚ Бесплатный и с открытым исходным кодом.
- ⇒ Имеет более 30 протестированных профилей для различных филаментов, от самых популярных до различной экзотики (например, Woodfil - деревонаполненные и др.). Профили регулярно обновляются.
- ⇒ Встроенный инструмент для прошивки оригинальных 3D-принтеров Prusa.
- ⇒ Поддержка печати несколькими материалами.
- ⇒ Интеграция Octoprint.
- ⇒ Множество опций для настроек печати, включая специальные модификаторы на основе области.
- ⇒ Предварительный просмотр срезов модели, который показывает объект слой за слоем.
- ⇒ Настройки переменной высоты слоя.
- ⇒ Поддержка 3D-принтеров SLA
- ⇒ Возможна генерация древовидных поддержек

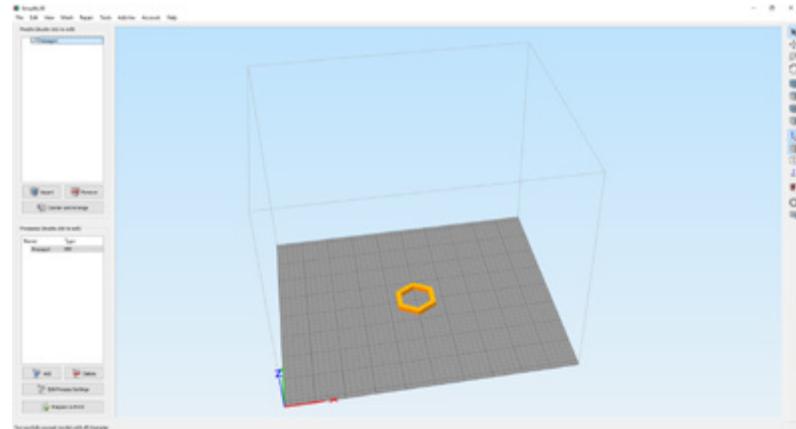


## Simplify3D

Simplify3D - это программа для нарезки, разработанная независимо, поэтому она не привязана к какому-либо производителю 3D-принтера или конкретной модели. В нем есть готовые профили для сотен различных 3D-принтеров. Это особенно полезно, если у вас есть несколько моделей 3D-принтеров, поскольку вам не нужно создавать профили печати самостоятельно.

### Особенности:

- ⌚ Платный софт (149 долларов).
- ⇒ Моделирование движений хотенда в режиме предпросмотра.
- ⇒ Предпросмотр нарезанных 3D-объектов в формате G-кода.
- ⇒ Автоматически создаваемые 3D-поддержки с дополнительными изменениями пользователя.
- ⇒ Множество настроек печати.
- ⇒ Модификаторы настроек по областям, настройки печати для конкретных объектов.

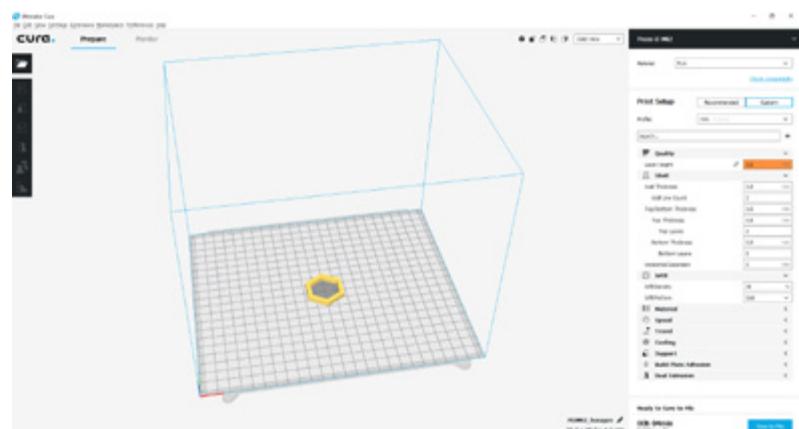


## Cura

Cura - это программное обеспечение для нарезки, разработанное Ultimaker, производителем 3D-принтеров. Это наиболее распространенный выбор для владельцев 3D-принтеров Ultimaker. Однако в программе есть несколько профилей для 3D-принтеров других производителей.

### Особенности:

- ⌚ Бесплатно и с открытым исходным кодом.
- ⇒ Простой интерфейс удобен для начинающих, но есть и расширенные настройки.
- ⇒ Оптимизированные профили для официальных материалов и 3D-принтеров Ultimaker.
- ⇒ Параметры печати для конкретных объектов, позволяющие размещать несколько объектов на одном печатном столе, каждый с разной конфигурацией.
- ⇒ Предварительный просмотр нарезанной 3D-модели в формате G-кода.
- ⇒ Показывает подробную разбивку того, сколько времени потребуется для печати каждого раздела модели (периметры, опоры, заполнение и другие).



## Слайсер - основные настройки

**Температура сопла и печатного стола** - каждый производитель филамента устанавливает оптимальный диапазон температур для своего материала. Вам следует придерживаться рекомендуемых значений, так как изменение температуры печати приведет к изменению внешнего вида распечатанной детали. Температура сопла и стола для печати обычно составляет от 200 ° С до 240 ° С и от 60 ° С до 100 ° С соответственно.

Высота слоя, иногда также называемая «разрешением по оси Z», оказывает большое влияние как на время печати, так и на общий вид поверхности печатаемого объекта. Более высокие значения приводят к более быстрой печати и более заметным слоям на поверхности объекта. Этот эффект особенно заметен на поверхностях, которые почти параллельны печатному столу. В большинстве случаев предпочтительна высота слоя 0,15-0,20 мм. Меньшая высота слоя приводит к более детальной печати (менее заметные слои), однако время печати увеличивается. PrusaSlicer имеет функцию для настройки переменной высоты слоя - это означает, что пользователи могут выбирать, какие части объекта будут иметь малую высоту слоя (детализированные или наклонные части), а какие части могут иметь увеличенную высоту слоя.

### Как высота слоя влияет на качество поверхности печатаемой детали



0,2 mm  
18 минут

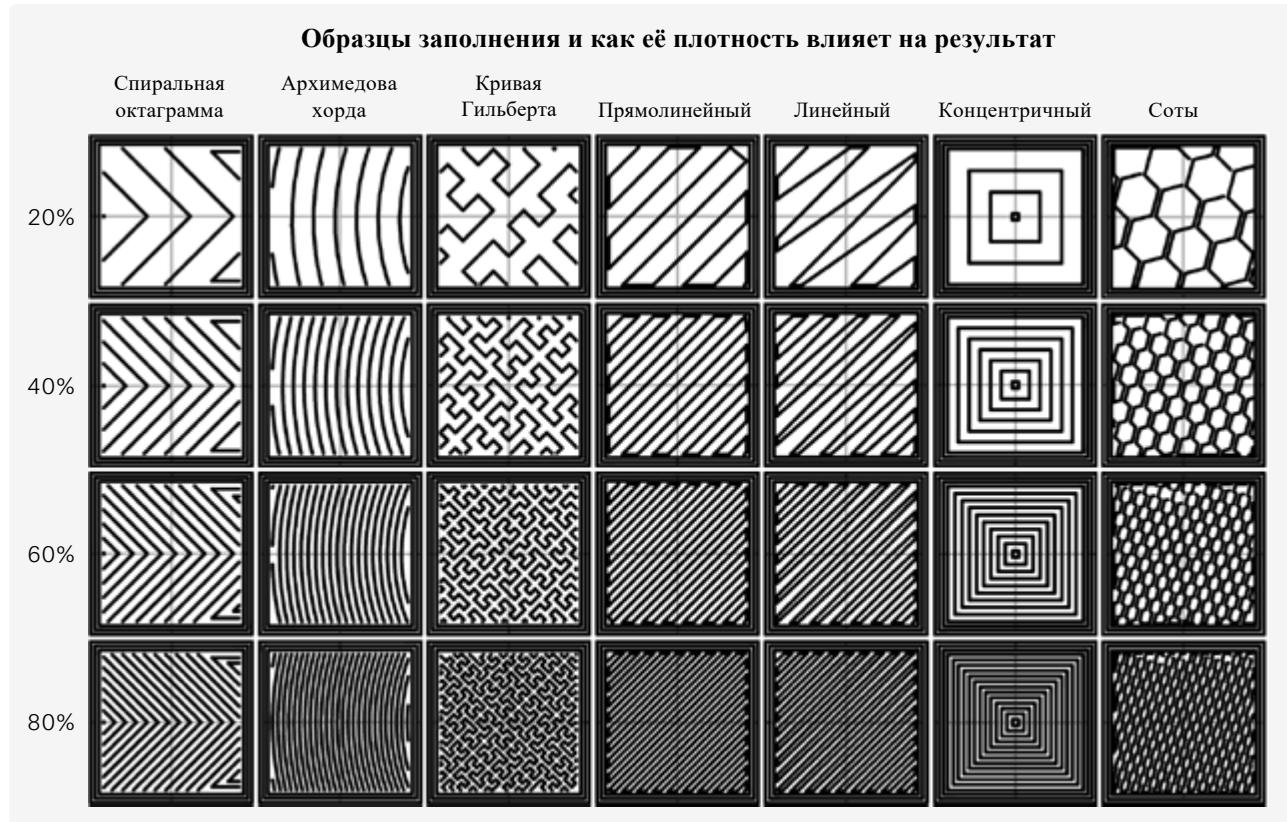
0,1 mm  
33 минуты

0,05 mm  
75 минут

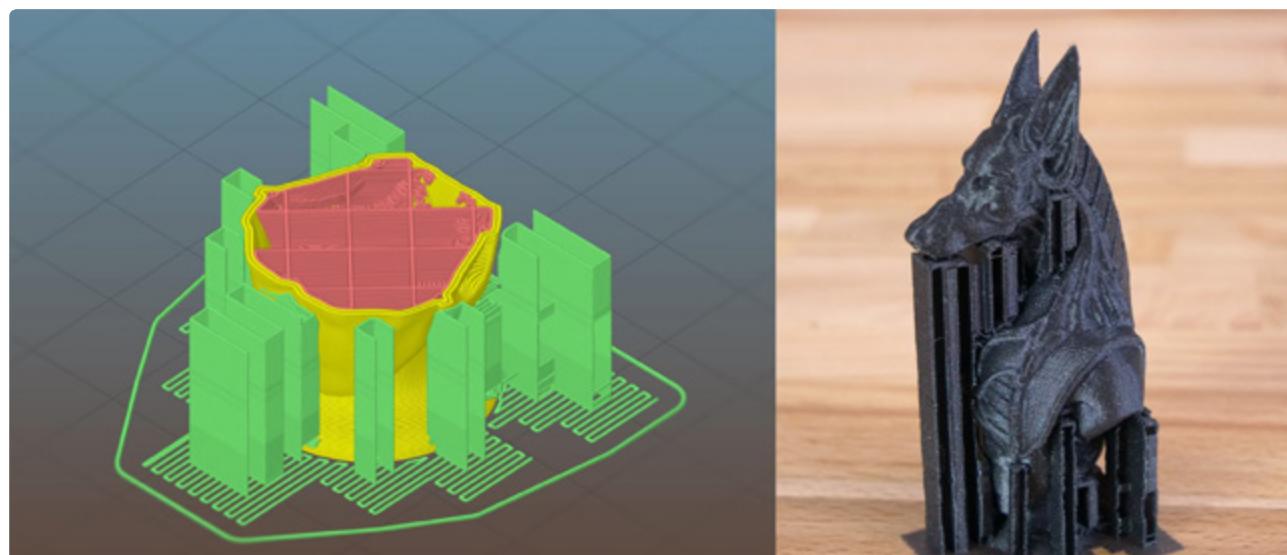
**Вертикальные оболочки или периметры (Vertical shells / Perimeters)** - это внешние стенки модели. Они задаются количеством – т.е. сколько периметров будет у детали. Результатирующую толщину стенки можно примерно рассчитать так: количество периметров × диаметр сопла. Вы можете узнать больше о периметрах в нашем руководстве по адресу [blog.prusaprinters.org/perimeters..](http://blog.prusaprinters.org/perimeters..)

**Горизонтальные оболочки / твердые слои (horizontal shells / solid layers)** - используется для настройки количества верхнего и нижнего слоев модели, которые будут полностью наполненными (100% заполнение).

**Заполнение (Infill)** - влияет на время печати, прочность печатаемого объекта и расход филамента. Заполнение задается в процентах, где 0% означает полностью полый объект. Обычно используется 10-20%. Также можно выбрать рисунок заполнения (см. Ниже).



**Поддержки (Supports)** - конструкции, похожие на строительные леса, которые поддерживают выступы или части, которые начинаются в воздухе. Поддержки легко снимаются, но могут оставлять следы на модели. Наша цель - минимизировать их количество за счет вращения (или даже проектирования) объекта для достижения оптимальной ориентации, когда требуется лишь несколько поддержек (или ни одной). Меньшее количество поддержек означает более быструю печать и лучший внешний вид модели.

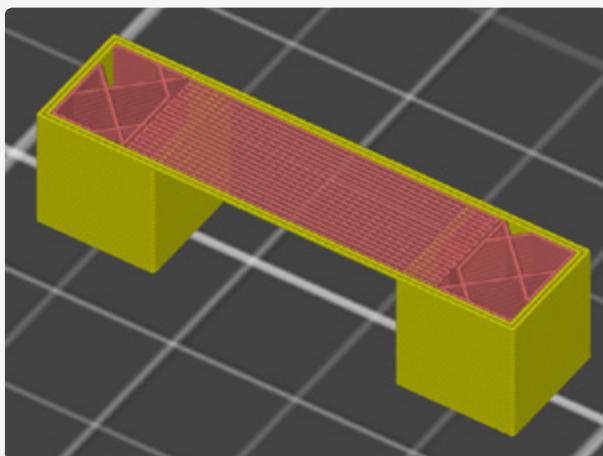


**Мостовое соединение (Bridging)** - это единственный случай, когда принтер может печатать в воздухе без опор под слоем. Но это особый случай. Экструдер может протащить струну экструдированного пластика по прямой линии между двумя точками. Это также означает, что мостик должен быть идеально параллелен печатной платформе. Максимальная длина мостика также определяется качеством охлаждения вашего 3D-принтера.

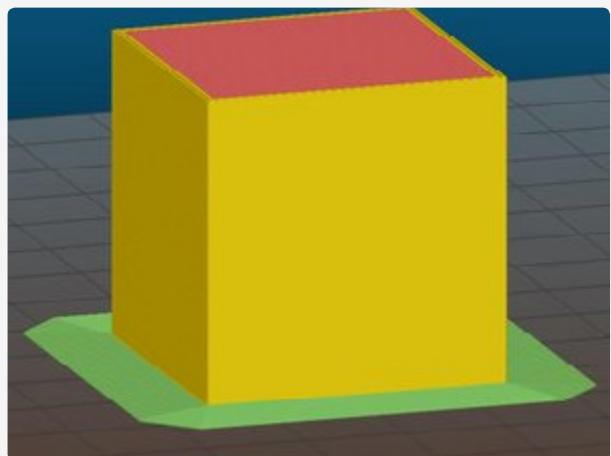
**Край / поле / кромка (Brim)** - для увеличения адгезии печатаемого объекта к печатной платформе (например, при печати небольших / тонких объектов) рекомендуется использовать край. Это дополнительная плоская поверхность, которая предотвратит деформацию / отслоение объекта во время печати. Его можно легко удалить после завершения печати.

**Юбка (Skirt)** - в отличие от поля Юбка не касается объекта. Это тонкая стенка вокруг печатаемого объекта, обычно состоящая из нескольких слоев. Чаще всего она используется при печати АБС-пластика, который имеет тенденцию к усадке и растрескиванию при остывании. Дополнительная юбка создает микроклимат, который препятствует циркуляции прохладного воздуха. Еще одно применение юбки: вы можете осмотреть ее, чтобы проверить, хорошо ли держится первый слой, и отрегулировать значение оси Z, если это не так.

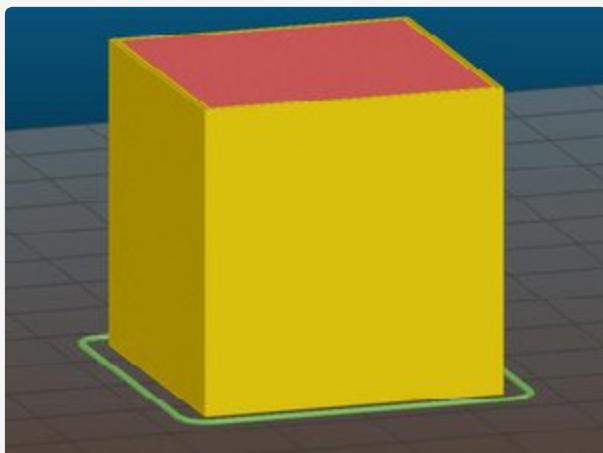
**Плот / рафт (Raft)** - это особая опорная конструкция, которая поднимает весь печатный объект над печатной площадкой. Он используется в основном с материалами АБС, поскольку помогает предотвратить деформацию / подъем объекта с поверхности для печати.



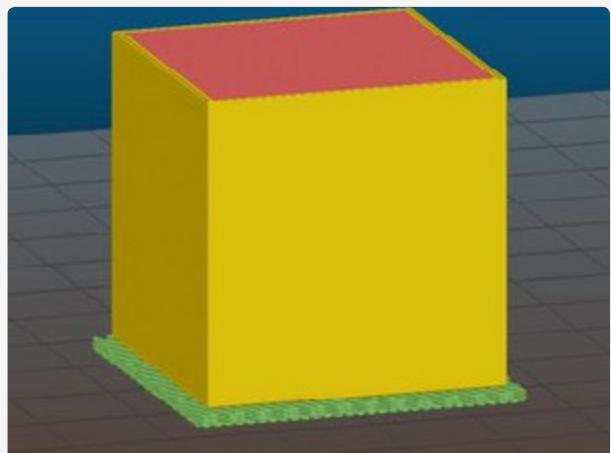
Мостик



Кромка



Юбка



Рафт

**Охлаждение (Cooling)** - рекомендуется активно охлаждать печатные объекты, особенно тонкие и высокие структуры, которым не хватает времени, чтобы остывть самостоятельно, потому что экструдер имеет тенденцию оставаться в одной области в течение длительных периодов времени.

### Продвинутые настройки

Слайсеры предлагают целый ряд других параметров, которые вы можете настраивать и корректировать: скорость по периметру, мосты, заполнение и многие другие. Эти настройки устанавливаются по умолчанию, поэтому зачастую нет необходимости изменять их.

Вы можете узнать больше о слайсинге в нашей статье на [blog.prusaprinters.org/slicer](http://blog.prusaprinters.org/slicer).

## Подготовка поверхности для печати



Подготовка поверхности - ключ к успешной печати. Если принтер не откалиброван должным образом, а поверхность не обеспечивает хорошей адгезии, задание на печать не будет выполнено. Всегда следите за тем, чтобы первый слой хорошо прилегал к печатной поверхности.

При разработке 3D-принтеров использовали различные варианты печатной поверхности. Изначально там были только стандартные столики из стекла или зеркала без дополнительного обогрева. Для увеличения адгезии использовался раствор ABS - ABS сок (крошечные кусочки ABS, растворенные в ацетоне). Другой вариант - использовать каптоновую ленту или клей для бумаги (Kores). Это также означало, что работа с принтером была несколько неаккуратной. Затем была открыта пленка PEI - и все изменилось. Поверхность PEI можно найти на всех 3D-принтерах Original Prusa i3, начиная с версии MK2. Такой тип поверхности не требует длительной и сложной подготовки - достаточно содержать ее в чистоте и обезжиривать. Он совместим с широким спектром материалов, и единственный раз, когда вам нужно использовать клей Kores - это когда вы хотите печатать ПЭТ-пластиком. В этом случае клей действует как разделитель, потому что адгезия ПЭТ может быть слишком сильной, что затрудняет его удаление со стола.

## Начало печати

Запуск печати означает отправку G-кода в 3D-принтер. Давайте посмотрим на доступные варианты.

В течение всего задания на печать принтеру необходим доступ для последовательного чтения инструкций G-кода. Если по какой-либо причине 3D-принтер не может прочитать G-код, печать неизбежно завершится неудачей. Вот почему рекомендуется использовать SD-карту или USB-накопитель (или аналогичное устройство) - накопитель всегда присутствует в 3D-принтере, и принтер может считывать данные с него без перерывов. В качестве альтернативы есть возможность подключить принтер напрямую к компьютеру (или другому устройству) с помощью кабеля USB. Специальное приложение, такое как Pronterface, затем передает данные с ПК на 3D-принтер, даже в течение нескольких часов в случае длительной печати. Огромный недостаток заключается в том, что компьютер должен работать в течение всего процесса без всяких ошибок (сон / гибернация, перезапуск, сбои приложения и т. д.). Процесс передачи будет прерван, что приведет к сбою задания на печать. Прямое подключение к ПК не рекомендуется.

Тем не менее, все еще можно надежно использовать ПК для этой задачи - небольшой ПК, такой как Raspberry Pi с операционной системой Raspbian. Эта плата для разработки дешевая и доступна практически везде, и на ней можно запускать приложение Octoprint, бесплатное приложение для управления 3D-принтером. Octoprint предлагает удаленное управление, мониторинг системы, поддержку веб-камеры и многое другое - все это доступно через пользовательский интерфейс веб-браузера.

## Постобработка

Объекты, напечатанные на 3D-принтере, обычно готовы к использованию после завершения печати - в основном это относится к функциональным деталям. Если у вас есть дополнительные требования к поверхности объекта или к общему виду в целом, вам необходимо обработать поверхность с помощью специальных инструментов. Это называется постобработкой.

Постобработка охватывает широкий спектр методов, материалов, инструментов и процедур, направленных на то, чтобы сделать поверхность печатаемого объекта гладкой, красочной и в целом красивой. Модели из пластика можно шлифовать (использование электрических шлифовальных машин обычно приводит к повреждению модели из-за высоких температур от чрезмерного трения), заглаживать и опрыскивать шпаклевкой, ламинировать, окрашивать акриловыми красками или распылителем ... Однако добавление дополнительного материала к модели может привести к исчезновению мелких деталей.



Вы можете узнать больше о постобработке в нашей статье: [blog.prusaprinters.org/postprocessing](http://blog.prusaprinters.org/postprocessing).

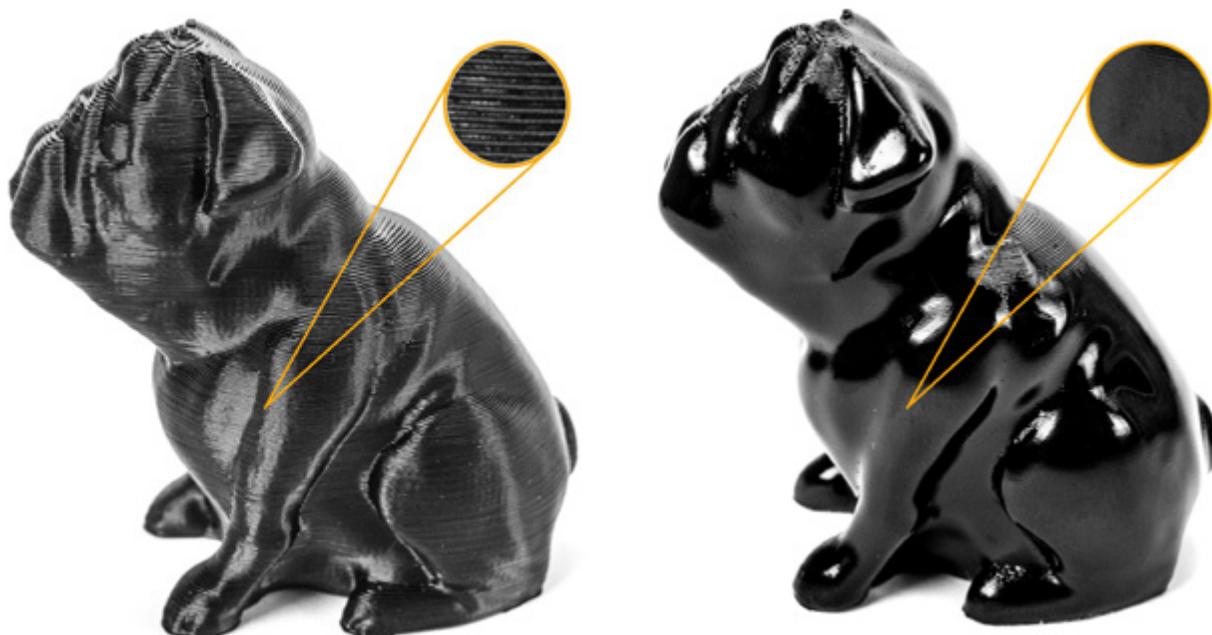


## Склейка и разглаживание моделей ацетоном

ABS и ASA - это материалы, растворимые в ацетоне. Это свойство можно использовать для склеивания распечатанных моделей вместе: смажьте поверхности, которые вы хотите соединить, небольшим количеством ацетона и сдавите их вместе.

Ацетон также можно использовать для сглаживания поверхности 3D-печатных моделей. Можно либо погрузить модель в ацетон на короткое время (5-10 секунд), либо поместить её в герметичный контейнер с ацетоном на дне - объект не будет его касаться, но испарения будут разглаживать поверхность.

Сглаживание поверхности приводит к потере мельчайших деталей.



### ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ!

Ацетон - летучая легковоспламеняющаяся жидкость! Убедитесь, что комната хорошо проветривается. Используйте защитные перчатки и очки.

### Дополнительные советы:

- ⇒ Так называемые «нитки» или бахрому (тонкие нити на поверхности) можно легко удалить с помощью теплового пистолета, однако делайте это очень быстро, иначе объект может деформироваться от нагрева.
- ⇒ Такие материалы, как PLA и PETG, можно склеивать с помощью любого хорошего суперклея. Для ускорения процесса можно использовать активатор.



PLA - это материал, растворимый в хлороформе (трихлорметане). Однако хлороформ не подходит для сглаживания отпечатанных объектов (например, комбинация ABS / ацетон), потому что он разъедает поверхность. Хлороформ можно использовать в качестве клея для склеивания частей, но обычный суперклей - гораздо лучший вариант. Хлороформ - опасное вещество, и с ним следует обращаться осторожно и в хорошо вентилируемых помещениях.

---

Филаменты

**П**о мере роста популярности 3D-принтеров производители также производят новые филаменты с разными цветами или особыми свойствами. В настоящее время ассортимент доступных филаментов довольно широк, есть множество материалов на выбор: легко печатаемый и очень прочный и термостойкий ABS, светящиеся в темноте нити, мягкие гибкие материалы, имитирующие внешний вид дерева или бронзы, композитные материалы и многое другое.

Каждый филамент требует определенных настроек печати, что также означает, что для одного и того же материала от двух разных производителей могут быть разные требования к печати. Возможно даже такое, что у филаментов от одного производителя будут разные требования к печати в зависимости от цвета (например, красный или синий PLA).

Чтобы достичь максимально возможного уровня качества во время печати, всегда обращайтесь к рекомендуемым температурам печати, установленными производителем. Только в том случае, если на распечатках есть видимые проблемы, вы можете начать настраивать профиль материала в PrusaSlicer – температуру, скорость вентилятора, скорость печати, поток филамента, втягивание (ретракт) и другие настройки.

Чаще всего используются филаменты PLA, PETG и ABS. Мы объясним, чем эти материалы отличаются и в каких ситуациях они работают лучше всего. Но на рынке есть и другие интересные материалы - на самом деле их так много, что лучший способ узнать о них больше - это посетить сайты производителей.

Если вы новичок в 3D-печати, самое важное с чего вам следует начать - это ознакомиться с «основными» материалами и узнать, в каких ситуациях они работают лучше всего. Самый удобный материал для этого - PLA. Давайте рассмотрим PLA-филамент в качестве основы для нашего руководства и посмотрим, чем отличаются от него другие популярные материалы.



## PLA

PLA, наверняка, является наиболее часто используемым филаментом в целом.

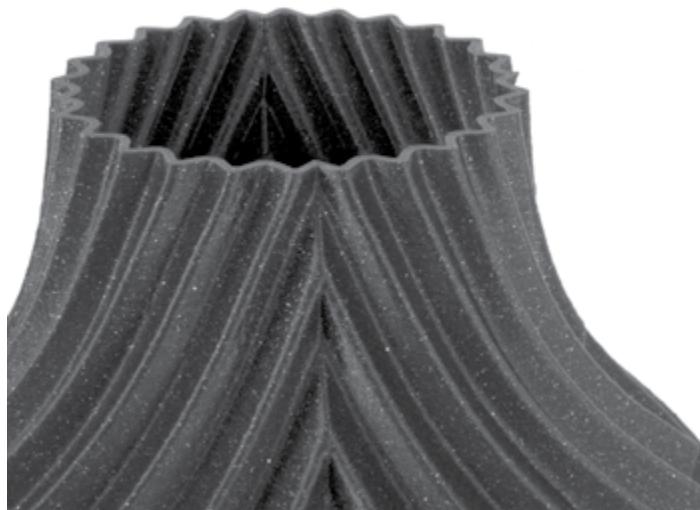
**На то есть несколько причин:**

- ⇒ Им легко печатать. Что это значит? Поверхности очень хорошо обрабатываются, как и места с поддержками и с большими уклонами. Подходит для печати небольших и детализированных моделей.
- ⇒ Отсутствие неприятного запаха при печати.
- ⇒ Низкое тепловое расширение по сравнению с другими материалами. Он не деформируется и хорошо прилегает к печатному столику. Вот почему он подходит для печати больших объектов.
- ⇒ PLA бывает самых разных цветов.
- ⇒ Один из самых дешевых материалов.

**Почему же нужны другие материалы?**

- ⇒ PLA твердый и хрупкий. Он имеет тенденцию ломаться и раскалываться под давлением.
- ⇒ PLA не является термостойким, он начинает размягчаться при температуре около 60 ° С, что делает его неидеальным выбором для печати таких вещей, как автомобильный держатель для смартфона.
- ⇒ По сравнению с остальными популярными материалами PLA имеет худшую атмосферостойкость.

В этих трех ситуациях лучше выбрать PETG и ASA.



# PETG, ASA и ABS

Эти три материала более гибкие по сравнению с PLA, а это значит, что они немногогибаются под давлением и не ломаются сразу. По шкале от самых простых до самых сложных для печати материалов, PETG находится между PLA и ASA / ABS. Проблема с ASA и ABS заключается в их тепловом расширении. Эти материалы имеют тенденцию сгибаться и деформироваться во время печати, что приводит к их отслоению от печатного стола - особенно большие объекты имеют более высокую тенденцию к деформации и изгибу, что затрудняет их печать. Кроме того, ASA и ABS создают очень заметный запах во время печати, намного более сильный, чем PETG или PLA. Кроме того, по сравнению с PLA, PETG имеет более блестящую поверхность, но также имеет тенденцию образовывать нитки филамента (бахрому) во время движения экструдера.

## В чем ASA / ABS хороши и в чем их различие?

ABS был первым широко доступным материалом для 3D-печати. По мере развития отрасли на рынке появлялись новые и более продвинутые материалы. ASA считается преемником ABS. Большинство их свойств одинаковы, в то время как ASA в некоторых отношениях лучше. ASA - это устойчивый к УФ-излучению материал, который также имеет более низкое тепловое расширение, что упрощает печать (по сравнению с ABS).

Еще стоит упомянуть, что отпечатки из ABS и ASA можно сгладить парами ацетона.

Касаемо PLA, PETG, ASA и ABS - это хорошие материалы для 3D-печати в целом. Однако вам может понадобиться что-то еще. Давайте посмотрим на некоторые материалы, которые используются реже, но они предлагают некоторые интересные особенности - правда, их цена, как правило, выше.



## FLEX

Гибкие материалы - это большая группа специальных филаментов с гибкими свойствами. Эти материалы чем-то похожи на резину - когда вы их сгибаете, они не ломаются. Гибкие материалы производятся с разной степенью твердости. Чем мягче («гибче») материал, тем труднее им печатать. Гибкие нити можно использовать для печати колес для радиоуправляемых моделей, чехлов для мобильных телефонов, сайлентблоков. Однако имейте в виду, что напечатанные объекты не имеют такого же уровня адгезии, как резина. Другими словами, для высокопроизводительных автомобилей с радиоуправлением купленные в магазине шины будут работать лучше.



## Композиты

Композиционные материалы (древесный наполнитель, медный, бронзовый и другие) состоят из основной пластмассовой части и вторичного материала в виде порошка. Эти филаменты интересны прежде всего своим внешним видом, так как могут имитировать различные материалы. Однако они обычно очень абразивные - рекомендуется использовать закаленное сопло на тот случай, если вы планируете чаще печатать этими филаментами. Также для печати деревянных композитов мы рекомендуем использовать сопло большего диаметра (0,5 или 0,6 мм), иначе деревянный порошок может забить сопло. Параметры печати могут отличаться в зависимости от основного используемого пластикового компонента - обязательно используйте рекомендуемые настройки в PrusaSlicer, или, если профиль недоступен, используйте рекомендуемые производителем настройки.



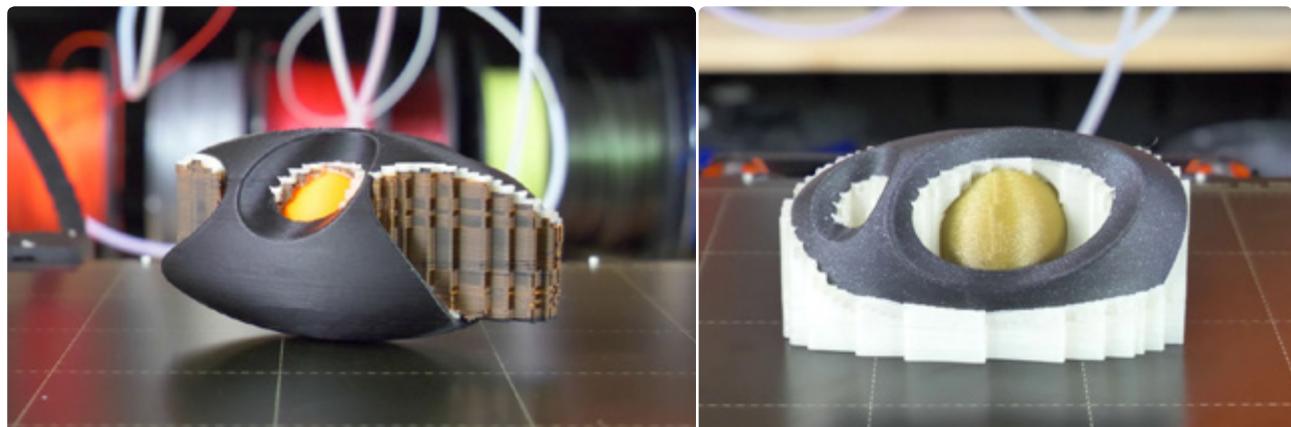
## PVA и BVOH для растворимых поддержек

Обычно при печати модели рекомендуется повернуть модель таким образом, чтобы минимизировать количество поддержек. Однако это возможно не всегда. В большинстве случаев поддержки напечатаны из того же материала, что и остальная часть модели, и, в конце концов, когда печать будет завершена, мы сможем их сломать. Поверхность над опорами часто может иметь следы отколившегося материала, слои могут быть более заметными по сравнению с остальной частью объекта и т. д.

Существуют 3D-принтеры, которые могут печатать с двумя или более материалами одновременно (например, наш Original Prusa i3 MK3S с Multi-Material Upgrade 2.0), что открывает возможность использовать другой материал для поддержек печати: к примеру, растворимые материалы PVA и BVOH. Благодаря этим материалам параметр расстояния между опорами (который используется для облегчения снятия стандартных опор) больше не требуется, потому что мы просто растворим материал в воде. Однако эти материалы дороже стандартных филаментов. Можно уменьшить расход филамента, используя растворимые материалы только на «границе раздела» (пара слоев между опорами из стандартного материала и самим объектом).

Материалы BVOH и PVA лучше всего работают в сочетании с PLA, особенно из-за схожих температур печати. И BVOH, и PVA растворимы в воде.

HIPS - это поддерживающий материал, растворимый в лимонене (lemonesol), и лучше всего работает в сочетании с ABS.



## Другие материалы

**PP** - более высокая термостойкость по сравнению с ABS или PLA. Химически стойкий, гибкий, плохо прилипает к печатной поверхности.

**Нейлон** - прочный и жесткий материал с отличным сцеплением между слоями. Нейлон устойчив к трению, поэтому он подходит для печати механических деталей, но он также гигроскопичен (поглощает влажность воздуха), что отрицательно сказывается на печати.

---

Фотополимеры/смолы

**C**молы (также называемые фотополимерами или УФ-чувствительными смолами) - это материалы для печати 3D-принтеров SLA. Смолы - это жидкости, которые застывают (затвердевают) под воздействием УФ-излучения. Смолы обычно заметно дороже филаментов, но их цена может различаться в зависимости от их свойств. Самые дешевые смолы можно купить примерно по 30 долларов за литр, в то время как более современные материалы могут стоить до 400 долларов за литр - обычно это стоматологические или литейные смолы. Вообще говоря, отпечатки SLA более хрупкие, чем отпечатки FFF. С другой стороны, отпечатки SLA не разбиваются по линиям слоев - вместо этого они разбиваются, как стекло.

Смолы обычно состоят из трех основных компонентов:

- ⇒ **Ядро смолы** (мономеры и олигомеры).
- ⇒ **Фотоинициаторы** - молекулы, реагирующие на УФ-свет, инициирующие процесс затвердевания.
- ⇒ **Добавки** - добавки, изменяющие цвет и свойства смолы.



При покупке смол всегда проверяйте, на какой длине волны происходит процесс отверждения, чтобы обеспечить хорошую совместимость с вашим 3D-принтером.

Смолы не различаются по типу материала, как в случае филаментов для принтеров FFF. Смола по сути только одна. Отличия возникают только за счет добавления добавок и красителей. Типичный параметр, на который могут влиять добавки, - это степень твердости и вязкости. В следующей таблице приведены наиболее распространенные типы смол с их преимуществами и недостатками.

Тип материала	Свойства
Обычная смола	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Гладкая поверхность, высокая детализация</li> <li>- Хрупкая</li> <li>- Не подходит для механических частей</li> </ul>
Чистая смола	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Полупрозрачная</li> <li>- Можно сделать почти полностью прозрачной с помощью постобработки</li> </ul>
Литейная смола	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Высокая детализация</li> <li>+ Отлично подходит для изготовления литейных форм</li> <li>+ Остатков после сжигания смолы практически нет</li> </ul>
Твердая и стойкая смола	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Подобна материалам ABS или PP</li> <li>+ Частично гибкая</li> <li>+ Подходит для механических деталей</li> <li>- Низкая устойчивость к высоким температурам</li> </ul>
Термостойкая смола	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Высокая термостойкость</li> <li>+ Используется для отливочных форм</li> <li>- Дорогая</li> </ul>
Биосовместимая смола	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Нетоксичная</li> <li>+ Подходит для изготовления зубных имплантатов</li> <li>+ Износостойкая</li> <li>- Дорогая</li> </ul>
Гибкая смола	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Аналогична резине (твёрдость 70А)</li> <li>- Более низкое разрешение печатаемых деталей</li> </ul>

---

Многоцветная печать

**Д**о сих пор мы обсуждали только одноцветную 3D-печать. Таким образом, возникает очевидный вопрос, можно ли печатать несколькими цветами одновременно. Конечно да! Есть даже несколько вариантов. У доступных в настоящее время методов есть преимущества и недостатки, поэтому давайте рассмотрим их.

**i**

В чем разница между разноцветными и одноцветными распечатками?

В нашем случае под разноцветной печатью подразумевается объект, напечатанный от двух до пяти цветов. Полноцветные 3D-принтеры могут создавать любой цвет, потому что они смешивают цвета спектра CMYKW (Голубой, фиолетовый, желтый, черный, белый).

Самый простой способ получить разноцветные распечатки - это вручную менять местами филаменты во время печати. Это хороший вариант для создания логотипов, баннеров или оригинальных визиток.

- ⊕ Нет необходимости модифицировать ваш 3D-принтер.
- ⊕ Нет потраченного впустую материала.
- ⊖ Это нужно делать вручную.
- ⊖ Только одно изменение цвета на слой, нет других цветов на одном слое.



Если мы немного улучшим предыдущий метод, мы получим Original Prusa Multi Material Upgrade 2S или Mosaic Palette. По сути, эти устройства могут автоматически менять филаменты, и даже несколько раз за один слой.

- ⊕ Возможна замена филамента в пределах одного слоя.
- ⊕ Используется оригинальный (или слегка модифицированный) одиночный экструдер - не нужно калибровать несколько экструдеров.
- ⊖ Потраченный материал - принтер должен «вынуть» материал из сопла во время замены филамента.
- ⊖ Поддерживает до 5 цветов.
- ⊖ Невозможно смешивать цвета для создания новых смесей.



Полноцветная печать может быть достигнута путем смешивания филамента непосредственно в экструдере. Принцип аналогичен обычным чернильным принтерам, с той лишь разницей, что чернила заменяются филаментом. Однако 3D-принтеру нужны не только филаменты CMYK, но и белые (W) филаменты.

- ⊕ Для полноцветной печати достаточно 4-5 филаментов.
- ⊕ Насыщенные цвета.
- ⊖ Много потраченного впустую материала.
- ⊖ Для получения хороших цветов требуются «откалиброванные» филаменты CMYKW.

Вы также можете добиться полноцветной печати с помощью комбинации 3D-принтера и обычного (чернильного) принтера. Чернильный принтер сочетает цвета CMYK для достижения необходимого оттенка, а цвет наносится на белый филамент, который поглощает капли краски.

- ⊕ Возможен любой цвет.
- ⊕ Достаточно одного филамента.
- ⊕ Нет потраченного впустую материала.
- ⊖ Невозможно добиться полностью насыщенных цветов.



---

## Глоссарий

Вы можете найти наиболее часто используемые термины и их объяснение в таблице ниже.

Термин	Описание
<b>AMF/3MF файл</b>	Формат файла, используемый программным обеспечением слайсера для сохранения всей сцены (модели, размещение и настройки печати)
<b>FDM / FFF</b>	Технологии 3D-печати - аддитивный производственный процесс. Пруток филамента загружается в экструдер, нагревается, плавится и экструдируется. В принтере есть механические части, движущиеся по трем осям, что позволяет печатать любой 3D-объект.
<b>G-код</b>	Файл, содержащий список команд для 3D-принтера.
<b>OBJ файл</b>	Один из файлов 3D-объектов, поддерживаемых слайсерами, как и STL.
<b>PEI</b>	Пленка на поверхности печатного стола с хорошей адгезией и простым уходом.
<b>RepRap</b>	Первый проект 3D-принтера с открытым исходным кодом. Он был основан в 2005 году в Университете Бата Адрианом Бауэром. Теперь проект находится в руках сообщества 3D-печати - сотен разработчиков и десятков тысяч пользователей.
<b>Resin</b> Смола	Жидкий материал, используемый для печати на 3D-принтерах SLA. Также называется фотополимером, потому что процесс затвердевания инициируется УФ-светом.
<b>SLA / DLP</b>	Технологии 3D-печати, основанные на отверждении жидкой смолы с помощью УФ-излучения.
<b>SLS</b>	Технология 3D-печати, основанная на спекании металлических порошков с помощью лазера.
<b>STL файл</b>	Один из поддерживаемых форматов файлов для слайсеров. Он определяет набор точек (вершин) в трехмерном пространстве, которые соединяются, образуя ребра и многоугольники. Это самый распространенный тип файлов в индустрии 3D-печати.
<b>bed, heatbed</b> Стол	Поверхность для печати, как правило, с нагревательным элементом для улучшения адгезии.
<b>bridging</b> Мостик	Единственный случай, когда печать в воздухе без опор возможна, но работает только в определенном сценарии. С помощью моста можно создать прямую линию между двумя точками с одинаковой высотой по оси Z. Это означает, что мост должен быть параллелен печатной машине.

## Глоссарий

<b>brim</b> Край / поле / кайма	Дополнительный материал, напечатанный вокруг основания предмета для улучшения адгезии - особенно полезен для небольших предметов.
<b>extruder</b> Экструдер	Вся печатающая головка. Обычно он состоит из хотенда, механизма подачи и вентилятора.
<b>filament</b> Филамент, пруток	Печатный материал, используемый в 3D-принтерах FDM / FFF.
<b>firmware</b> Прошивка	Программное обеспечение для запуска и управления 3D-принтерами.
<b>heat break</b> Термобарьер	Часть хотэнда в форме трубы, которая сводит к минимуму передачу тепла между нагревательным блоком и радиатором.
<b>heater block</b> Нагревательный блок	Нижняя часть хотенда изготовлена из теплопроводных материалов. Включает в себя сопло, модуль нагрева и термистор.
<b>heater cartridge</b> Нагревательная капсула	Нагревательный модуль, который нагревает нагревательный блок вместе с форсункой.
<b>hotend</b> Хотенд, голова	Часть экструдера, плавящая филамент.
<b>infill</b> Заполнение	Параметры нарезки, которые определяют, насколько плотной будет внутренняя структура печатаемого объекта. 100% означает твердый заполненный объект. Обычно в диапазоне от 10 до 20%. Этот параметр существенно влияет на время печати и количество используемого материала.
<b>layer</b> Слой	Один слой объекта, созданный в процессе нарезки. Рекомендуемая высота слоя не должна превышать 0,75 от диаметра сопла. Сильно влияет на скорость печати: чем меньше высота слоя, тем больше деталей будет по оси Z.
<b>mesh</b> Сетка	Способ представления 3D-модели. Набор вершин, ребер и многоугольников (фасетов) в трехмерной декартовой системе координат.
<b>nozzle</b> Сопло	Деталь 3D-принтера, используемого для экструзии расплавленного пластика. Его диаметр влияет на качество и скорость печати. Вы можете узнать больше на сайте: <a href="http://blog.prusaprinters.org/nozzles">blog.prusaprinters.org/nozzles</a> .
<b>overextrusion</b> Переэкструзия	Ошибка 3D-печати - через сопло проталкивается чрезмерное количество филамента, в результате чего поверхность печатаемого объекта получается неровной.
<b>perimeter</b> Периметр	Внешняя «стенка» 3D-печатного объекта. Слайсеры имеют возможность изменять количество периметров. Толщина периметра определяется диаметром сопла. При использовании стандартной насадки 0,4 мм толщина периметра составляет 0,45 мм. Количество периметров сильно влияет на время печати.
<b>raft</b> Рафт, подложка	Тип опор, который присутствует под всем первым слоем печатаемого объекта.

<b>refraction</b> Ретракт, откат	Команда, которая заставляет филамент втягиваться обратно в сопло при движении экструдера. Таким образом предотвращается выливание расплавленного филамента на модель. Неправильные настройки ретракта часто могут проявляться в виде бахромы (см. «нитки / бахрома»).
<b>skirt</b> Юбка	Линия вокруг печатаемого объекта, обычно в несколько слоев. Это создает микроклимат для напечатанной модели и снижает вероятность изгиба, деформации или растрескивания. Также может использоваться для калибровки высоты первого слоя.
<b>slicer</b> Слайсер	Программа для преобразования (нарезки) 3D-модели в машинный код, читаемый 3D-принтерами (G-Code). Их несколько на рынке, некоторые из них бесплатные, а другие платные - PrusaSlicer, Cura, Simplify3D и т. д. Слайсер не является инструментом моделирования.
<b>slicing</b> Слайсинг	Процесс преобразования 3D-модели в машинный код, читаемый 3D-принтерами. «Разрезает» модель на горизонтальные слои определенной высоты и создает инструкции движения для экструдера.
<b>stringing</b> Нитки / бахрома	Нежелательный эффект проявляется в виде тонких нитей пластика («волосков») на поверхности объекта. Обычно помогает регулировка отката / ретракта.
<b>supports</b> Поддержки	Структуры, похожие на строительные леса, используются для печати сложных объектов либо с большими выступами, либо с частями, начинающимися в воздухе. Поддержки печатаются со специальными настройками, поэтому их достаточно легко оторвать от напечатанного объекта. Однако опоры FFF / FDM обычно оставляют следы на поверхности.
<b>thermistor</b> Термистор	Термодатчик. Используется для проверки и регулировки температуры хотэнда и подогреваемого стола.
<b>under-extrusion</b> Недоэкструзия	Проблема с 3D-печатью, которая возникает, когда через сопло проталкивается недостаточное количество филамента, что проявляется в отсутствии слоев / частей напечатанной модели. Если настройки температуры правильные, причиной обычно является засорение сопла.

---

# Вопросы

**Что такое 3D-печать?**

3D-печать - это автоматизированный процесс, который позволяет изготавливать реальные физические объекты на основе цифровых данных (3D-модель).

**Сколько стоит запустить 3D-принтер?**

Самые высокие затраты связаны с материалом (филаментом). Цена на печать одного объекта в основном зависит от его веса. Обычно 1 кг филамента стоит около 20-30 долларов США. Энергопотребление аналогично лампочке мощностью 100 Вт. Обслуживание обычного 3D-принтера стоит довольно дешево и обычно составляет менее пары десятков долларов в год.

**Чем хороша 3D-печать?**

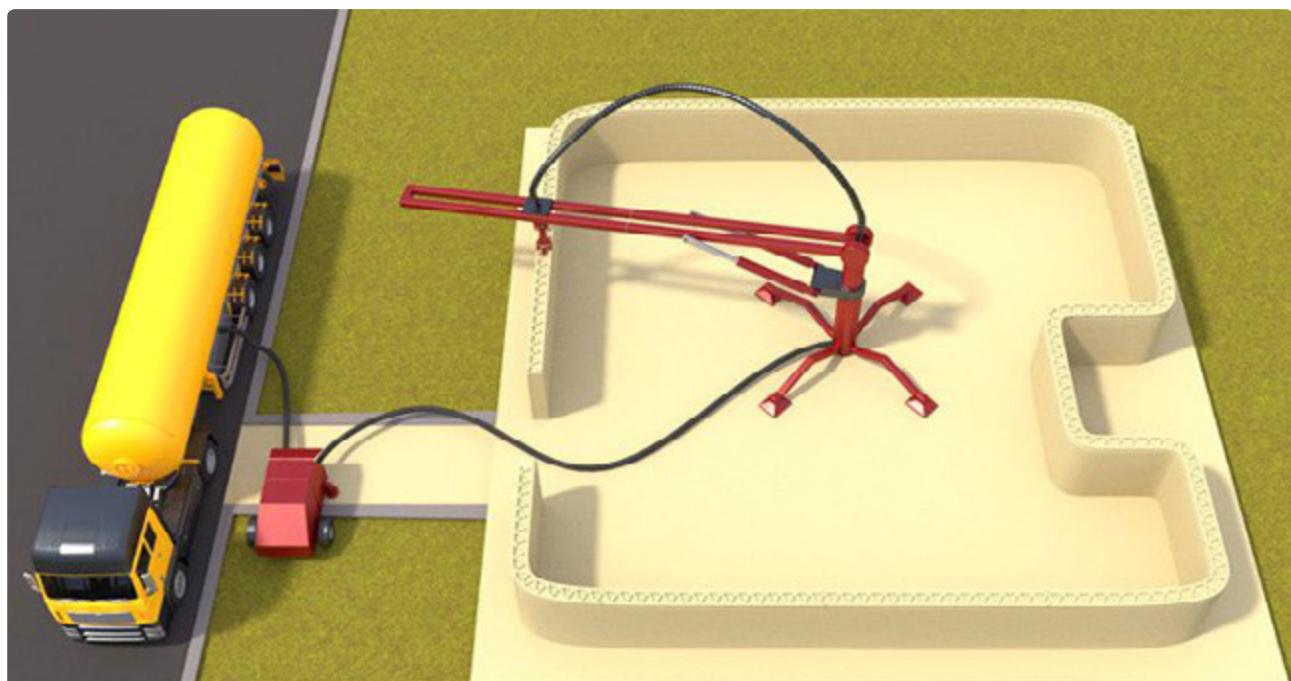
Быстрое прототипирование, изготовление моделей по индивидуальному заказу, производство в небольших количествах - меньшие затраты (а также более низкое качество) по сравнению с литьем под давлением.

**Считается ли 3D-печать FFF экологически чистой?**

Как и во многих методах производства, даже при 3D-печати часть обработанного материала выбрасывается в виде отходов (поддержки, неудачные распечатки). Однако подавляющее большинство материалов для 3D-печати можно переработать. Наиболее часто используемые филаменты PLA, на самом деле биоразлагаемы, потому что они сделаны из крахмала. Также следует учитывать тот факт, что благодаря 3D-печати мы теперь можем ремонтировать вещи, которые могли оказаться в помойке, что было бы большим экологическим бременем. Одним из примеров может быть ручка для холодильника.

**Можно ли распечатать дом?**

Да, уже есть ряд успешных попыток использования бетона или подобных материалов. Работает так же, как 3D-печать пластиком.



Визуализация 3D-печатного дома. Источник:[www.3dnatives.com/en/3d-printed-house-companies-120220184](http://www.3dnatives.com/en/3d-printed-house-companies-120220184)

### **Могут ли 3D-принтеры печатать человеческие органы?**

Еще нет. Однако ученые со всего мира прилагают все усилия, чтобы это стало возможным. Новости на эту тему публикуются почти каждый день. Проблема (и вызов науке) в том, что человеческие органы невероятно сложны и зависят от других органов. На данный момент ученые сосредоточены на печати тканей для менее сложных органов.

### **Могу ли я печатать объекты размером больше поверхности для печати?**

Да, можно разрезать модель на части и склеить их после печати.

### **В чем разница между технологиями SLA и FFF?**

FFF (или FDM) 3D-печать использует в качестве исходного материала филамент - пруток пластика. Материал плавится и экструдируется через сопло, входящее в состав экструдера. SLA, с другой стороны, основан на отверждении жидких смол с помощью ультрафиолета. Объекты, напечатанные на 3D-принтерах FFF, имеют более видимые слои по сравнению с SLA. Однако, SLA-печать имеет другие недостатки - например, использование жидких смол, которые являются потенциально вредными химическими веществами.

### **Какой материал используется для 3D-печати FFF?**

Различные виды пластмасс, в некоторых случаях с добавками. Чаще всего используются филаменты PLA, PETG и ABS.

### **Как долго длится задание на печать?**

Простой вопрос, на который сложно ответить. Это зависит от множества различных факторов: в первую очередь, это размер печатаемого объекта, а также плотность заполнения, количество периметров, нижняя и верхняя оболочки, диаметр сопла, высота слоя, сложность модели, количество поддержек и другие факторы. Печать фигуры высотой 5 см займет пару часов. Однако с большими и сложными объектами вы легко можете потратить десятки часов на печать.

Большинство приложений для нарезки могут оценить общее время печати.

### **Что делать с пустыми катушками от филамента?**

Выбрасывайте их в пластиковые мусорные баки. К сожалению, невозможно (по ряду причин) выкупить пустые катушки обратно у клиентов. Если вы не хотите выбрасывать их, вы можете использовать их для различных проектов - ознакомьтесь с нашей статьей по адресу: [blog.prusaprinters.org/spools](http://blog.prusaprinters.org/spools).

### **Можно ли печатать еду?**

Как бы не звучало странно, но да! Вам понадобится специально модифицированный 3D-принтер (их несколько в семействе RepRap), и вы можете печатать шоколадом или даже тестом для блинов прямо на сковороде.

### **Могу ли я распечатать чашку или тарелку и использовать ее для питья и еды?**

Да, но нужно помнить о нескольких вещах! PETG и PLA - безвредные пластмассы, которые могут контактировать с пищевыми продуктами. Однако не рекомендуется использовать напечатанные объекты для еды или питья без предварительной обработки. Крошечные промежутки в слоях идеально подходят для скопления бактерий, и их практически невозможно хорошо очистить. Прежде чем использовать напечатанную чашку, нанесите безопасную для пищевых продуктов эпоксидную смолу, чтобы покрыть ее стороны.

**Можно ли распечатать эротические игрушки?**

Да, но только для демонстрации. Та же проблема, что и со столовыми приборами (чашки, тарелки) - между слоями есть промежутки, где обычно скапливаются бактерии. Возможна постобработка объекта и нанесение покрытия для создания безвредной поверхности.

**Можно ли напечатать пистолет на 3D-принтере?**

Теоретически да. Если вы не торопитесь с постобработкой, это может даже выглядеть вполне реально. Но вы бы зарядили настоящую пулю в пластиковый пистолет и спустили бы курок? Нет? Мы тоже! Пластиковый пистолет, скорее всего, разобьется у вас в руке и пораниит вас. Кроме того, нельзя было бы провести это оружие через металлоискатель, потому что гильза пули все равно была бы замечена детекторами. Так что, может быть, вы думаете: «Как насчет использования металлического порошка (SLS-печать)?» Да, теоретически это возможно. Однако этот сценарий совершенно бессмысленен из-за дороговизны производства. Если вы по какой-то причине хотите изготовить оружие в домашних условиях, простого токарного станка более чем достаточно.

# **Basics of 3D Printing with Josef Prusa**

Ondřej Stříteský

**Published by:**

Prusa Research s.r.o.,  
Partyzánská 188/70  
170 00 Praha  
Česká republika

**Co-authors:**

Josef Průša, Martin Bach

**Graphic design and typesetting:**

Petr Memory Dragoun

**Translated by:**

Jan Olejník  
Mikhail (Rus)

**First edition, Prague 2019**