Обучение работы на 3D принтере

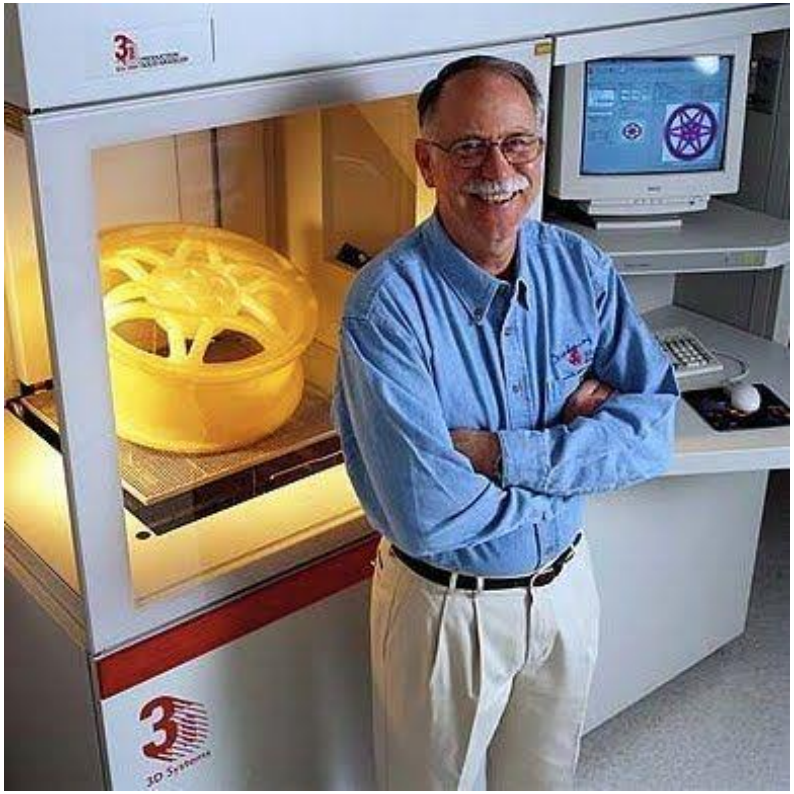
1. Общие понятия о 3D принтерах

История появления 3D печати

Технология изготовления физических трехмерных объектов с использованием цифровых данных была впервые разработана Чарльзом Хуллом в 1984 г. В 1986 г. он получил патент на свое изобретение и назвал данную технологию Стереолитография.

После получения патента, Чарльз Хулл основал компанию 3D Systems и разработал первый промышленный станок для 3D печати. Так как термин «3D принтер» в то время еще не использовался, станок назывался просто «аппарат для стереолитографии».

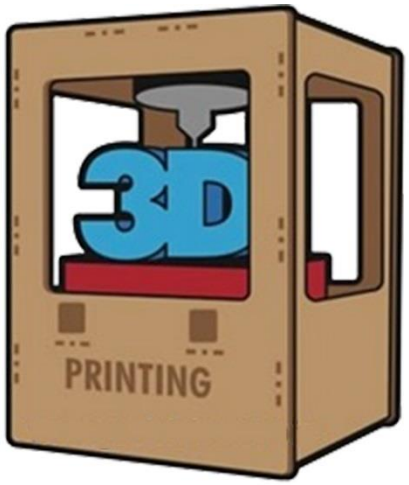
Технология 3D печати была достаточно нова в то время, и компания 3D Systems изготовила и поставила первую модель станка нескольким избранным заказчикам. В 1988 г., основываясь на откликах клиентов о станке, компания разработала усовершенствованную модель 3D принтера SLA-250 и было начато его серийное производство.



Чарльз Хулл в компании 3D Systems возле 3D принтера SLA-250

Что такое 3D печать?

3D-печать – это послойное изготовление физического объекта из компьютерной 3D-модели из пластика, бумаги, гипса, металла, фотополимера и других материалов. Наиболее распрастраненный вид 3D-печати - метод наплавления.
Пластиковая нить, поступает в печатающую головку 3D-принтера, расплавляется и слой за слоем начинает формировать 3D-модель.

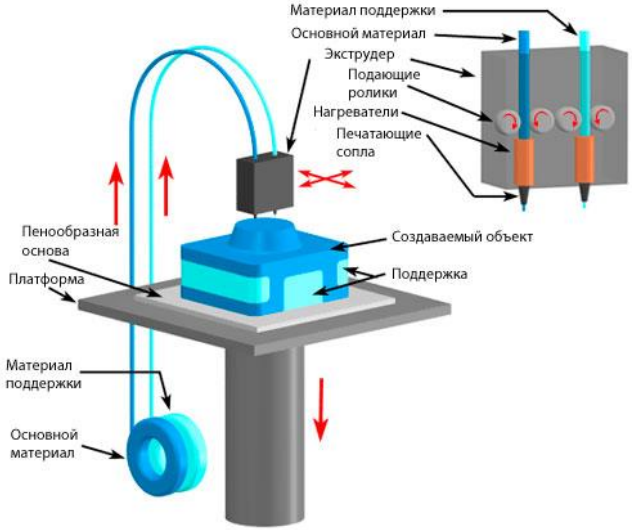


Моделирование методом наплавления.

Объект формируется путем послойной укладки расплавленной нити из плавкого рабочего материала (пластик, металл, воск).

Рабочий материал подаётся в экструзионную головку, которая выдавливает на охлаждаемую платформу тонкую нить расплавленного материала, формируя таким образом текущий слой разрабатываемого объекта. Далее платформа опускается на толщину одного слоя, чтобы можно было нанести следующий слой.

Часто в данной технологии участвуют две рабочие головки — одна выдавливает на платформу рабочий материал, другая — материал поддержки.



Основные понятия о составных частях 3D принтера

Корпусная часть.

Корпуса 3D принтеров бывают открытого вида (Рис.1) и закрытого вида (Рис.2).

Закрытый корпус 3D принтера представляет собой закрытую структуру с дверью, стенами и крышкой или колпаком. Модели с открытым корпусом позволяют наблюдать процесс печати и легко добраться до платформы и экструдера.

Модель закрытого типа безопаснее, так что ни дети, ни домашние животные (да и взрослые) случайно не прикоснуться к горячему экструдеру.

Это также означает более тихую работу вентилятора и, возможно, отсутствие запаха, особенно при печати с ABS, который может быть и который некоторые пользователи описывают как запах жженой пластмассы.

Рис.1

Рис.2

Составные части

Материнская плата – это один из важнейших элементов 3D принтера, определяющий ее облик и обеспечивающий взаимодействие всех подключаемых к материнской плате устройств. (Рис.3)

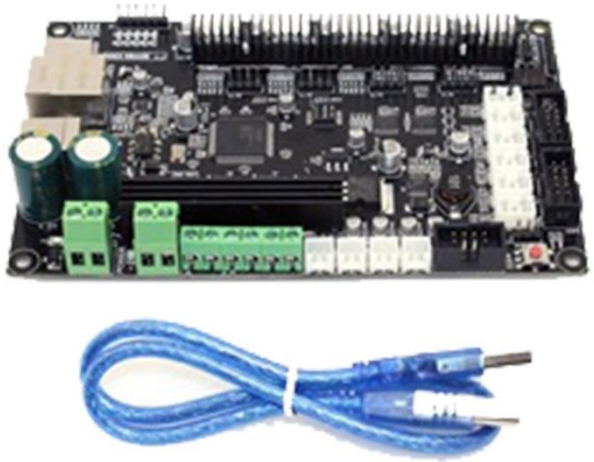


Рис.3

LCD дисплей и панель управления. Дисплей на жидких кристаллах используется для отображения графической или текстовой информации в 3D принтерах. Панель управления используется для управления и регулировки 3D принтера. (Рис.4)

Рис.4

Составные части

Heat bed - Нагревательный стол 3D принтера.

Зачем нужен подогреваемый стол? Подогреваемый стол (heated bed) значительно улучшает качество печати, сохраняя выдавленный пластик теплым, тем самым, защищая его от выгибания. Выгибание (warping) – частая проблема при 3D печати, является следствием неравномерного остывания детали. Особенно сильно эффект проявляется с ABS-пластиком.

При печати ABS-пластиком рекомендуемая температура стола варьируется в пределах 95 – 115 С. При печати PLA-пластиком рекомендуемая температура стола варьируется в пределах 50 – 70 С. Формы нагревательных столов бывают трех видов: квадратный, прямоугольный и круглый.

Адгезия (от лат. Adhaesio - прилипание), возникновение связи между поверхностными слоями двух разнородных (твердых или жидких) тел (фаз), приведенных в соприкосновение. Является результатом межмолекулярного взаимодействия ионной или металлических связей.

Способы улучшения адгезии: аэрозольные спреи-адгезивы технического назначения (для временного контакта с материалом); малярные ленты; подложки на основе плёночных материалов. (Рис. 5)

Рис.5

Составные части

Экструдер.

Представляет собой непрерывный технологический процесс, заключающийся в продавливании высоковязкого материала на основе расплава, через формующий инструмент (экструзионную головку, сопло), с целью получения изделия с поперечным сечением нужной формы.

Производители 3D-принтеров обычно оснащают свои экструдеры соплами с отверстием диаметром 0.4-0.5 мм — этот размер является оптимальным. В свою очередь, использование сопла меньшего диаметра (0.3-0.2 мм) может обеспечить лучшую детализацию, четкость граней и чистоту поверхности объекта, т.к. выдавливаются более мелкие капли пластика. С другой стороны, маленькое сопло увеличивает время печати объекта, оно более склонно к забиванию мусором и застывшей пластмассой.

Потенциально, также растут требования к мощности подавателя филамента, т.к. экструдеру становится сложнее протолкнуть пластик через маленькое отверстие. (Рисунки 6 и 7)

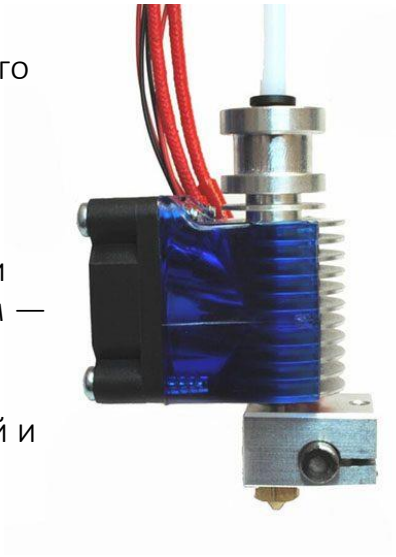


Рис.6

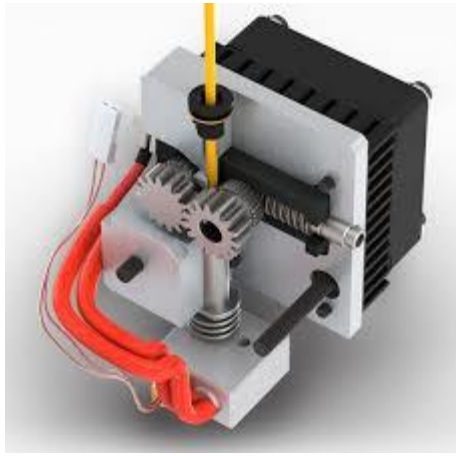


Рис.7

Составные части

Блок питания.

Блок питания непосредственно влияет на качество работы электроники 3D принтера, а так же на скорость разогрева нагревательных элементов.
Всегда выбирайте блок питания с запасом по мощности — это гарантируем долгую и стабильную работу Вашего 3D принтера.

В современных 3D принтерах чаще всего применяются Блоки питания 12-24 вольт 15-30 ампер. (Рис. 8)

Рис.8

Техника безопасности

Работа с 3D принтером, как и с любым другим сложным устройством, требует соблюдения техники безопасности. К тому же, печатающая головка и нагревательный стол разогреваются до температуры выше 100 градусов и прикосновение к ним может оставить ожог.
Итак, меры безопасности при работе с 3D принтером.

1. Категорически запрещается трогать что-либо, кроме кнопок управления, во время работы 3D принтера. Нарушая это правило, в лучшем случае, можно получить ушиб от движущейся части, а в худшем - серьезный ожог. Если ваш 3D принтер открытого типа, то стоит работать с ним в плотно прилегающей одежде, чтобы минимизировать риск наматывания ткани на движущиеся детали. Проверять нагрев принтера можно только ориентируясь на показания термодатчика самого устройства, которые отражаются на дисплее или в программе печати.
2. Катушка с пластиком устанавливается так, чтобы ее перекос и задержки в подаче нити были исключены. Иногда, для более равномерного разматывания бобины, перебрасывают нить через карниз или спинку стула - в этом случае пластиковая нить может замотаться или зацепиться за посторонние предметы. Результаты этого непредсказуемы - принтер может упасть со стола, или, наоборот, повиснуть в воздухе, что, в свою очередь, может привести к его поломке или пожару (не забываем о нагретых частях 3D принтера).

3. Допускать детей к работе на 3D принтере можно только тогда, когда они способны полностью осознанно подойти к процессу. Первые работы должны проводиться под контролем взрослых.

4. При нагревании пластика ABS образуются небольшое количество паров акрилонитрила. 3D принтер в среднем выбрасывает до 200 млн ультрамелких частиц этого вещества в минуту. При использовании пластика PLA выбрасывается до 20 млн частиц в минуту, он более безопасен, но все же наносит вред здоровью. Оседая в легких, частицы пластика могут привести к самым тяжелым последствиям – раку легких, астме, конечно, в текущий момент нет данных по клиническим испытаниям, но место проведения работ на 3D принтере должно хорошо вентилироваться. Во время работы устройства лучше выйти из комнаты. Если это по какой-то причине невозможно, желательно воспользоваться респиратором с угольным фильтром. Закрытые принтеры с системой фильтрации уже есть на рынке, но пока не слишком часто встречаются в продаже, к тому же стоят довольно дорого. Они более безопасны, но свойства используемых материалов полностью не изучены, поэтому не стоит пренебрегать дополнительными мерами безопасности и в работе с ними.

5. Прежде чем выйти из комнаты с работающим принтером, нужно убедиться, что первый слой ровно лег и нигде не отстает от поверхности - ведь от его качества зависит 50% качества готового изделия.

6. Для наблюдения за 3D принтером желательно установить камеру, это позволит оставаться в курсе текущего состояния печати и оперативно отреагировать на нештатную ситуацию.

7. Перед началом печати убедитесь в исправности 3D принтера и концевых датчиков. Тогда при возможном сбое принтер сам остановить печать.

8. Не печатайте на 3D принтере предметы контактирующие с горячей едой или напитком, причину смотрите в пункте 4.

9. Перед съемом напечатанной детали дождитесь остывания термостолика и, лишние 10-15 минут погоды не сделают, а возможность обжечься исчезнет.

Виды пластика для печати на 3D принтерах.

Существует много материалов, которые исследовались на предмет применимости в 3D-печати, и на сегодняшний день доминирующую роль в этой нише занимают – ABS, PLA и SBS.
Все они – термопластики, т.е. становятся мягкими и пластичными при нагревании, а при охлаждении затвердевают. Этот процесс может быть повторен многократно. Подверженность плавлению и обработке – именно то свойство, которое вывело термопластики в лидеры в повседневном использовании и привело к тому, что большинство видов пластика, с которыми мы сталкиваемся в быту, – термопластики.

ABS может принимать много разных полимерных форм, ему можно придать множество самых разных свойств. В целом, это прочный и несколько более податливый по сравнению с PLA пластик. Натуральный ABS имеет до окраски бежеватый (молочный) оттенок. Пластичность ABS позволяет легко создавать элементы различных соединений и крепежа. Он легко шлифуется и обрабатывается. Важно отметить, что ABS растворяется в ацетоне, что позволяет склеивать детали и добиваться очень гладкой поверхности. При печати ABS нередко чувствуется сильный запах горячего пластика. Одни на него жалуются, другие не замечают или не считают слишком неприятным. Чтобы уменьшить запах, в небольших помещениях следует обеспечить надлежащую вентиляцию. ABS часто предпочитают применять в инженерных и профессиональных приложениях по причине его прочности, пластичности, легкости в обработке и высокой термостойкости.

PLA пластик создается из самых разнообразных продуктов сельского хозяйства – кукурузы, картофеля, сахарной свеклы и т.п. – и считается более экологичным, чем ABS, в основе которого лежит нефть. Изначально он применялся для изготовления продуктовых упаковок и легко утилизируется в промышленных компостных установках. В своем естественном виде он прозрачен и поддается окраске, в результате чего можно добиться также разной степени прозрачности. PLA такой же прочный, но более жесткий, чем ABS, поэтому его сложнее использовать для соединений различных элементов. Распечатанные объекты, как правило, более гладкие и блестящие. PLA немного труднее шлифовать и обрабатывать, чем ABS. Более низкая температура плавления делает PLA непригодным для ряда ситуаций – например, за день в нагретом салоне автомобиля детали из него могут деформироваться и «потечь». PLA растворяется в дихлорметане. При нагревании издает запах сладковатого кулинарного масла. Широкая гамма доступных цветов, степеней прозрачности, а также получающаяся глянцевая поверхность делает этот пластик привлекательным для изготовления арт-объектов и хозяйственной утвари.

SBS. Прочность, пластичность и термостойкость делают из него материал, которому часто отдается предпочтение в инженерных и механических приложениях. Модуль упругости гораздо меньше, чем у ABS. То есть, напечатанные детали получаются более гибкими. Удлинение при разрыве >250%. Нить, в отличие от ABS, не ломается, не говоря о PLA, который наиболее хрупкий из рассматриваемых материалов. SBS имеет гибкую структуру. Он не обломится и не оборвется при печати. Даже если пруток в ваш экструдер подается под углом в 90 градусов! Материал прозрачен (93% светопропускания). Окрашивание материала дает очень красивый эффект. SBS идеально подходит для печати плафонов светильников, прототипов прозрачной посуды, бутылок и т.д. Обрабатывается и растворяется лимонсеном, дихлотметаном, сольвентом. Не боится открытого воздуха и сквозняков. Хорошо липнет к столу. Имеется возможность печати и на холодном столе. Не пахнет в процессе печати. Люди с очень тонким обонянием могут в радиусе 30см от хотэнда уловить легкий запах (от некоторых красителей), но не более того. Прозрачный вообще запаха не имеет. SBS — новый и очень перспективный материал для 3D-печати. Своими свойствами он превосходит традиционные ABS или PLA.

Программы для 3D моделирования.

Программы для 3D-моделирования могут помочь превратить некоторые идеи в красивые модели и прототипы, которые впоследствии можно будет использовать в самых разных целях. Эти инструменты позволяют создавать модели с нуля, независимо от уровня подготовки. Некоторые 3D редакторы достаточно просты, так что их в короткие сроки освоит даже новичок. Сегодня 3D-модели используются в самых различных сферах: это кино, компьютерные игры, дизайн интерьера, архитектура и многое другое. Перечислим некоторые из них:

WINGS 3D. Программа Wings 3D является продвинутым инструментом для трехмерного моделирования. Пользователям предоставляется множество инструментов, с помощью которых можно создавать очень реалистичные модели. Wings 3D имеет настраиваемый интерфейс, встроенный инструмент отображения AutoUV и может экспортировать готовые файлы в большинство популярных 3D-форматов. Несмотря на все свои достоинства, такие, как поддержка виртуального отображения для симметричного моделирования, Wings 3D не поддерживает анимацию. Доступно для: Windows, | OS X | Linux.

OPEN SCAD. Бесплатное программное обеспечение для 3D-моделирования Open SCAD создано для серьезного проектирования (промдизайн, интерьеры, архитектура). Художественные аспекты создателей программы интересовали в гораздо меньшей степени. В отличие от других программ подобного плана, Open SCAD не является интерактивным инструментом – это 3D-компилятор, который отображает детали проекта в трехмерном виде. Доступно для: Windows, | OS X | Linux.

AUTODESK 123D. Программа AutoDesk 123D – это большой набор различных инструментов для CAD и 3D-моделирования. С помощью программы можно проектировать, создавать и визуализировать практически любые 3D-модели. AutoDesk также поддерживает технологию 3D-печати. Основной сайт AutoDesk 123D имеет несколько сателлитов, где можно найти множество интересных бесплатных 3D-моделей, с которыми можно поэкспериментировать или просто использовать их в личных целях. Доступно для: Windows, | OS X | IOS.

LEOCAD. Бесплатное программное обеспечение LeoCAD – это система автоматизированного проектирования виртуальных моделей LEGO. Есть версии для Windows, Mac OS и Linux. Программа может стать хорошей альтернативой Lego Digital Designer (LDD), так как имеет простой интерфейс, поддерживает ключевые кадры и работает в режиме анимации. Именно поддержка анимации выделяет LeoCAD на фоне других программ подобного плана. Доступно для: Windows, | OS X | Linux.

LeoCAD

Design virtual models you can build with LEGO® bricks

MESHMAGIC 3D. Программу MeshMagic можно использовать для 3D-рендеринга файлов, а также для создания двухмерных объектов или их конвертации в 3D. Программное обеспечение имеет интуитивно понятный интерфейс и может использоваться для решения самых разных задач. В настоящее время Mesh Magic поддерживает только Windows. Результат сохраняется в популярном формате STL, который можно открыть и редактировать в большинстве онлайн и оффлайн инструментов для 3D-моделирования. Доступно для: Windows.

MeshMagic

3D Modeling Software

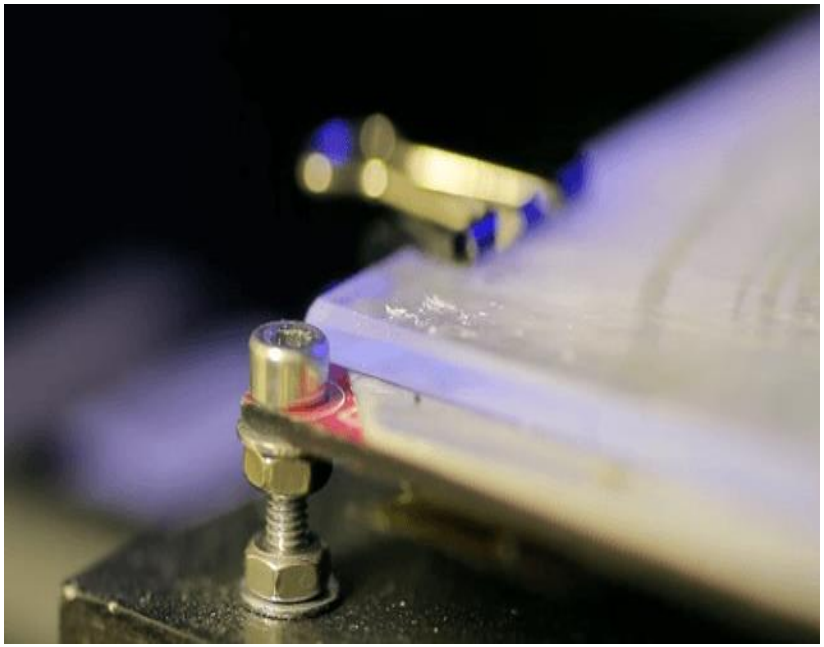
Настройка калибровочных элементов

6 простых шагов к выравниванию стола 3D-принтера. Для новичков, калибрующих стол 3D-принтера в первый раз важно сделать так, чтобы сопло экструдера находилось на одинаковом расстоянии от стола принтера во всех его точках. Большинство plug’n’play принтеров имеют встроенный пошаговый мануал по автокалибровке стола, если же вы собирали принтер самостоятельно, то вам придется пройти шесть шагов прежде чем приступить к печати. Несмотря на индивидуальные особенности конструкции различных 3D-принтеров, общая методика калибровки стола одинакова для большинства из них.

Совет. Перед тем, как выравнивать стол, нагрейте его до температуры, при которой планируете печатать. Так, если вы печатаете ABS - нагрейте стол до 90 С. Если вы используете каптон или синий малярный скотч, то не забудьте наклеить их перед калибровкой. Столы, выполненные из алюминия, расширяются при нагревании и сжимаются при охлаждении, так что для идеальной настройки необходимо выставить ту температуру, при которой будет производиться печать.

Шаг 1: Возьмите обычный лист бумаги.

Шаг 2: Каждый принтер имеет винты или другие регуляторы с пружинами (Рис. 9), управляющие высотой стеклянной поверхности. При помощи отвертки, шестигранника или вручную (если принтер имеет ручки, позволяющие сделать это) затяните винты в углах вашего стола, но не до конца.



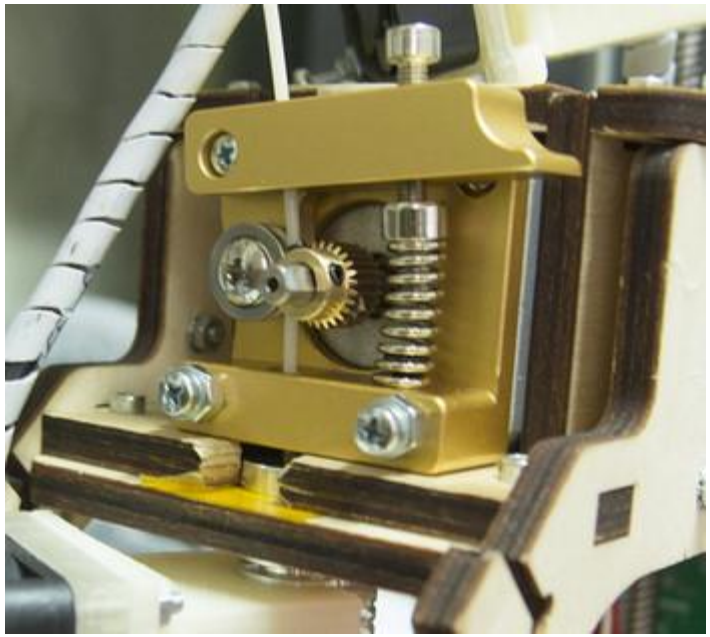
(Рис. 9)

Шаг 3: Основной датчик, отвечающий за правильное позиционирование хотенда относительно стола - концевик оси Z. Переместите вашу печатающую головку в центр платформы и поместите листок бумаги под сопло. Отрегулируйте конечную остановку по оси Z, пока не почувствуете легкое сопротивление при попытке переместить листок под соплом. Если вы можете легко перемещать бумагу без какого-либо сопротивления, то сопло находится слишком высоко от стола. Если бумага не движется совсем, то сопло находится слишком близко и стоит немного приспустить стол.
Шаг 4: Переместите листок и сопло во все углы печатной платформы и убедитесь, что в этих точках нет никакого сопротивления.
Шаг 5: Теперь вы можете начать регулировку винтов, находящихся в углах платформы (Рис. 10). Переместите печатающую головку как можно ближе к одному из винтов и подкрутите его до тех пор, пока не почувствуете легкое сопротивление при перемещении листка бумаги под соплом. Повторите это действие во всех углах вашего стола.
Шаг 6: После выравнивания зазоров во всех углах, вам придется повторить этот процесс снова, а затем, возможно, еще и в третий раз. Дело в том, что когда вы регулируете расстояние в одном углу, это также влияет на зазор в других углах. Поэтому может потребоваться пройти несколько кругов, прежде чем удастся настроить стол идеально. После каждого регулирования зазоров, вращения винтов должны становиться все меньше. И когда вы пройдете через все углы почти не регулируя их, вы поймете, что сделали все настолько хорошо, насколько это было возможно!
Посмотрите видео-инструкцию, чтобы окончательно разложить все по полочкам.

(Рис. 10)

Итак, заправка Anet A6.

Проверим, ровный ли конец у прутка, нет ли там наплыва, недообломанного кончика, и если есть, то обрезаем.
Распрямим пруток пластика так, чтобы крайние 5см были максимально ровными.
Действуем на ощупь – надо нажать на торчащий сверху на каретке заметный винтик, прижав пружину и не отпускать до самого конца;
Вставляем проволоку в отверстие рядом с винтом, он должен сам попасть между роликом и шестерней, но через 2-3 см уткнуться – он не попадает в отверстие экструдера.
Шерудим прутком, пока он не протолкнется дальше.
Когда пластик протолкнулся дальше, из сопла пойдет расплав – пружину можно отжать, мы закончили.
Далее располагаем катушку на подставке (идет в комплекте) или на любой горизонтальной планке так, чтобы пруток свободно раскручивался и катушка никуда не ускакала.



(Рис. 11)

Также очень важно откалибровать скорость подачи пластика, многие упускают этот момент. Без калибровки пластик может подаваться чуть больше или чуть меньше, чем должен по расчетам.

На Рис. 11 изображен заправленный пластиком экструдер.

ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА 3D-ПЕЧАТИ

Данное список станет для вас хорошим подспорьем в улучшении качества 3D-распечаток. Мы составили большой список наиболее часто встречающихся проблем, не забыв и о настройках программного обеспечения, и все это поможет вам все эти проблемы решить. Что особенно ценно — в этом руководстве много реальных картинок, которые позволяют легко идентифицировать те или иные проблемы **3D-принтера**.

Подробнее на сайте: itmart.kz

1. Слои разделяются и расщепляются — В процессе печати не слипаются слои (Рис.12)
2. Загибающиеся или неровные углы и края — Углы распечатки по окончании процесса имеют тенденцию загибаться и деформироваться (Рис.13)
3. Засорился экструдер — Экструдер засорился, забился и больше не продавливает пластик через сопло (Рис. 14)

Рис.12

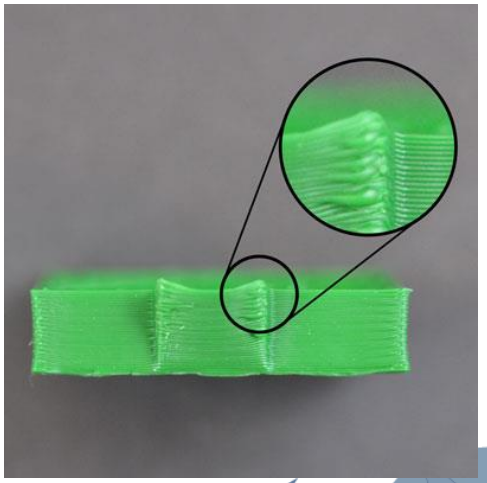


Рис.13

Рис.14

Слои разделяются и расщепляются.

3D-печать устроена таким образом, что в один конкретный момент печатается один конкретный слой объекта. Каждый последующий слой печатается поверх предыдущего, и в конце концов получается заданная 3D-модель. Но для того, чтобы получившийся объект был достаточно прочным и надежным, требуется сделать так, чтобы каждый слой был надлежащим образом связан с тем, который находится под ним. Если слои связаны друг с другом недостаточно хорошо, получившийся объект может расколоться и развалиться.

Вот несколько типичных причин этого и предложений о том, как все можно исправить.

Слишком большая высота слоя

Диаметр сопла большинства 3D-принтеров составляет 0,3-0,5 мм. Пластик проталкивается через это малюсенькое отверстие, чтобы в результате можно было напечатать очень мелкие детали. Но эти маленькие размеры сопла накладывают также определенные ограничения на то, какой может быть высота (или, если угодно, толщина) слоя. Когда вы распечатываете один слой пластика поверх другого, вы хотите, чтобы верхний слой был прижат к нижнему, чтобы они оказались сцеплены друг с другом. Железное правило здесь такое: выбираемая вами высота слоя должна быть на 20% меньше диаметра сопла. Например, если у вас сопло на 0,4 мм, вы не можете слишком отклониться от высоты слоя в 0,32 мм — в противном случае слои пластика не будут надлежащим образом прилипать друг к другу. Поэтому, если вы заметили, что ваша распечатка расслаивается, слои не сцепляются, первое, что нужно проверить, — соотношение высоты слоя и диаметра отверстия сопла. Попробуйте уменьшить высоту слоя и посмотрите, не стало ли сцепление слоев лучше. Это можно сделать в меню Edit Process Settings, во вкладке Layer.

Слишком низкая температура печати

Горячий пластик всегда лучше соединяется, чем холодный. Если вы заметили недостаточное сцепление слоев и уверены, что высота слоя не слишком велика, возможно, вашему филаменту, чтобы соединение слоев было надежным, для печати требуется более высокая температура. Например, если вы пытаетесь печатать пластиком ABS при 190 °C, вы, скорее всего, обнаружите, что слои печатаемого объекта слишком легко расщепляются. Это происходит потому, что для печати ABS требуется температура 220-235 °C, тогда слои склеиваются надежно. Поэтому, если вы столкнулись с описываемой проблемой, убедитесь, что вы печатаете при правильной температуре, которая соответствует вашему филаменту. Попробуйте увеличить температуру на 10 градусов и посмотрите, не улучшилось ли сцепление. Это можно сделать в меню Edit Process Settings → Temperature. Двойной клик на соответствующей метке, изменение значения — готово.

Загибающиеся или неровные углы и края

Если через какое-то время вы замечаете, что какие-то части вашей распечатки начинают загибаться, проблема обычно в перегреве. Пластик экструдируется при очень высокой температуре, и, если он быстро не остывает, с течением времени он может изменить форму. Этой проблемы можно избежать, если быстро остужать каждый слой таким образом, чтобы у него не оставалось времени на деформацию до того, как он застынет.

Для более подробного описания вопроса и способов его решения обратитесь, пожалуйста, к разделу **Перегрев**. Если вы замечаете, что деталь начинает загибаться в самом начале печати, то здесь вам поможет раздел **Распечатка не прилипает к платформе**, в котором рассматриваются проблемы, связанные с первым слоем.

Сопло засорилось, пластик застрял в экструдере 3D-принтера

Вашему 3D-принтеру за время его службы приходится расплавлять и экструдировать много килограммов пластика. Чтобы жизнь медом не казалась, ему приходится еще и проталкивать весь этот пластик через малюсенькую дырочку диаметром с песчинку. И неизбежно наступает момент, когда с этим процессом что-то идет не так и экструдеру больше не удается проталкивать пластик через сопло. Эти забивания или засоры обычно случаются потому, что что-то внутри сопла мешает пластику свободно проходить. В первый раз это особенно огорчает, и мы опишем несколько последовательных шагов, которые помогут решить проблему с забитым соплом.

Протолкните филамент в экструдер вручную

Самое первое, что можно попробовать сделать, — вручную протолкнуть филамент в экструдер. Для начала полезно прогреть экструдер до соответствующей пластику температуры. Это делается через панель управления программы 3D-печати. Также на панели управления надо найти меню Jog Controls или аналогичное, с помощью которого можно подать пластик вперед или назад. Подайте его в экструдер, на, например, 10 мм. Когда привод начнет вращаться, легонько подтолкните филамент руками. В большинстве случаев небольшого дополнительного усилия оказывается достаточно, чтобы пластиковая нить миновала проблемное место.

Переустановите филамент

Если филамент все равно не двигается, следующее, что надо сделать, — это извлечь его из принтера. Убедитесь, что экструдер нагрет до нужной температуры, а затем через контрольную панель программы печати вытяните филамент из экструдера. Как и в предыдущем случае, придется приложить разумную физическую силу: если нить застряла, аккуратно потяните ее. После того как филамент извлечен, с помощью ножниц отрежьте расплавившийся или поврежденный кусок. Заправьте филамент снова и проверьте, удается ли теперь печатать новым, неповрежденным отрезком пластиковой нити.

Спасибо за внимание