

УТВЕРЖДАЮ
Декан инженерной школы (факультета)
Московского Политеха
Либерман Д.А.

_____ 2022 г
« »

Сборник методических материалов

Содержание

1. Проектирование автономных беспилотных летательных аппаратов2
2. Основы летающей робототехники и устройство коптеров 96

**СБОРНИК МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ПРОГРАММЕ
ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

«Проектирование автономных беспилотных летательных аппаратов»

Оглавление

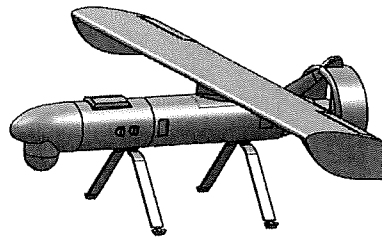
<u>ВВЕДЕНИЕ</u>	4
<u>1. Основы работы 3D принтера и применение его в БПЛА</u>	5
<u>1.1. Типы БПЛА по принципу полета</u>	13
<u>1.2. Классификация БПЛА принятая в России</u>	15
<u>1.3. Квадрокоптер</u>	18
<u>1.4. Математическая модель квадрокоптера</u>	19
<u>1.5. 3D принтер и применение его в БПЛА</u>	20
<u>2. Обучение обслуживанию 3D принтеров</u>	21
<u>2.1. Проверка болтовых соединений</u>	22
<u>2.2. Очистка вентиляторов и электроники</u>	25
<u>2.3. Проверка натяжения ремней</u>	27
<u>2.4. Смазка и очистка направляющих и ходовых шпилек</u>	28
<u>2.5. Очистка стеклянного стола.</u>	29
<u>2.6. Очистка сопла.</u>	30
<u>2.7. Выравнивание базы.</u>	32
<u>3. Основы работы в программе по 3D моделированию</u>	34
<u>3.2. Подготовка модели к печати 3D</u>	56
<u>4. Разработка узла для дальнейшей установки на БПЛА</u>	57
<u>5. Основы работы в программном обеспечении для печати деталей в формате STL</u>	60
<u>5.1. Введение в Cura 3D</u>	60
<u>5.1.1. Основы</u>	63
<u>5.1.2. Установка</u>	63
<u>5.1.3. Краткий обзор интерфейса Cura 3D</u>	64
<u>5.1.4. Операции с моделью в Cura 3D</u>	70
<u>5.1.5. Настройки программы Cura</u>	72
<u>5.1.6. Настройки материала</u>	74

<u>5.1.7. Настройки скорости</u>	74
<u>5.1.8. Настройки заполнения</u>	74
<u>5.1.9. Настройки подпорок</u>	75
<u>5.1.10. Настройки сцепления с платформой</u>	75
<u>5.1.11. Генерируем файл G-code</u>	76
<u>5.2. Печать объекта</u>	88
<u>5.3. Учет возможностей 3D-принтера при проектировании</u>	91
<u>ПОЛЕЗНАЯ ЛИТЕРАТУРА</u>	94

ВВЕДЕНИЕ

Использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА) имеет большие перспективы. Их широко используют в военных целях для выполнения разведывательных миссий, наблюдения за полями боя или выполнения боевых задач. Подобные аппараты также могут быть использованы в гражданских целях для помощи милиции, охранным службам и службам по чрезвычайным ситуациям и для охраны различных гражданских объектов. В настоящее время БЛА занимают видное место среди авиационной техники в более чем 40 государствах. Разработано и производится более 300 моделей, из которых свыше 80 состоят на вооружении армий различных стран. В данной работе предложена методика расчета, которая включает в себя решение задач с заданными нагрузками, создание конечно-элементной модели, проведение аэродинамического и прочностного расчетов. Кроме того, разработанная методика расчета позволяет оценить напряженно-деформированное состояние не только этой конструкции БЛА, но и подобных ей.

В качестве прототипа параметрической трехмерной модели беспилотного летательного аппарата (см. рисунок) был выбран БЛА «Пчела-1Т», разработанный ОКБ им. О. С. Яковлева «Кулон». Данный аппарат воздушной разведки предназначен для наблюдения за полем боя в интересах тактических подразделений различных родов войск в реальном масштабе времени, в том числе для проведения разведки (поиск, обнаружение, облет, распознавание и определение координат) объектов удара, а также контроля результатов огневого удара. Проведение подобных расчетов на этапе предварительных исследований позволит сократить количество натурных испытаний беспилотного летательного аппарата, а следовательно, значительно сократить затраты на подготовку его производства и изготовление.



Трёхмерная модель БЛА

1. Основы работы 3D принтера и применение его в БПЛА

3D-принтер это специальное устройство для вывода трёхмерных данных. В отличие от обычного принтера, который выводит двумерную информацию на лист бумаги, 3D-принтер позволяет выводить трехмерную информацию, т.е. создавать определенные физические объекты. В основе технологии 3D-печати лежит принцип послойного создания (выращивания) твердой модели.

Преимуществами подобных устройств перед обычными способами создания моделей являются высокая скорость, простота и низкая стоимость. Например, для того, чтобы создать модель вручную может понадобиться несколько недель или даже месяцев, в зависимости от сложности изделия. В результате значительно повышаются затраты на разработку, увеличиваются сроки выпуска готовой продукции. 3D-принтеры позволяют полностью избавиться от ручного труда и создать модель будущего изделия всего за несколько часов при этом исключая возможность ошибок, присущие «человеческому фактору».

Как правило, 3D-принтеры применяются для быстрого изготовления прототипов и используются в самых разных областях. Работа с реальными физическими моделями дает множество преимуществ тем, кто применяет технологию 3D-печати. В первую очередь, это возможность оценить эргономику будущего изделия,

его функциональность и собираемость, а также исключить возможность скрытых ошибок перед запуском изделия в серию. Таким образом, можно сэкономить значительное количество финансовых средств и времени благодаря сокращению цикла производства.

Кроме того, на готовой модели можно проводить различные тесты еще до того, как будет готов окончательный вариант изделия. Более того, прототипы позволяют проводить такие тесты, которые не рекомендуются к проведению на готовом образце. Например, Porsche использовала прозрачную пластиковую модель трансмиссии 911 GTI для изучения тока масла в процессе ее разработки. При этом следует отметить, что такую модель можно сделать очень быстро - а в наше время высоких скоростей это очень важно.

Однако, прототипы это еще не все. Следующая ступень - быстрое производство. Уже сейчас некоторые технологии 3D-печати позволяют изготавливать готовые предметы из различных материалов. Это идеальное решение для мелкосерийного производства, поскольку унифицированный техпроцесс дает возможность сделать деталь любой конфигурации за относительно малое время.

Более того, возможность быстрого создания необходимого количества учебных моделей даёт возможность решить много проблем образования. Помимо этого 3D-печать широко применяется в медицине для создания макетов внутренних органов человека, протезов и имплантатов. Высокую заинтересованность вызывают и маркетинговые аспекты 3D печати. Благодаря ей можно повысить качество работы с клиентами, демонстрируя полноценные прототипы продукции. Используется данная технология и в трехмерной рекламе. Среди экзотических вариантов использования 3D-печати следует отметить производство обуви. Пока что данная услуга рассчитана на профессиональных спортсменов. Нога будущего

владельца сканируется лазером для создания цифровой модели. На основании этой информации и "выращивается" обувь путём послойного лазерного спекания. Таким образом, 3D-печать является одной из наиболее перспективных технологий, которая позволит сэкономить огромное количество времени и сил инженерам и дизайнерам.

3D-печать может осуществляться разными способами и с использованием различных материалов, но в основе любого из них лежит принцип послойного создания (выращивания) твёрдого объекта. На данный момент времени существует две основных технологии выращивания слоев, это лазерная и струйная.

Самая старая и пожилая – лазерная, включающая в себя стереолитографию (SLA), позволяющую создавать трехмерную модель по компьютерным CAD-чертежам. Она и была придумана в 1986 году Чарльзом Халлом. Принцип стереолитографии основывается на фотополимере, который находится в жидком состоянии. При просвечивании этого полимера специальным ультрафиолетовым лучом он застывает, образуя очень плотный и жесткий каркас. В комплекте с лазерным 3D-принтером поставляется специальная программа, разрезающая нужную компьютерную 3D-модель на множество слоев толщиной примерно в 0.1 мм. Кроме того, она переводит каждый слой в рисунок, который впоследствии и начинает "печататься". Фотополимер заливается тонким слоем, просвечивается, застывает, сверху накладывается следующий слой, который вновь застывает под ультрафиолетовым лучом. После многократного повтора таких действий образуется готовая модель прототипа, после чего она промывается и очищается от лишних остатков полимера. На SLA-принтерах можно печатать детали относительно больших размеров до 75 см в высоту. Однако сами устройства очень дороги и отличаются большими размерами величиной размером с немаленький шкаф, они весят около тонны, а стоят в районе 150 тысяч евро. Кроме того, следует отметить и небольшую скорость воспроизведения - всего несколько миллиметров в час. Компенсирует

медленную скорость и большую цену высокое качество конечной модели, которая к тому же становится очень надежной и прочной.

Более быстрая и дешевая методика – технология лазерного спекания (SLS), где в роли заготовочного материала выступает уже не фотополимер, а порошок из легкоплавкого пластика. В 3D-принтере, работающем по такому принципу, лазер вырезает сечение будущей детали на порошке, который разогревается до температуры плавления и впоследствии спекается. Далее процедура повторяется – насыпается следующий слой порошка и лазер вновь выжигает очередной слой. Данная технология была придумана в середине 80-х, в 1989 году запатентована Карлом Декардом и сейчас используется в продукции компании DTM Corporation. Лазерное спекание позволяет получить очень качественные и прочные модели при относительно высокой скорости (около нескольких сантиметров в час плюс время на прогрев и остывание). Из основных положительных моментов надо отметить возможность печати металлических изделий. Это происходит за счет использования металлической стружки, которая "обваляна" в мельчайших частицах полимера. Модель, изготовленная из такого порошка, помещается в специальную печь, где весь полимер выгорает, а металлическая стружка сплавляется. В результате получается металлическая деталь из смеси стали и бронзы, готовая к использованию. В качестве основы в таком порошке может быть использована керамика или стекло, что позволяет создать после процедуры запекания термостойкую или устойчивую к химическим веществам модель.

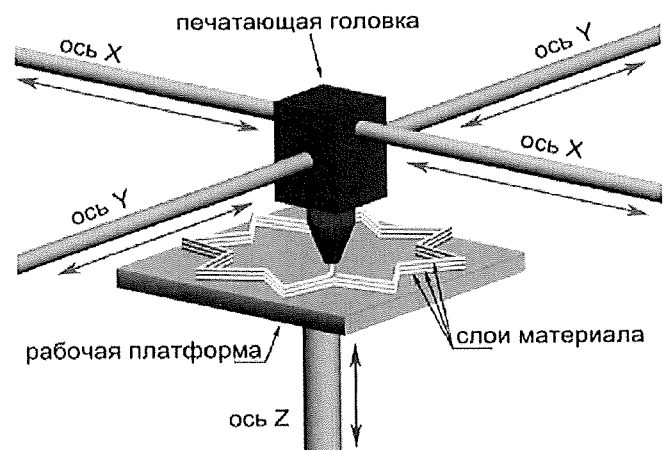
Струйная 3D-печать очень схожа с работой обычного принтера, только вместо краски соплом выдавливается некоторое количество разогретого пластика на охлажденную платформу, это так называемая Fused Deposition Modeling (FDM) технология. Капли очень быстро застывают и образуют один из слоев будущей трехмерной модели (как и в лазерной печати, создание модели ведется послойно). NASA даже собирается интегрировать такой 3D-принтер в космический корабль, рассчитанный на длительные

экспедиции. Ведь астронавтам наверняка понадобится какая-то деталь для ремонта или замены, и подобное печатающее устройство попросту нужно. Все-таки компактный 3D-принтер с несколькими десятками килограмм исходного материала куда компактнее полновесного механического цеха. Существует технология струйной 3D-печати и с использованием полимерного порошка. Компания Z Corporation активно ее продвигает, причем в последнее время весьма и весьма успешно. Специальная головка впрыскивает на гипсовый или крахмальный порошок клеящую основу, которая при застывании образует один из слоев будущей модели. Изюминка данной технологии состоит в том, что в клей можно добавлять красящие вещества и делать модель не только объемной, но и разноцветной. Принтеры, работающие по такому принципу, стоят относительно немного – от 8 до 30 тысяч долларов, что в десятки раз меньше стоимости лазерных аналогов. Компания ProMetal использует схожий принцип 3D-печати, что и Z Corporation, только вместо порошка на гипсовой основе используется металлическая крошка. Ну а дальше дело за малым – обжечь получившуюся модель в печи и получить готовую модель. Ниже приведена сводная таблица основных технологий 3D-печати.

Этапы 3D печати



- Важнейшими элементами 3D-принтера являются рабочая платформа и печатающая головка. На рабочей платформе происходит формирование готового объекта.



технология FDM (Fused Deposition Modeling)

Беспилотная авиация может найти широкое применение для решения специальных задач, когда использование пилотируемой авиации невозможно или экономически невыгодно: осмотр труднодоступных участков границы, наблюдение за различными участками суши и водной поверхности, определение последствий стихийных бедствий и катастроф, выявление очагов лесных пожаров, выполнение поисковых и других работ. Применение БПЛА позволяет дистанционно, без участия человека и без подвергания его опасности, проводить мониторинг ситуации на достаточно больших территориях в труднодоступных районах при относительной дешевизне. Можно выделить следующие преимущества БПЛА:

- осуществляют полеты при различных погодных условиях, сложных помехах (порыв ветра, восходящий или нисходящий воздушный поток, попадание БПЛА в воздушную яму, при среднем и сильном тумане, сильном ливне);

- проводят воздушный мониторинг в труднодоступных и удаленных районах;

- являются безопасным источником достоверной информации, надежное обследование объекта или подозреваемой территории, с которой исходит угроза;

- позволяют предотвращать ЧС при регулярном наблюдении;

- обнаруживают ЧС (лесные пожары, горение торфяников) на ранних стадиях; - исключают риск для жизни и здоровья человека.

Беспилотный летательный аппарат предназначен для решения следующих задач:

- беспилотный дистанционный мониторинг лесных массивов с целью обнаружения лесных пожаров;

- мониторинг и передача данных по радиоактивному и химическому заражению местности и воздушного пространства в заданном районе;

- инженерная разведка районов наводнений, землетрясений и других стихийных бедствий; - обнаружение и мониторинг ледовых заторов и разлива рек;

- мониторинг состояния транспортных магистралей, нефте- и газопроводов, линий электропередач и других объектов;

- экологический мониторинг водных акваторий и береговой линии;

- определение точных координат районов ЧС и пострадавших объектов.

Мониторинг осуществляется днем и ночью, в благоприятных и ограниченных метеоусловиях. Наряду с этим беспилотный летательный аппарат обеспечивает поиск потерпевших аварию (катастрофу) технических средств и пропавших групп людей. Поиск проводится по заранее введенному полетному заданию или по оперативно изменяемому оператором маршруту полета. Он оснащен системами наведения, бортовыми радиолокационными комплексами, датчиками и видеокамерами. Во время полета, как правило, управление беспилотным летательным аппаратом автоматически осуществляется

посредством бортового комплекса навигации и управления, в состав которого входят:

- приемник спутниковой навигации, обеспечивающий прием навигационной информации от систем ГЛОНАСС и GPS;
- система инерциальных датчиков, обеспечивающая определение ориентации и параметров движения беспилотного летательного аппарата;
- система датчиков, обеспечивающая измерение высоты и воздушной скорости;
- различные виды антенн. Бортовая система связи функционирует в разрешенном диапазоне радиочастот и обеспечивает передачу данных с борта на землю и с земли на борт.

Задачи для применения беспилотных летательных аппаратов можно классифицировать на четыре основные группы:

- обнаружение ЧС;
- участие в ликвидации ЧС;
- поиск и спасение пострадавших;
- оценка ущерба от ЧС.

В таких задачах старший оператор должен оптимальным образом выбрать маршрут, скорость и высоту полета ДПЛА, чтобы охватить район наблюдения за минимальное время или количество пролетов с учетом секторов обзора телевизионной и тепловизионной камер. При этом необходимо исключать двукратный или многократный пролет одних и тех же мест с целью экономии материальных и людских ресурсов. 92 Данные об опасных и быстро распространяющихся ЧС, таких как пожары, следует передавать в реальном масштабе времени для оповещения людей и принятия возможных срочных мер по их ликвидации. Сведения о медленно развивающихся ЧС, например, наводнениях и разливах рек, можно записать на бортовой или наземный видеоманитофон и обработать после возвращения ДПЛА.

1.1. Типы БПЛА по принципу полета

По принципу полета все БПЛА можно разделить на 5 групп (первые 4 группы относятся к аппаратам аэродинамического типа):

- 1) БПЛА с жестким крылом (БПЛА самолетного типа);
- 2) БПЛА с гибким крылом;
- 3) БПЛА с вращающимся крылом (БПЛА вертолетного типа);
- 4) БПЛА с машущим крылом;
- 5) БПЛА аэростатического типа.

Кроме БПЛА перечисленных пяти групп существуют также различные гибридные подклассы аппаратов, которые по их принципу полета трудно однозначно отнести к какой-либо из перечисленных групп. Особенно много таких БПЛА, которые совмещают качества аппаратов самолетного и вертолетного типов.

БПЛА самолетного типа

Этот тип аппаратов известен также как БПЛА с жестким крылом. Подъемная сила данных аппаратов создается аэродинамическим способом за счет напора воздуха, набегающего на неподвижное крыло. Аппараты такого типа, как правило, отличаются большой длительностью полета, большой максимальной высотой полета и высокой скоростью.

Существует большое разнообразие подтипов БПЛА самолетного типа, различающихся по форме крыла и фюзеляжа. Практически все схемы компоновки самолета и типы фюзеляжей, которые встречаются в пилотируемой авиации, применимы и в беспилотной.

БПЛА с гибким крылом

Это дешевые и экономичные летательные аппараты аэродинамического типа, в которых в качестве несущего крыла используется не жесткая, а гибкая (мягкая) конструкция, выполненная из ткани, эластичного полимерного материала или упругого композитного материала, обладающего свойством обратимой деформации. В этом классе БПЛА можно выделить беспилотные моторизованные парaplаны, дельтапланы и БПЛА с упруго деформируемым

крылом. Беспилотный моторизованный параплан – аппарат на основе управляемого парашюта-крыла, снабжённый мототележкой с воздушным винтом для автономного разбега и самостоятельного полёта. Крыло обычно имеет форму прямоугольника или эллипса. Крыло может быть мягким, иметь жесткий или надувной каркас. Недостатком беспилотных моторизованных парапланов является трудность управления ими, так как навигационные датчики не имеют жесткой связи с крылом. Ограничение на их применение оказывает также очевидная зависимость от погодных условий.

БПЛА вертолетного типа

Этот тип аппаратов известен также как БПЛА с вращающимся крылом. Часто их называют также – БПЛА с вертикальным взлетом и посадкой. Последнее не совсем корректно, так как в общем случае вертикальный взлет и посадку могут иметь и БПЛА с неподвижным.

Подъемная сила у аппаратов этого типа также создается аэродинамически, но не за счет крыльев, а за счет вращающихся лопастей несущего винта (винтов). Крылья либо отсутствуют вовсе, либо играют вспомогательную роль. Очевидными преимуществами БПЛА вертолетного типа являются способность зависания в точке и высокая маневренность, поэтому их часто используют в качестве воздушных роботов.

БПЛА с машущим крылом

БПЛА с машущим крылом основаны на бионическом принципе – копировании движений, создаваемых в полете летающими живыми объектами – птицами и насекомыми. Хотя в этом классе БПЛА пока нет серийно выпускаемых аппаратов и практического применения они пока не имеют, во всем мире проводятся интенсивные исследования в этой области. В последние годы появилось большое количество разных интересных концептов малых БПЛА с машущим крылом. Главные преимущества, которые имеют птицы и летающие насекомые перед существующими типами летательных аппаратов – это их энергоэффективность и маневренность. Аппараты, основанные на

имитации движений птиц, получили название орнитоптеров, а аппараты, в которых копируются движения летающих насекомых – энтомоптерами.

БПЛА аэростатического типа БПЛА аэростатического типа – это особый класс БПЛА, в котором подъемная сила создается преимущественно за счет архимедовой силы, действующей на баллон, заполненный легким газом (как правило, гелием). Этот класс представлен, в основном, беспилотными дирижаблями.

Дирижабль – Л А легче воздуха, представляющий собой комбинацию аэростата с движителем (обычно это винт (пропеллер, импеллер) с электрическим двигателем или ДВС) и системы управления ориентацией. По конструкции дирижабли подразделяются на три основных типа: мягкий, полужесткий и жесткий. В дирижаблях мягкого и полужесткого типа оболочка для несущего газа мягкая, которая приобретает требуемую форму только после закачки в неё несущего газа под определённым давлением. В дирижаблях мягкого типа неизменяемость внешней формы достигается избыточным давлением несущего газа, постоянно поддерживаемым баллонетами – мягкими ёмкостями, расположенными внутри оболочки, в которые нагнетается воздух. Баллонеты, кроме того, служат для регулирования подъемной силы и управления углом тангажа (дифференцированная откачка/закачка воздуха в баллонеты приводит к изменению центра тяжести аппарата). Дирижабли полужесткого типа отличаются наличием в нижней части оболочки жесткой (в большинстве случаев на всю длину оболочки) фермы. В жестких дирижаблях неизменяемость внешней формы обеспечивается жестким каркасом, обтянутым тканью, а газ находится внутри жесткого каркаса в баллонах из газонепроницаемой материи. Жесткие дирижабли в беспилотном исполнении пока практически не применяются.

1.2. Классификация БПЛА принятая в России

Некоторые классы зарубежной классификации отсутствуют в РФ, лёгкие БПЛА в России имеют значительно большую дальность и т. д. Согласно

русской классификации, которая ориентирована преимущественно пока только на военное назначение аппаратов, БПЛА можно систематизировать следующим образом: Микро - и мини - БПЛА ближнего радиуса действия – взлётная масса до 5 кг, дальность действия до 25-40 км; 92 Лёгкие БПЛА малого радиуса действия – взлётная масса 5 - 50 кг, дальность действия 10 - 70 км; Лёгкие БПЛА среднего радиуса действия – взлётная масса 50 - 100 кг, дальность действия 70 - 150 (250) км;

Средние БПЛА – взлётная масса 100 - 300 кг, дальность действия 150 - 1000 км; Средне - тяжёлые БПЛА – взлётная масса 300 - 500 кг, дальность действия 70 - 300 км; Тяжёлые БПЛА среднего радиуса действия – взлётная масса более 500 кг, дальность действия 70 - 300 км; Тяжёлые БПЛА большой продолжительности полёта – взлётная масса более 1500 кг, дальность действия около 1500 км; Беспилотные боевые самолёты – взлётная масса более 500 кг, дальностью около 1500 км.

Применяемые БПЛА

Для технического оснащения МЧС России беспилотными летательными аппаратами, русскими предприятиями разработано несколько вариантов, рассмотрим некоторые из них: БПЛА ZALA 421-16Е – это беспилотный самолет большой дальности с системой автоматического управления (автопилот), навигационной системой с инерциальной коррекцией (GPS/ГЛОНАСС), встроенной цифровой системой телеметрии, навигационными огнями, встроенным трехосевым магнитометром, модулем удержания и активного сопровождения цели («Модуль АС»), цифровым встроенным фотоаппаратом, цифровым широкополосным видеопередатчиком С-OFDM-модуляции, радиомодемом с приемником спутниковой навигационной системы (СНС) «Диагональ ВОЗДУХ» с возможностью работы без сигнала СНС (радиодальномер) системой самодиагностики, датчиком влажности, датчиком температуры, датчиком тока, датчиком температуры двигательной установки, отцепом парашюта, воздушным амортизатором для защиты целевой нагрузки при посадке и поисковым

передатчиком. Данный комплекс предназначен для ведения воздушного наблюдения в любое время суток на удалении до 50 км с передачей видеоизображения в режиме реального времени. Беспилотный самолет успешно решает задачи по обеспечению безопасности и контролю стратегически важных объектов, позволяет определять координаты цели и оперативно принимать решения по корректировке действий наземных служб.

Благодаря встроенному «Модулю АС» БПЛА в автоматическом режиме ведет наблюдение за статичными и подвижными объектами. При отсутствии сигнала СНС – БПЛА автономно продолжит выполнение задания. Данный комплекс предназначен для оперативной разведки местности на удалении до 15 км с передачей видеоизображения в режиме реального времени. БПЛА ZALA 421-08М выгодно отличается сверхнадежностью, удобством эксплуатации, низкой акустической, визуальной заметностью и лучшими в своем классе целевыми нагрузками. Данный летательный аппарат не требует специально подготовленной взлетно-посадочной площадки благодаря тому, что взлет совершается за счет эластичной катапульты, осуществляет воздушную разведку при различных метеоусловиях в любое время суток. Транспортировка комплекса с БЛА ZALA 421-08М к месту эксплуатации может быть осуществлена одним человеком. Легкость аппарата позволяет (при соответствующей подготовке) производить запуск «с рук», без использования катапульты, что делает его незаменимым при решении задач.

Встроенный «Модуль АС» позволяет беспилотному самолету в автоматическом режиме вести наблюдение за статичными и подвижными объектами, как на суше, так и на воде. Конструкция аппарата складная, выполнена из композитных материалов, что обеспечивает удобство доставки комплекса к месту эксплуатации любым транспортным средством. Данный аппарат не требует специально подготовленной взлётно-посадочной площадки из-за вертикально-автоматического запуска и посадки, что делает его незаменимым при проведении воздушной разведки в труднодоступных районах. ZALA 421-22 успешно применяется для выполнения операций в

любое время суток: для поиска и обнаружения объектов, обеспечения безопасности периметров в радиусе до 5 км. Благодаря встроенному «Модулю АС» аппарат в автоматическом режиме ведет наблюдение за статичными и подвижными объектами.

1.3. Квадрокоптер

Квадрокоптер летательный аппарат с четырьмя несущими винтами, у которого два противоположных винта вращаются в одном направлении, и два других - в обратном, при этом маневры осуществляются путем изменения скорости вращения винтов. Такие аппараты применяются для исследований во многих областях: проведение фото- и видеосъемки и поисковых операций, доставка небольших по размеру и весу грузов, инспектирование конструкций, а также в военных целях.

В связи с этим существует потребность в математической модели, которая смогла бы описать управление летательным аппаратом. Сложность заключается в том, что квадрокоптер имеет шесть степеней свободы, в то время как мы можем управлять всего четырьмя параметрами: скоростями вращения винтов.

Следующей важной задачей является построение стабилизирующего алгоритма. Управляемый четырьмя разнесенными винтами, квадрокоптер представляет собой нестабильную динамическую систему, которая в силу нелинейности математической модели должна быть стабилизирована сложными управляющими алгоритмами. Задачи управления пространственным движением беспилотных аппаратов рассматриваются, например, на основе модели движения центра масс, записанных в траекторной системе координат. Однако в случае с четырехвинтовым аппаратом удобнее использовать модель движения, учитывающую движение вокруг центра масс. В научных публикациях имеются различные подходы к решению данной проблемы, включающие, например, использование ПИД-регуляторов, управление с прогнозирующими моделями, применяющие

скользящий режим, backstepping-управление. В этой работе предложен метод, позволяющий при помощи линеаризации уравнений математической модели обратной связью перемещать аппарат в заданную в пространстве точку и поворачиваться на заданный угол вокруг вертикальной оси при минимальных дополнительных допущениях. Алгоритм должен быть достаточно прост для реализации и вычислений в реальном времени на оборудовании, находящемся на борту квадрокоптера. В работе описан вывод математической модели квадрокоптера и на ее основе построен механизм стабилизации аппарата в заданной точке. Полученные результаты смоделированы в системе MATLAB и приведен пример последовательного передвижения аппарата в пространстве. Одна из перспективных задач, над которыми в данный момент идет работа – применение данного стабилизирующего механизма для управления реальным беспилотным аппаратом – Parrot AR.Drone 1.0.

1.4. Математическая модель квадрокоптера

Рассмотрим квадрокоптер (рис. 1) с известными физическими параметрами, движением которого можно управлять, изменяя скорости вращения винтов. Аппарат движется относительно неподвижной инерциальной системы отсчета, связанной с Землей и заданной перпендикулярными друг другу координатными осями, причем ось направлена противоположно вектору силы тяжести. С квадрокоптером связана строительная система координат, центр которой размещен в центре масс аппарата, а оси параллельны и сонаправлены с осями неподвижной системы. Угловое положение аппарата задаем тремя углами Крылова: углами крена, тангажа и рыскания, определяющими вращение вокруг осей соответственно. Опишем математическую модель данного аппарата.

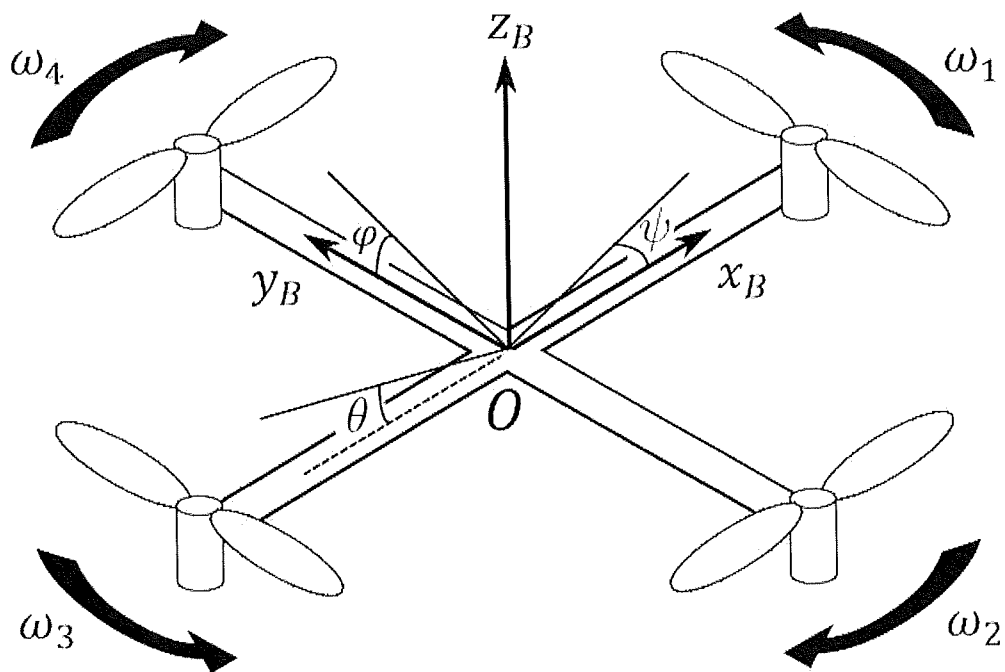


Рис. 1. Строительная система координат квадрокоптера

1.5. 3D принтер и применение его в БПЛА

В июле 2014 года британская компания BAE Systems, активно сотрудничающая с Пентагоном, объявила о том, что она занимается разработкой перспективной технологии печати беспилотников прямо на борту других летательных аппаратов. По оценке компании, такую технологию можно будет начать использовать уже в 2040-х годах. В рамках этого проекта британская компания намерена разработать высокопроизводительные 3D-принтеры и системы автоматизированной сборки. Инженеры BAE Systems полагают, что в воздухе можно будет печатать как беспилотники самолетного типа, так и мультикоптеры.

Предполагается, что к 2040-м годам технологии трехмерной печати будут настолько развитыми, что позволят печатать беспилотники не только для разведки и наблюдения, но и для эвакуации терпящего бедствие гражданского населения или раненых бойцов. После выполнения поставленной задачи, по решению оператора, беспилотник сможет либо самоуничтожиться, либо приземляться в безопасном месте. В итоге, если

проект BAE Systems увенчается успехом, будет создан универсальный, возможно, беспилотный летательный аппарат с функцией производства. И его можно будет использовать в миссиях с неопределенным кругом задач. Оператору такого аппарата надо будет лишь выбрать из базы данных, какой именно беспилотник следует напечатать.

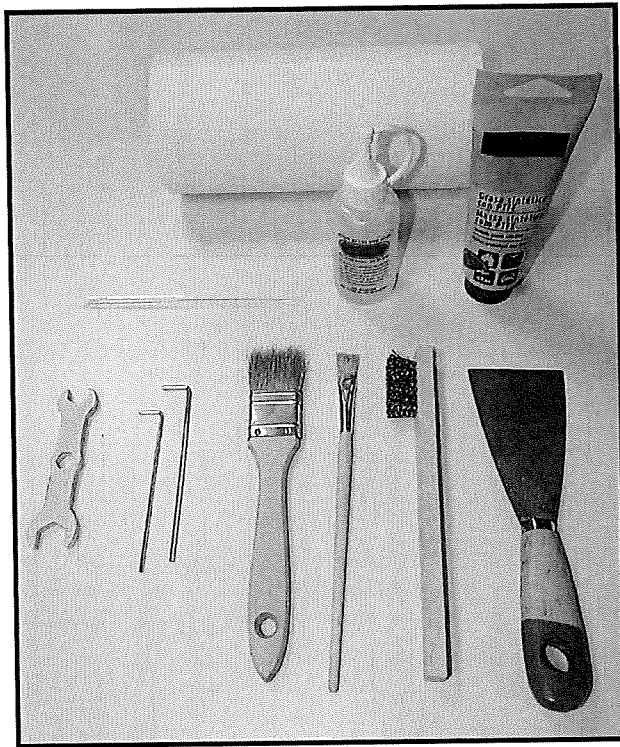
Другие подробности о перспективной технологии BAE Systems пока не раскрыла. Можно предположить, что часть оборудования для беспилотников, включая сенсоры, двигатели и элементы питания, будут перевозиться на борту «летающего производства», в то время как электрическая разводка для них в корпусе беспилотника будет печататься из токопроводящих материалов.

2. Обучение обслуживанию 3D принтеров

Такие машины периодически нуждаются в некотором техническом обслуживании, которое может быть неочевидным для новичка в 3D-печати. Принтер рекомендуется обслуживать по крайней мере раз в месяц. При интенсивном использовании (например, круглосуточная печать) возможно даже чаще.

- Проверка болтовых соединений
- Очистка вентиляторов и электроники
- Проверка натяжения ремней
- Смазка и очистка направляющих и ходовых шпилек
- Очистка стеклянного стола
- Очистка сопла
- Выравнивание базы

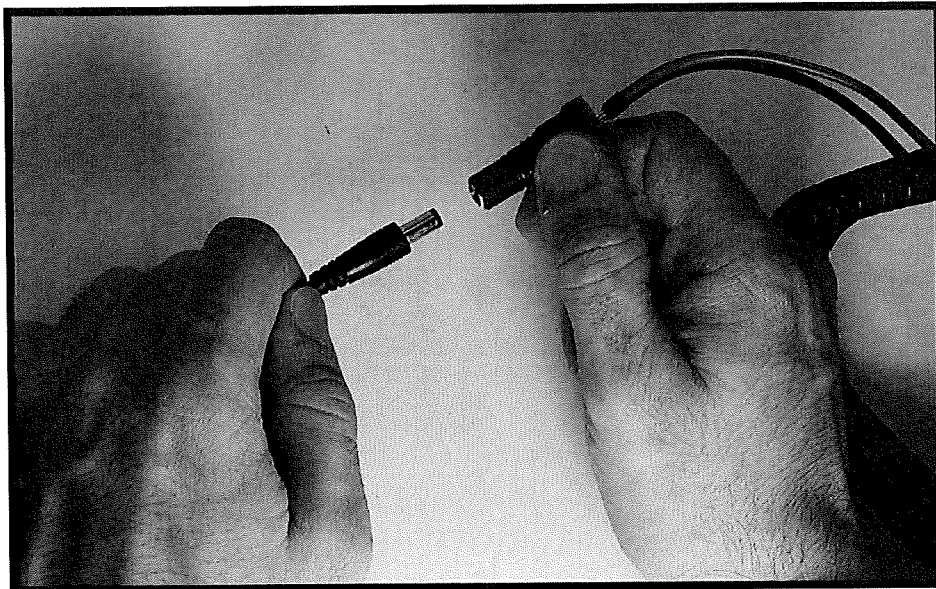
Для того, чтобы приступить к обслуживанию принтера, вам понадобятся:



- Ключи М6, М8 и М10
- Ключи шестигранники М2 и М3
- Шпатель
- Кисть и щётка
- Проволочная щётка
- Смазка (например, силиконовая смазка)
- Иглы для прочистки сопла (идут в комплекте Гефестоса). Вместо них с меньшим удобством можно использовать и обычные иглы малого диаметра
- Бумажные полотенца

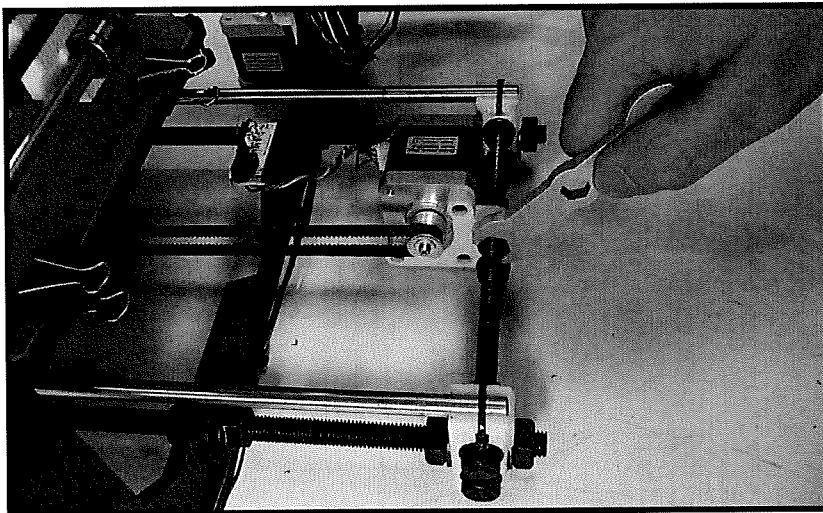
2.1. Проверка болтовых соединений

Прежде всего - отключите свой принтер от сети. Это позволит перемещать экструдер по осям без риска повредить двигатели, а также исключить потенциальные опасности при очистке электроники.

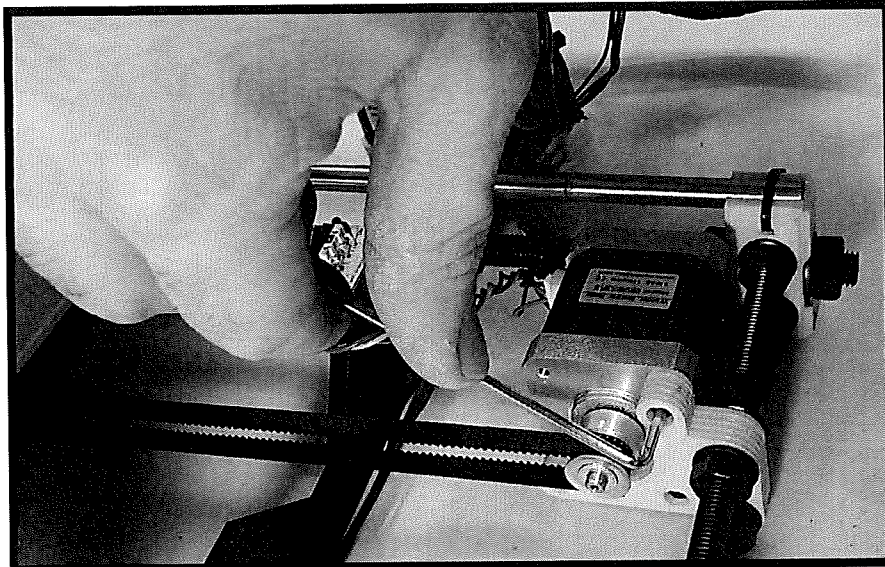


Вибрации, возникающие при печати, ослабляют болтовые соединения. Логично, что для сохранения высокого качества печати гайки иногда нужно подкручивать.

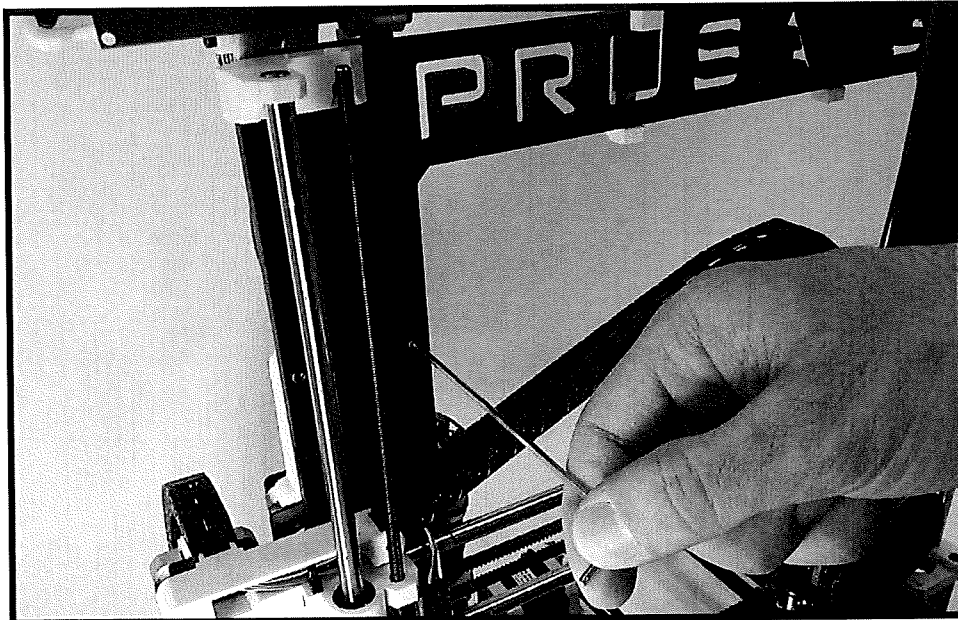
Лучше всего начинать с болтов, которые “держат” базу:



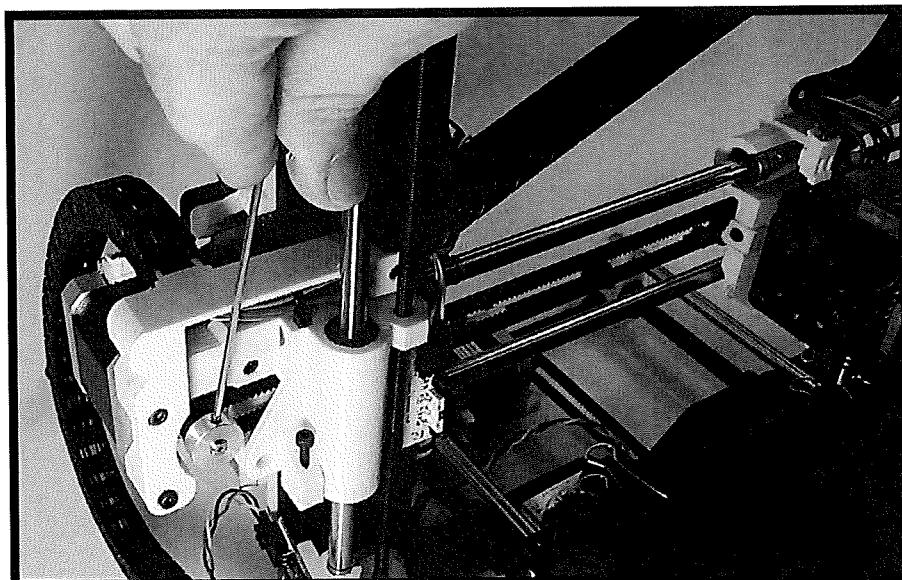
Затем проверьте винты, которые держат двигатели:



Разобравшись с базой и двигателями, проверьте болты на оси X:



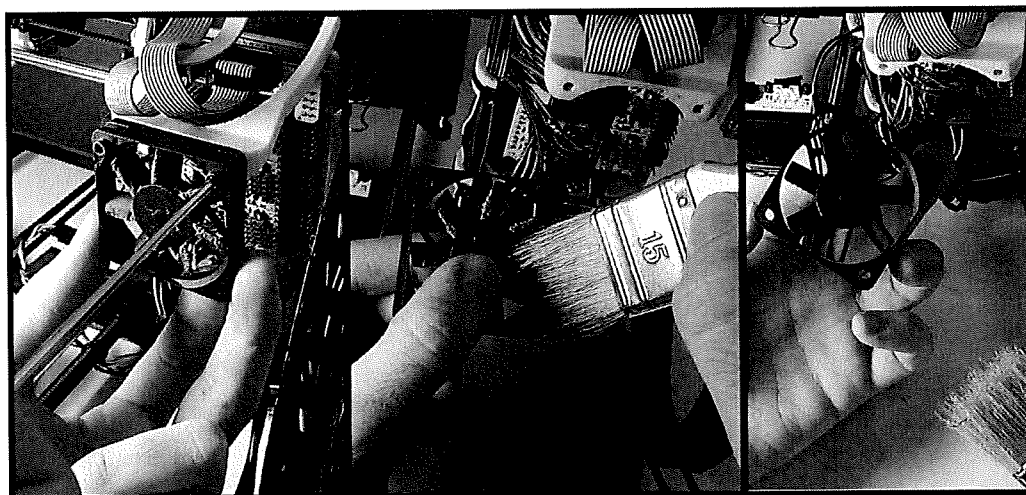
И, наконец, убедитесь в качественной затяжке шкивов на валах двигателя:



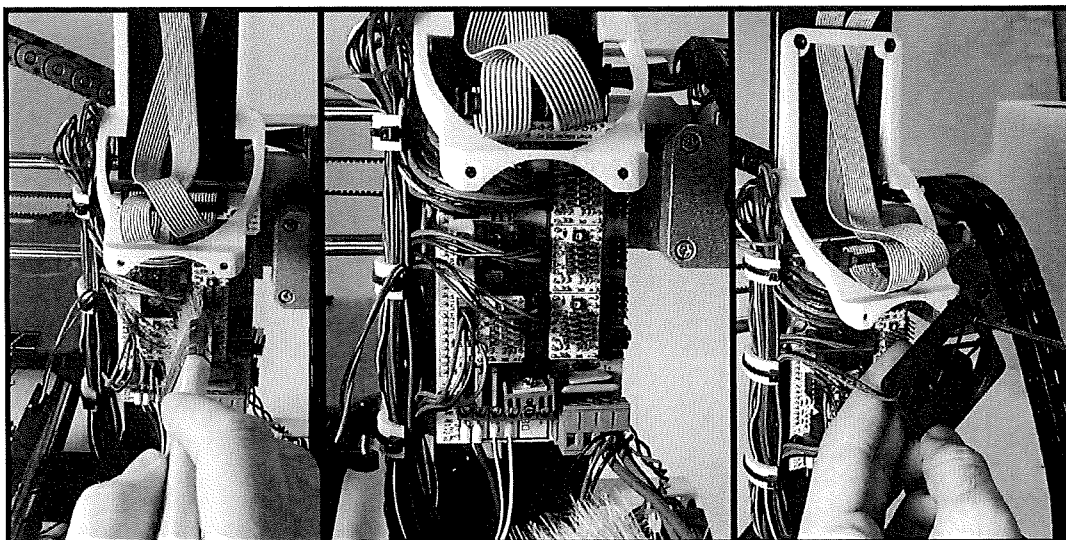
2.2. Очистка вентиляторов и электроники

Лопасты вентиляторов - место, где постоянно скапливается пыль. Как правило это приводит к ухудшению охлаждающих способностей вентилятора, что, в свою очередь, ведёт к печальным последствиям для электроники.

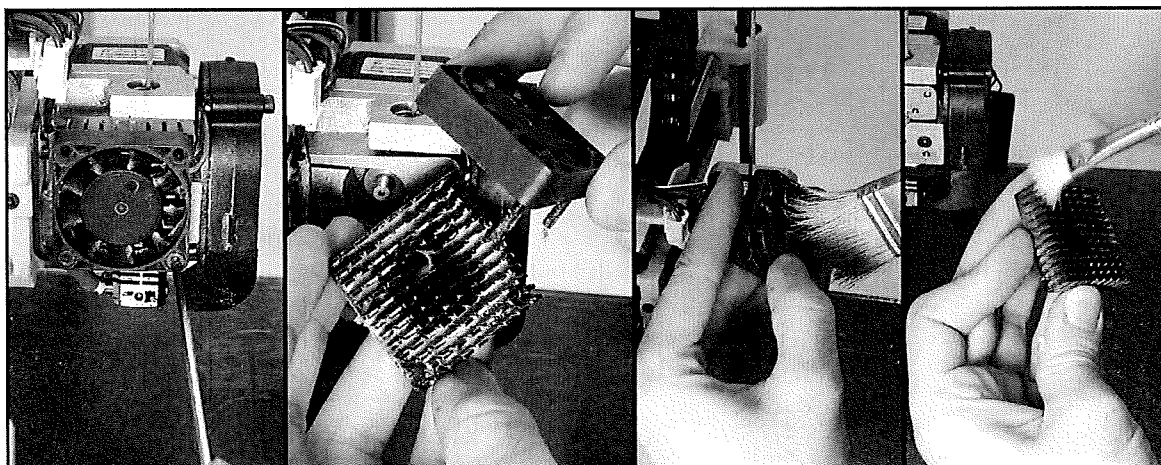
Для начала снимите вентилятор с пластиковой рамы - так чистить его будет намного удобнее. Затем, воспользовавшись щёткой, очистите лопасти с обеих сторон.



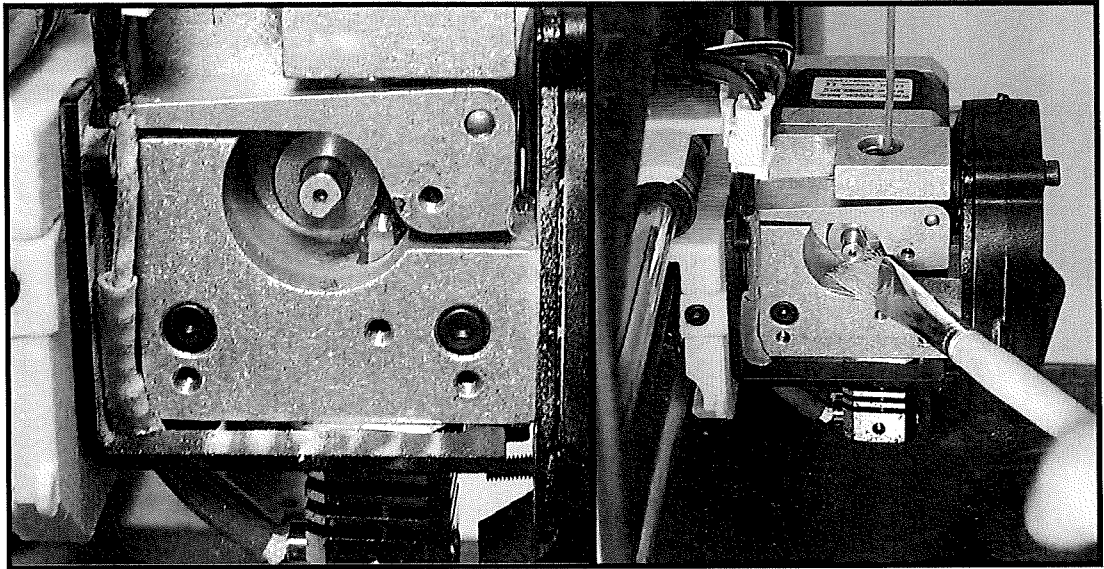
Теперь настала очередь электроники. Нет никакой необходимости отключать все провода, но при очистке будьте крайне осторожны и аккуратны, чтобы случайно не повредить какой-нибудь элемент платы.



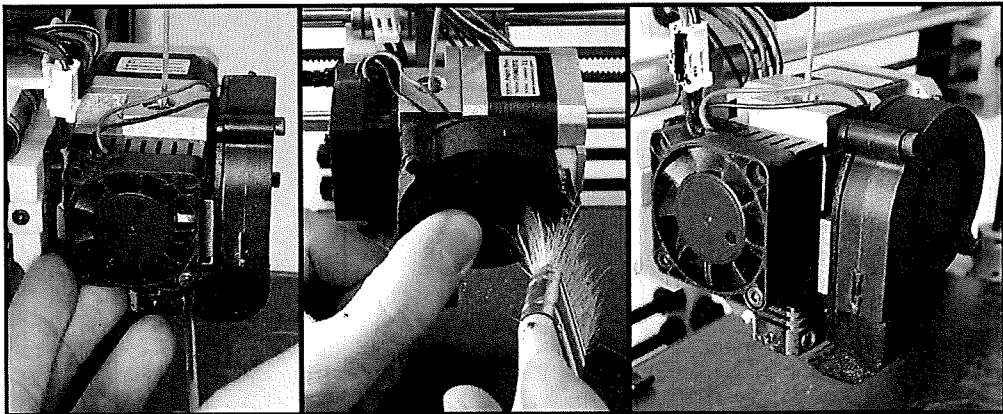
Теперь очистим вентиляторы экструдера. Для этого переведите каретку в крайнее правое положение и аккуратно снимите левый экструдер. Вместе с ним снимите и радиатор. Привычным движением очистите их щёткой.



Перед тем как отправиться орудовать щёткой дальше, обратите внимание на внутреннюю часть экструдера (раз уж всё равно сняли вентилятор). Скорее всего, она окажется в пыли или остатках материала, безжалостно перемолотых прижимным колесом. Если так и есть, очистите область маленькой кистью:

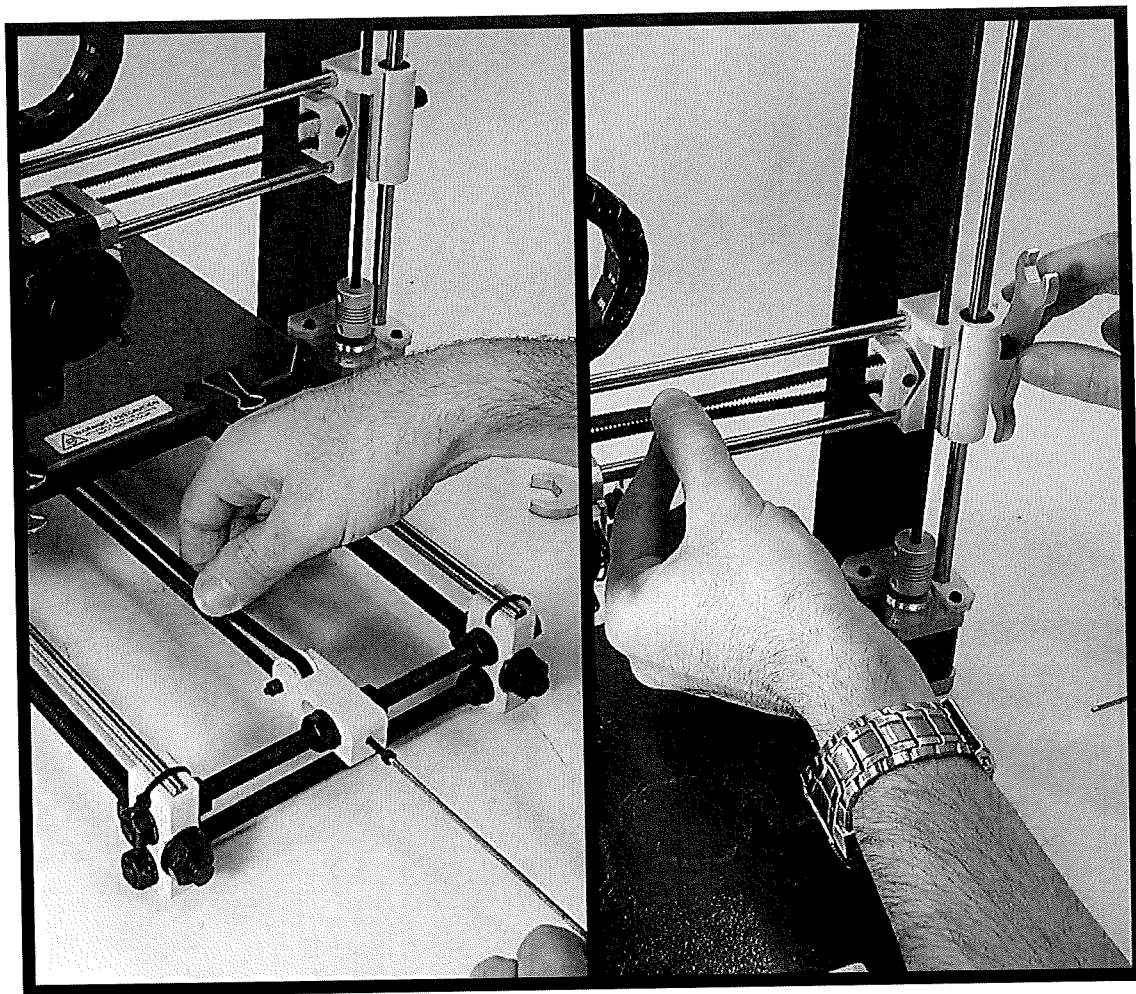


Теперь, очистив внутреннюю камеру, верните вентилятор и радиатор на законное место. Помните, что вентилятор наклейкой должен смотреть в сторону экструдера, иначе поток воздуха будет идти в неверном направлении. Передний вентилятор не нуждается в снятии для очистки - достаточно просто осторожно прочистить его между лопастей.



2.3. Проверка натяжения ремней

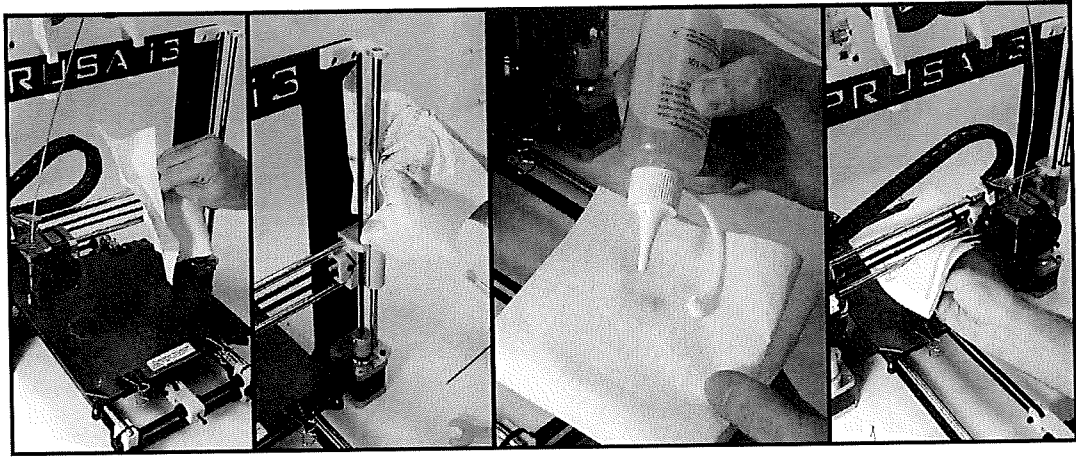
Использование принтера в течении долгого времени может привести к тому, что натяжение ремней существенно ослабнет. Проверьте - если это так, то просто затяните потуже болты натяжителя:



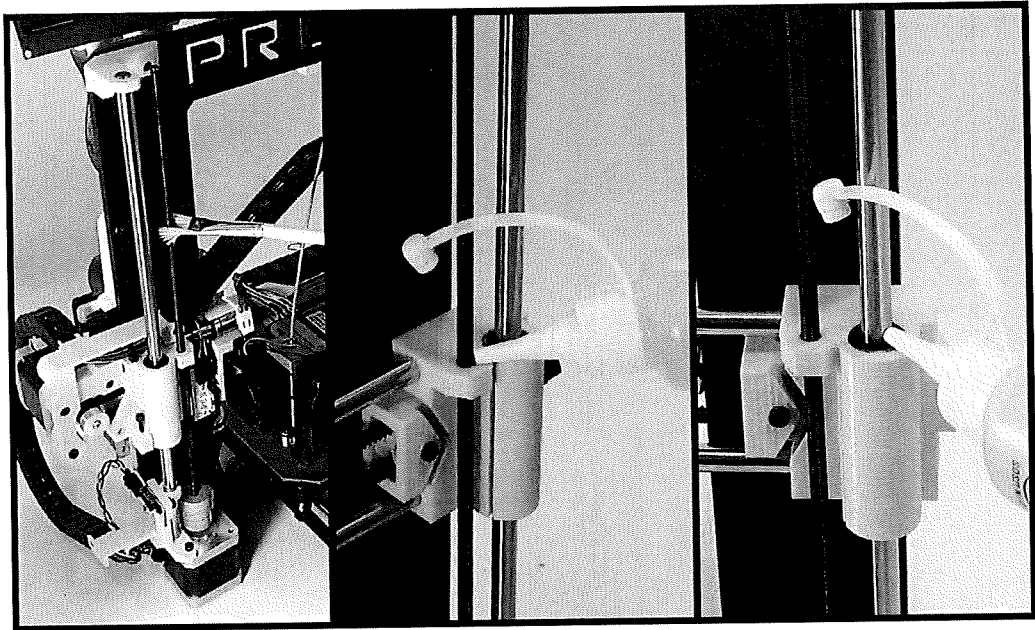
2.4. Смазка и очистка направляющих и ходовых шпилек

Как направляющие, так и ходовые шпильки по оси Z должны быть всегда чисты и хорошо смазаны - это позволяет почти гарантированно избавиться от ненужных вибраций и раздражающих скрипов.

Начнём с направляющих. Сначала очистите их бумажным полотенцем. Удалив всю грязь, возьмите чистое полотенце и, капнув на него смазкой, протрите как следует гладкие направляющие.



После того как гладкие направляющие очищены и смазаны, пройдите по ходовым шпилькам щёткой. Затем смажьте все гайки передающего стержня оси Z. Не забудьте и про цилиндрические фланцы.

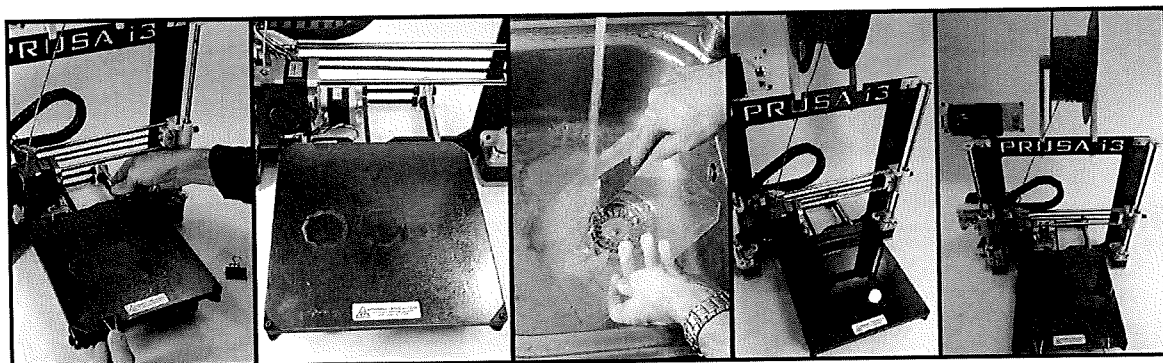


2.5. Очистка стеклянного стола.

Если вы используете в качестве усилителя адгезии лак, то вы можете заметить, что со временем старые слои лака объединяются в причудливые бугорки, способные серьёзно подпортить первый слой печати. Также иногда на платформе могут остаться кусочки пластика от предыдущей печати (к примеру, элементы рафта).

Самый простой способ очистить стеклянный стол - это поместить его под проточную горячую воду и немного поработать шпателем. Сам стол,

конечно, перед этим надо снять с принтера.

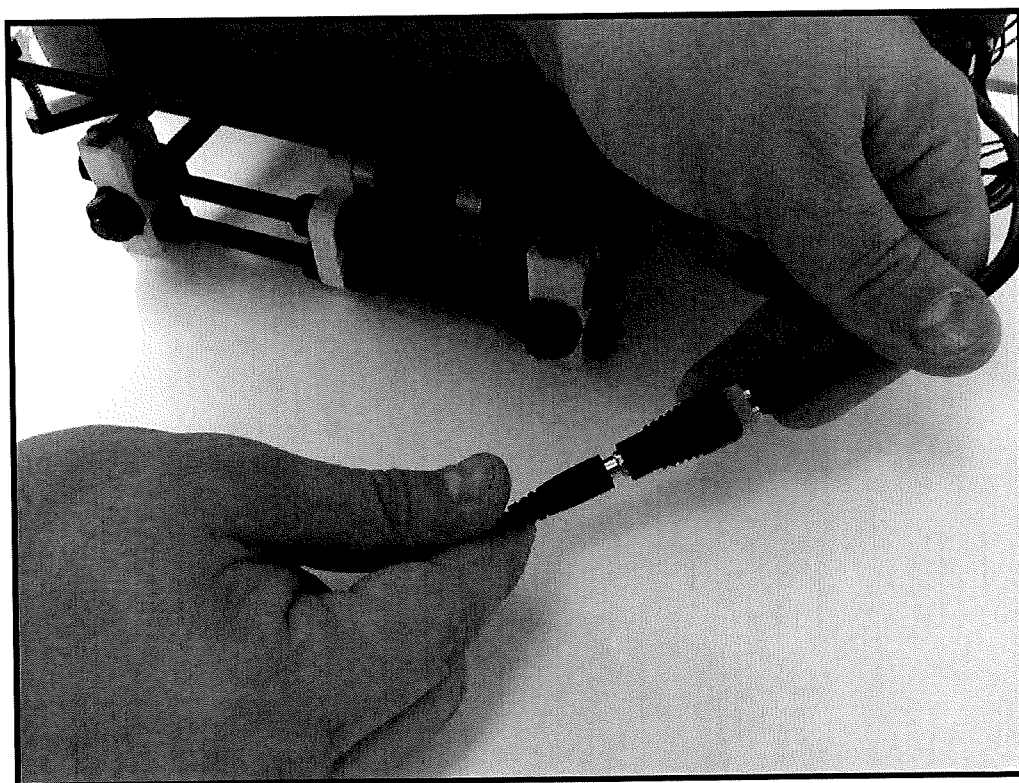


2.6. Очистка сопла.

Шаг, который считается достаточно опасным - сотни выброшенных “хотэнд” тому подтверждение.

“Хотэнд” - это та часть экструдера, где происходит непосредственный нагрев и экструзия пластиковой нити. Иногда в силу различных причин сопло забивается, что приводит к некорректной работе принтера.

Первое, что нужно сделать - открутить защитный элемент, окружающий хотэнд (актуально для гевеши). Затем, включите питание:

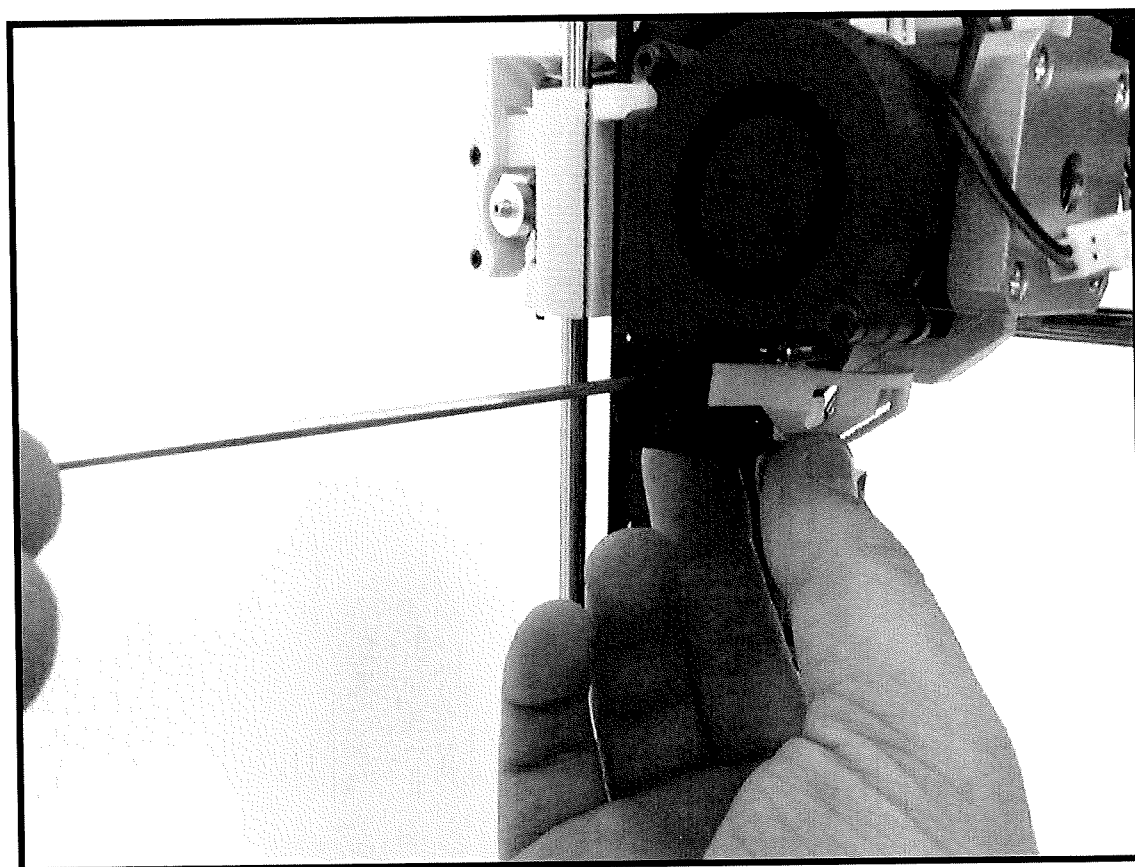


Теперь, с помощью ЖК-экрана верните каретку на “домашнее” положение. (Menu > Control > Move axis > Auto home).

После этого нужно переместить экструдер в точку 100.0 мм X и 160.0 мм Z. Это положение обеспечивает наиболее свободный доступ к хотэнду. Делается это без особых усилий через Jog mode в том же меню, где и auto home.

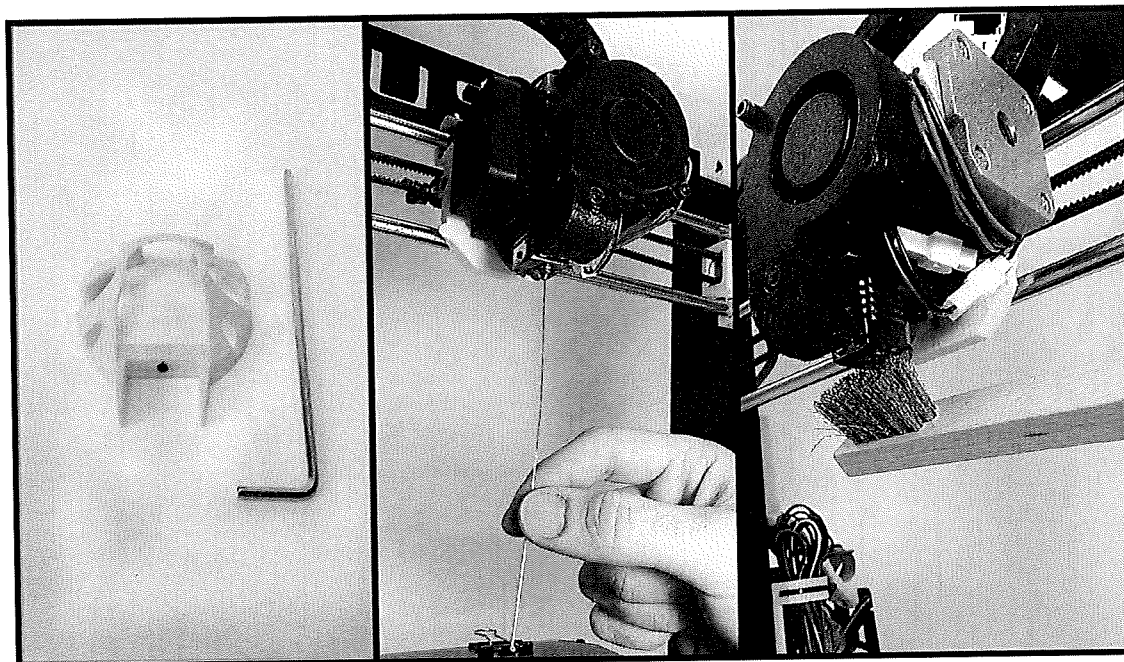
Теперь нам необходимо извлечь нить пластика (Menu > Control > Filament > Unload).

С этого момента сопло начинает нагреваться, поэтому старайтесь не касаться его, чтобы избежать травм.



После извлечения нити пластика, вставьте в сопло иглу для прочистки и поведите ею вверх-вниз в течении нескольких секунд. Сам экструдер должен оставаться в нагретом состоянии. Эти движения позволяют очистить возможный затор пластика.

Теперь нужно очистить кончик хотэнда снаружи. Соблюдая предельную осторожность, чтобы не повредить кабель термистора или керамический нагреватель, очищаем сопло проволочной щёткой.



После того как вы закончите обслуживание, охладите экструдер (например, отключив сеть). После того как температура упадёт до ~40 градусов, верните защитный кожух на место.

2.7. Выравнивание базы.

Калибровка платформы - всем хорошо знакомая операция. Если по какой-то причине вы не знаете как откалибровать стол для Гефестоса, вы всегда можете посмотреть tutorial от производителя.

А так же советы по обслуживанию 3D-принтеров:

— в первую очередь следует тщательно изучить инструкцию по эксплуатации. Главные моменты там прописаны. Конечно, трудно удержаться от соблазна сразу после извлечения из коробки распечатать поскорее хоть что-нибудь, но потраченные несколько минут на изучение руководства по эксплуатации в дальнейшем предотвратят необходимость обращения в сервисную мастерскую;

— непосредственно во время печати нужно внимательным образом следить не только за самым первым слоем, но и за всеми остальными. Даже если первый слой был выведен на «отлично», это не гарантирует, что где-нибудь посередине модели сопло не заденет верхний слой, не засорится и т. д. Особенно это касается сложных узорных и достаточно высоких моделей;

— всегда следует использовать специальный лак для 3D принтеров;

— Нельзя ставить принтер у открытого окна. Дело тут не в том, что каким-то образом можно повредить само устройство, а вот модель, находящаяся под воздействием больших температур, от сквозняка или перепада температуры из-за солнечного света может деформироваться или перекоситься;

— для печати моделей с небольшими допусками непременно нужно принимать во внимание усадку материала;

— только что отпечатанную модель нужно снимать не внутри самого принтера, а предварительно извлечь рабочую площадку или стекло;

— наконец, нужно внимательно следить за чистотой рабочей площадки.

Эти советы касались в основном непосредственно технологии и процесса печати. Но и само устройство требует к себе бережного отношения и — в отличие от традиционного бумажного принтера — предполагает некоторых мероприятий по обслуживанию:

— проверка затянутости всех доступных болтовых соединений. Во время работы устройство подвергается вибрациям, так что со временем болты могут просто расшататься. Это приведет не только к ухудшению качества модели, но и к скорому выходу из строя принтера;

— очистка от пыли внутренностей принтера. Как и любая техника, 3D принтер служит неплохим «пылесосом». «Шуба» же их пыли будет препятствовать нормальному теплообмену внутри устройства, а потому важно вовремя избавляться от нее;

— контроль за натяжением ремней. Достаточно лишь потуже затянуть болты натяжителя, которые со временем могут разболтаться;

— очистка и смазка специальных ходовых шпилек. Начинать рекомендуется с направляющих X и Y, а затем браться за Z. После того, как была очищена вся грязь, нужно обмакнуть в смазку ветошь и как следует протереть направляющие. Затем нужно щеткой обмахнуть тщательно ходовые шпильки. Кроме того, смазываются подшипники;

— очистка платформы для подогрева. Стекланный стол для начала как следует протирается водой, а затем обрабатывается спиртом. Таким образом можно удалить лаки и прочие скопившиеся на столе вещества. В случае же с пластиковым столом, можно применить шпатель. Для растворения ABS пластика хорошо подойдет ацетон, а вот для PLA и NIPS — фенол, для PVA сгодится и обычная горячая вода;

— очистка сопла. Производится обычно щеткой. Нужно помнить, что все работы по очистке необходимо проводить только на остывшем принтере. В противном случае можно получить серьезные ожоги! Инструменты, которые при этом могут понадобиться: рожковые и шестигранные ключи, шпатель, пластиковая и проволочная щетки, смазка, иглы, бумажные салфетки и ветошь.

3. Основы работы в программе по 3D моделированию

3.1. Программа Autodesk Inventor

Обзор интерфейса и настройка программы

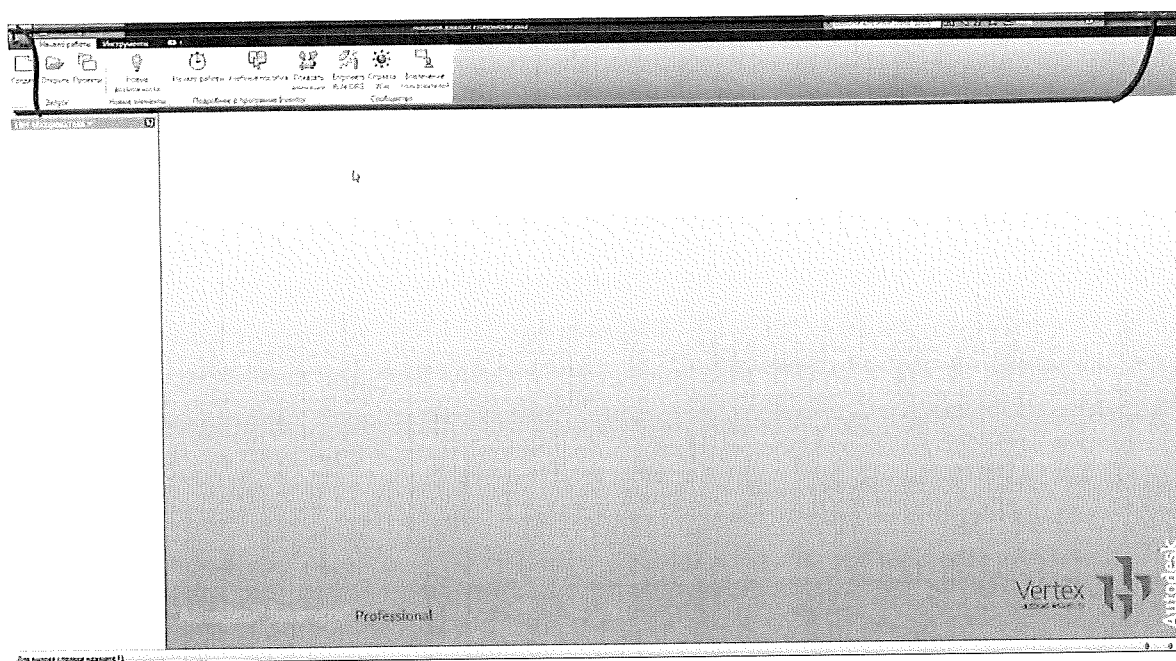
Программа Autodesk Inventor представляет собой параметрическую систему трехмерного проектирования, предназначенную для создания 3d модели, ее анализа и создания двухмерных чертежей.

Вы можете спросить: «Зачем нам создавать 3d модель, если конечная цель — 2d чертеж?». Ответ Вам могут дать опытные пользователи.

Дело в том, что для создания 3d модели и всех необходимых проекций и разрезов изделия требуется почти в три раза меньше времени, чем при черчении традиционным способом, в разы снижается вероятность совершить ошибку. К тому же Inventor позволяет совершать расчет изделия и отдельных его элементов на прочность, выполнять подбор наиболее подходящих материалов, визуализацию работы изделия и многое другое.

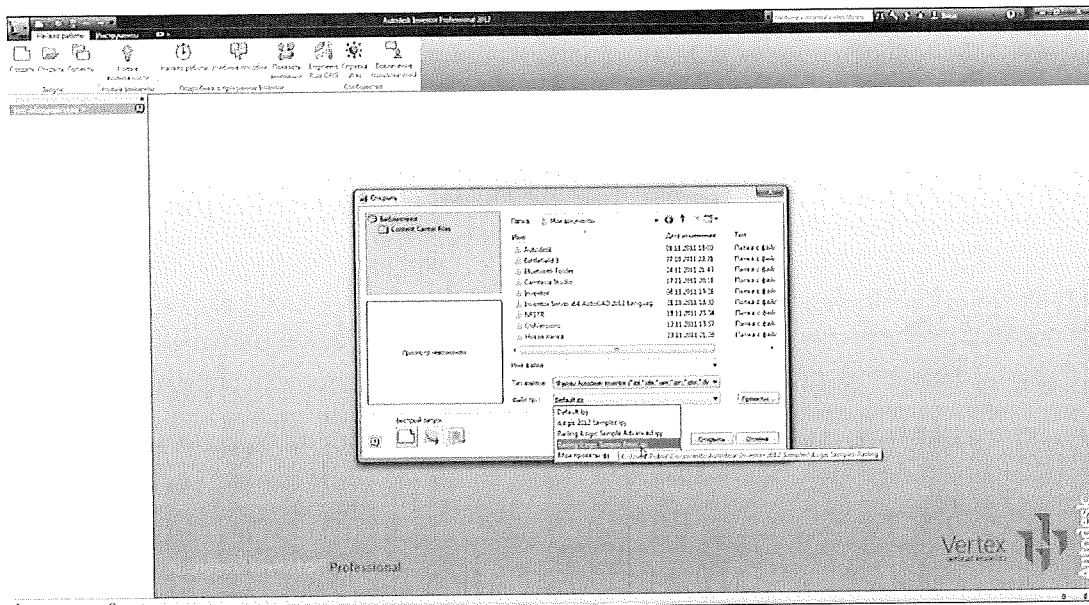
Итак, рассмотрим интерфейс программы Autodesk Inventor.

Основным рабочим пространством является лента:

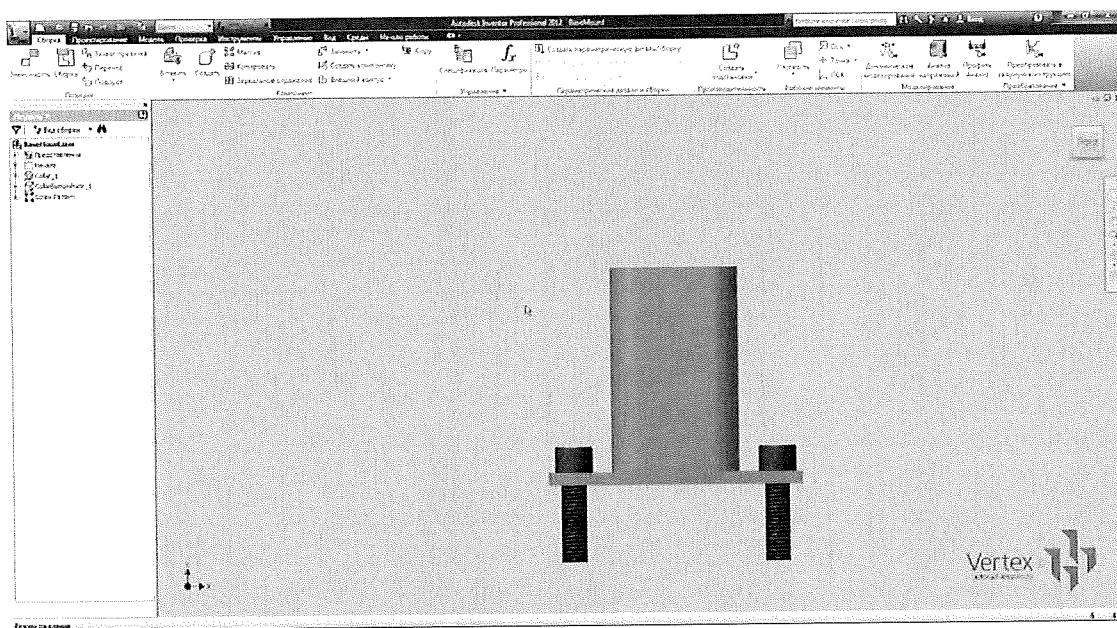


Она по умолчанию отображается в верхней части окна. Функции ленты отображаются при открытии и создании какого-либо файла.

Нажмем «Открыть файл» и в появившемся окне выберем стандартный файл проекта:



Откроем файл сборки. После открытия файла становятся доступными функции ленты для данного типа файлов. Они отличаются для деталей сборок и чертежей.

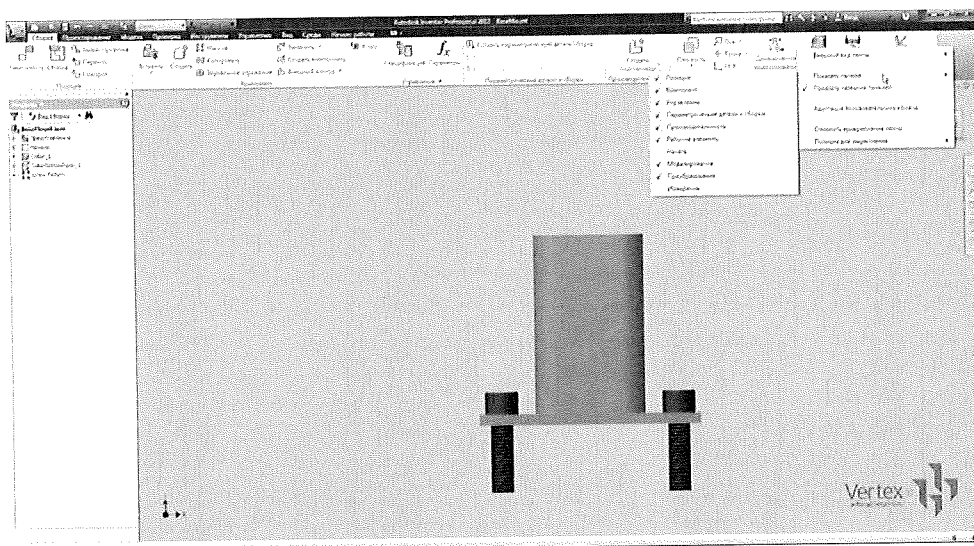


Лента представляет собой палитру инструментов, на которой отображаются кнопки и элементы управления, используемые при работе с бета-чертежами, для 3d моделирования, просмотра и визуализации.

Лента состоит из набора панелей, размещенных на вкладках. Вкладки имеют название, соответствующее их назначению. На некоторых панелях ленты имеются стрелки раскрывающихся меню. Наличие стрелки раскрывающегося меню показывает, что имеются дополнительные команды,

относящиеся к данной панели. Доступ к этим командам можно получить, нажав на стрелку.

На ленте могут быть отображены не все панели. Для того чтобы показать скрытую панель, нужно перевести курсор на свободное место ленты и нажать на правую кнопку мыши и выбрать «Показать панели»:

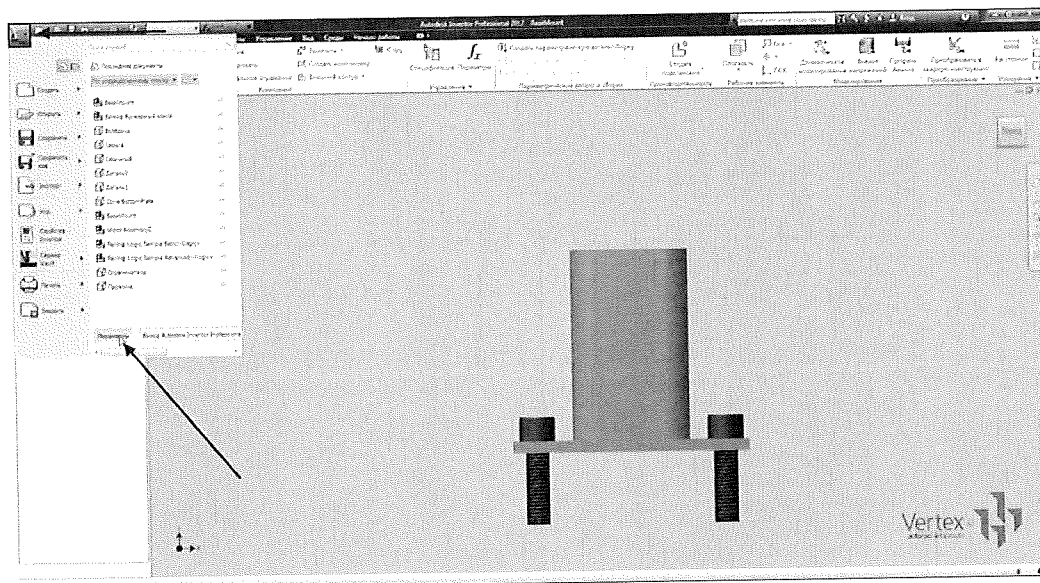


Чтобы показать скрытую панель, ставим галочку возле имени панели.

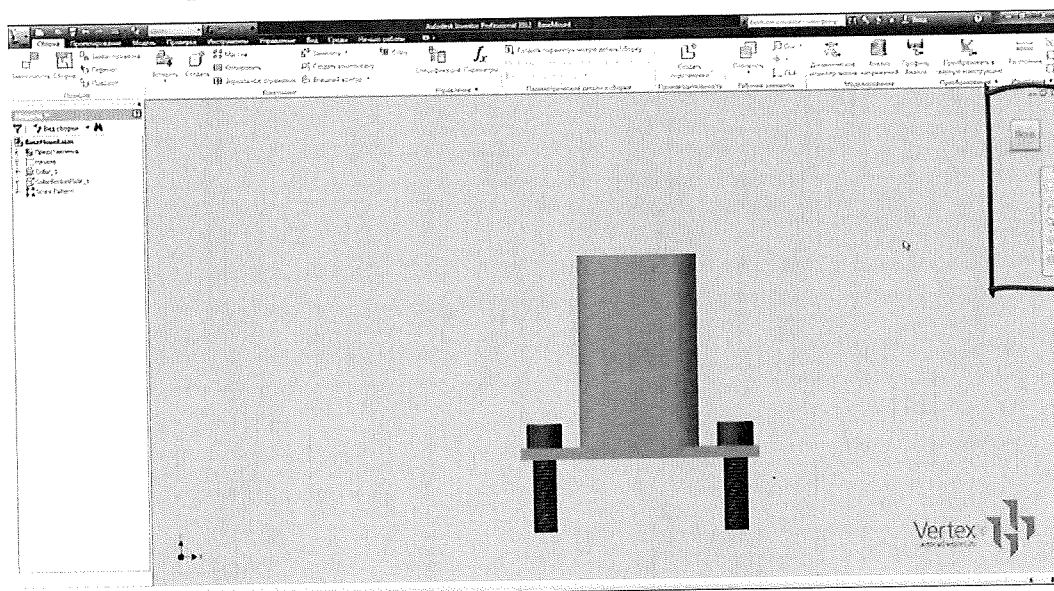
Для многих команд ленты имеются расширенные подсказки, которые отображают информацию о взаимодействии команд. Изначально отображаются имя и краткое описание команды. Если курсор мыши удерживать над командой, то подсказка расширяется и отображается дополнительная информация.

Некоторые подсказки являются пронумерованными. Также в скобках возле имени команды указана «горячая» клавиша для этой команды, т.е. не обязательно переключаться по ленте в поисках нужной команды. Достаточно запомнить «горячую» клавишу для этой команды. Например, если нажать клавишу «Р», откроется окно для вставки малого компонента.

Если у Вас отключены подсказки, их можно включить. Заходим в «Параметры» и на вкладке «Общие» осуществляется управление подсказками:



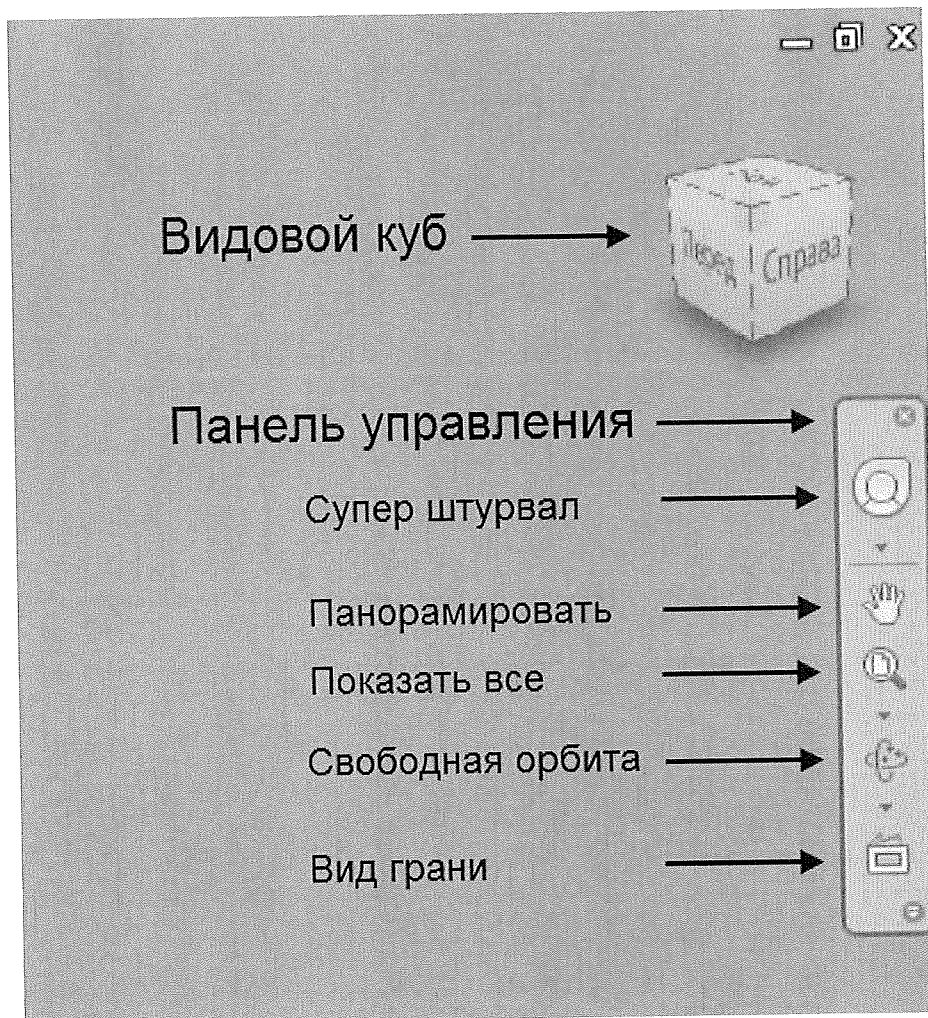
Основными элементами навигации являются «Видовой куб» и «Панель навигации», которые по умолчанию находятся в правом верхнем углу:



Для приближения или удаления, применяется колесо мыши.

«Куб» служит для переключения между стандартными и изометрическими видами модели. При наведении курсора на «Куб», он становится активным. Переключение между видами осуществляется путем нажатия стрелок или нажатием на соответствующие стрелки «Куба». Поворот вида на 90° осуществляется путем нажатия стрелок в верхнем углу «Куба». В контекстном меню «Куба» можно построить «Куб». Можно выбрать его положение, размер и другие настройки.

«Панель управления»:

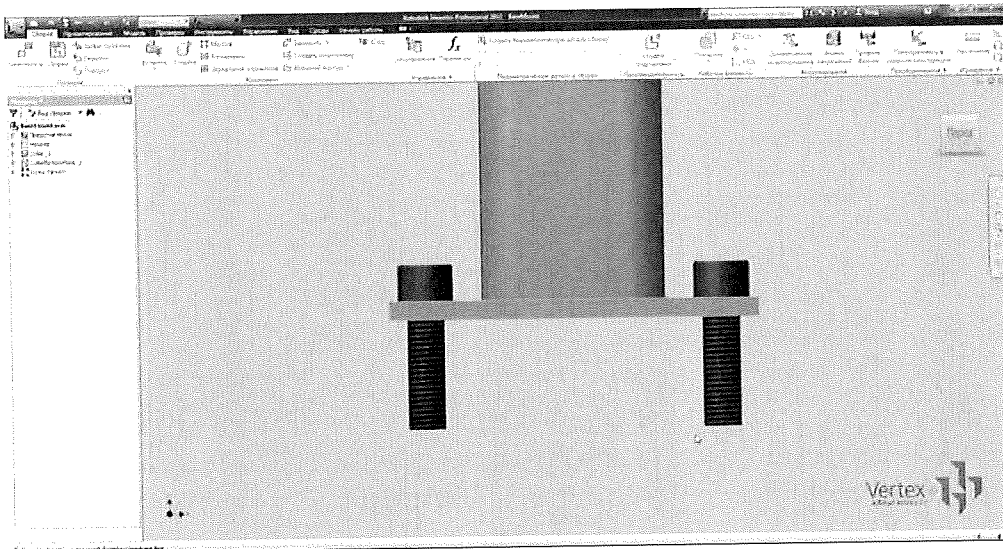
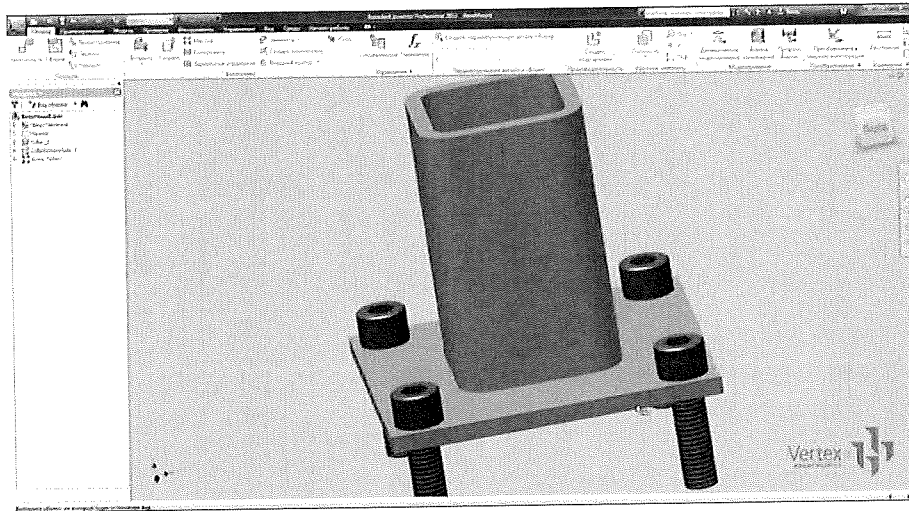


Основная функция: «Панорамировать» — перемещение вида в любом направлении и плоскости. Функцию «Панорамировать» можно также вызывать нажатием на колесо мыши.

Следующая функция: «Показать все». Как понятно из названия, размещает на экране все видимые объекты.

Следующая функция: «Свободная орбита». Это вращение объекта вокруг оси экрана или центра с помощью курсора. Для выбора оси вращения, нужно подвести курсор к соответствующему отрезку оси, для свободного вращения удерживаем левую клавишу мыши. Положение курсора определяет центр вращения.

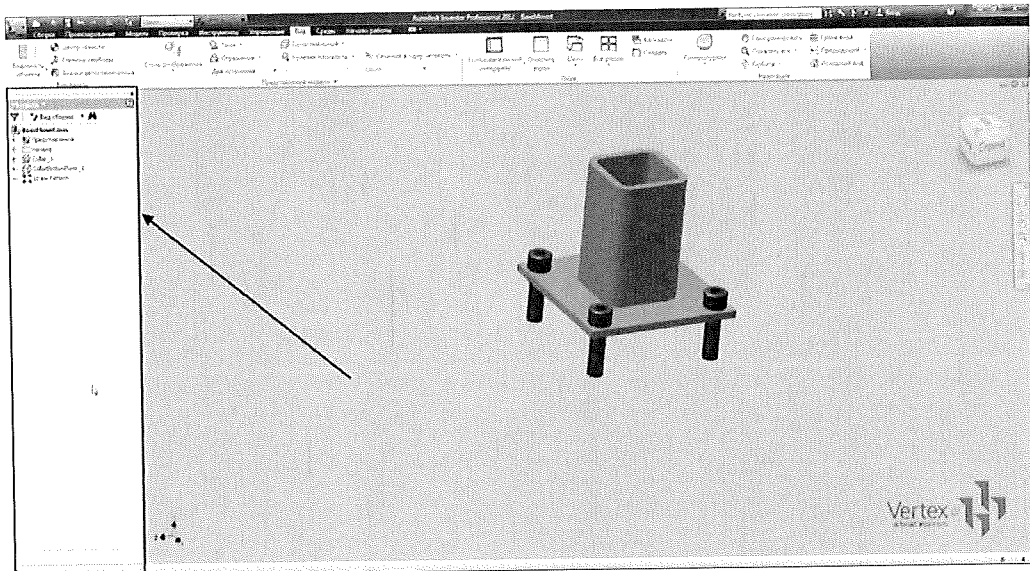
Следующая функция: «Вид грани» — проецирование выбранной плоскости параллельно экрану или выбранной линии параллельно горизонту.



Функция «Супер штурвал» — по сути, повторение вышеперечисленных функций, которые находятся на одной панели с некоторыми дополнениями.

Чтобы скрыть или отобразить «Видовой куб» или «Панель управления», перейдите во вкладку «Вид», панель «Окна» — «Пользовательский интерфейс» и снимите/поставьте соответствующие галочки.

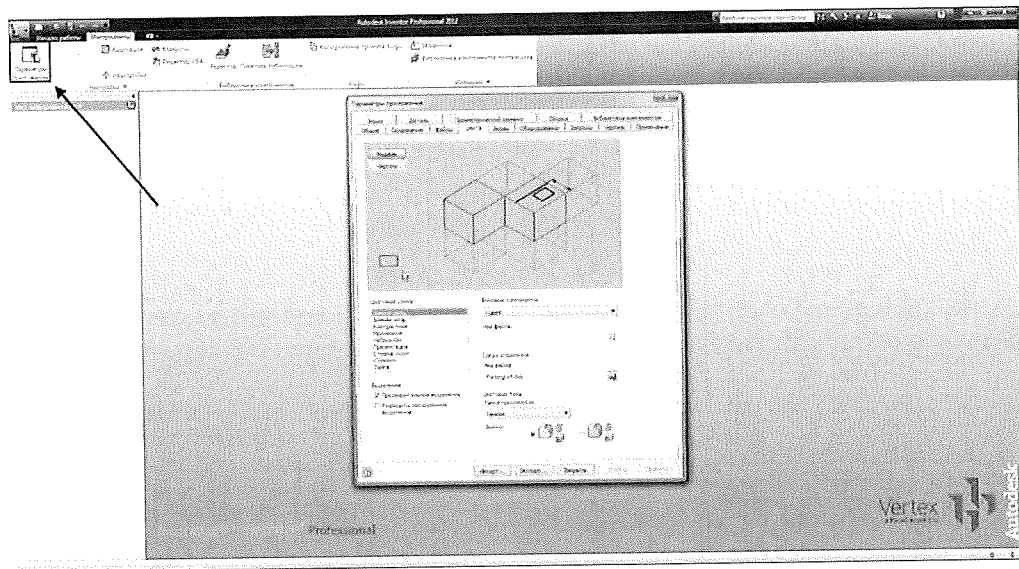
В левой части экрана находится браузер:



Здесь последовательно отображаются все операции, проводимые с изделием. Работу с браузером более подробно рассмотрим ниже.

Закроем эту деталь и произведем некоторые настройки приложения.

На вкладке «Инструменты» откроем «Параметры приложения»:



Здесь на вкладке «Общие» помимо управления подсказками можно также указывать действия при запуске: открывать определенные файлы или создавать файл, также есть возможность указать имя пользователя.

На вкладке цвета можно указать внешний вид программы, выбрать фоновый цвет или рисунок, задать тему приложения и цвет значков: серый или желтый.

Чтобы сохранить настройки, нажмем «Применить».

Работа с плоским эскизом

Для создания 3d объекта для начала требуется создать плоский эскиз.

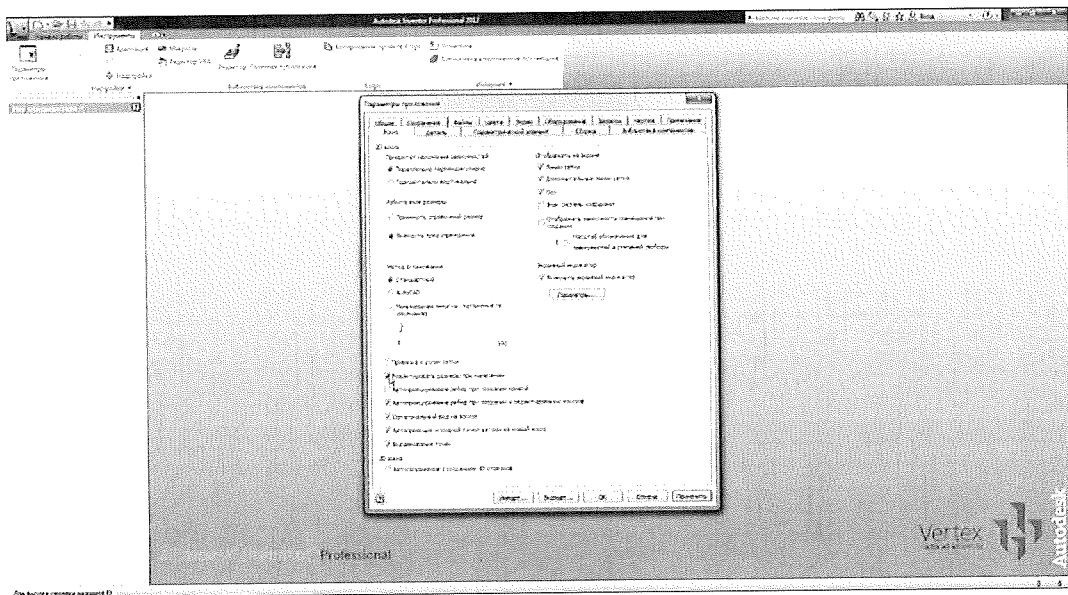
Рассмотрим основные функции создания эскизов. При создании геометрии в эскизе программа автоматически накладывает зависимости и привязки.

Произведем некоторую настройку автоматического задания зависимостей.

На вкладке «Инструменты» откроем «Параметры приложения». В открывшемся окне на вкладке «Эскиз» можно выбрать приоритеты наложения зависимостей: «Параллельно-перпендикулярно» или «Горизонтально-вертикально».

Т.к. размеры в Inventor также являются зависимостями, то возможно выбрать действие для проставления избыточных размеров, применить его как справочный или вывести предупреждение об избыточном размере.

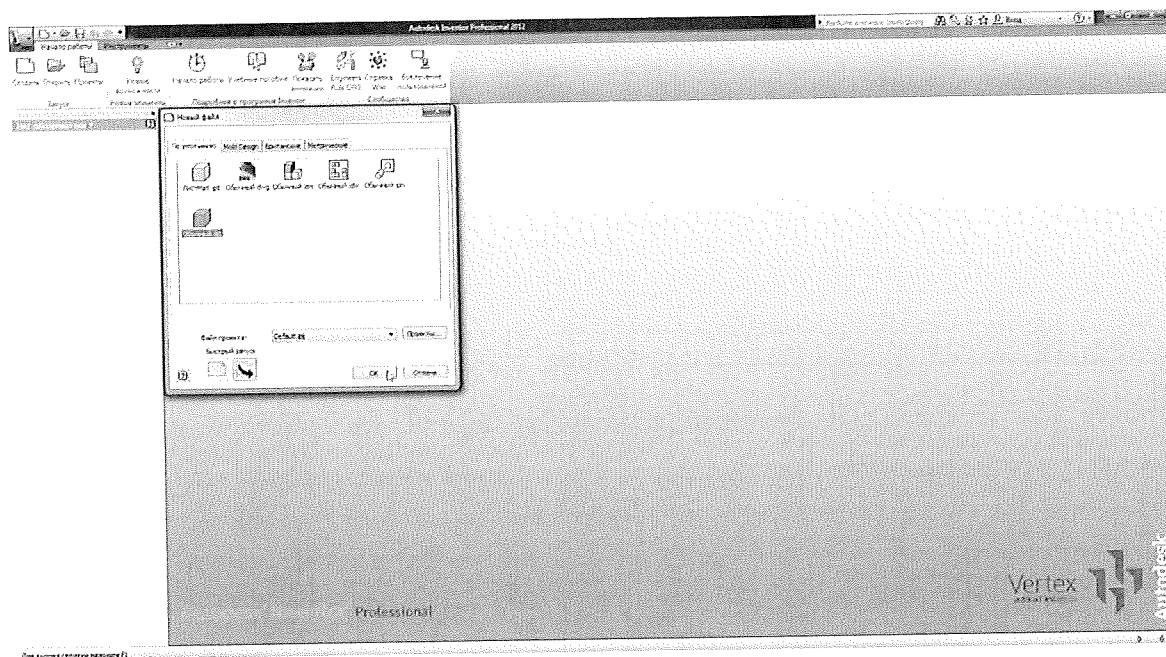
Также поставим галочку «Редактировать размер при нанесении».



На вкладке «Деталь» по умолчанию установлено автоматическое создание эскизов в плоскости XY. Можно указать другие плоскости создания эскиза или не создавать эскиз.

Выберем «Не создавать эскиз», чтобы вручную указать плоскость эскиза.

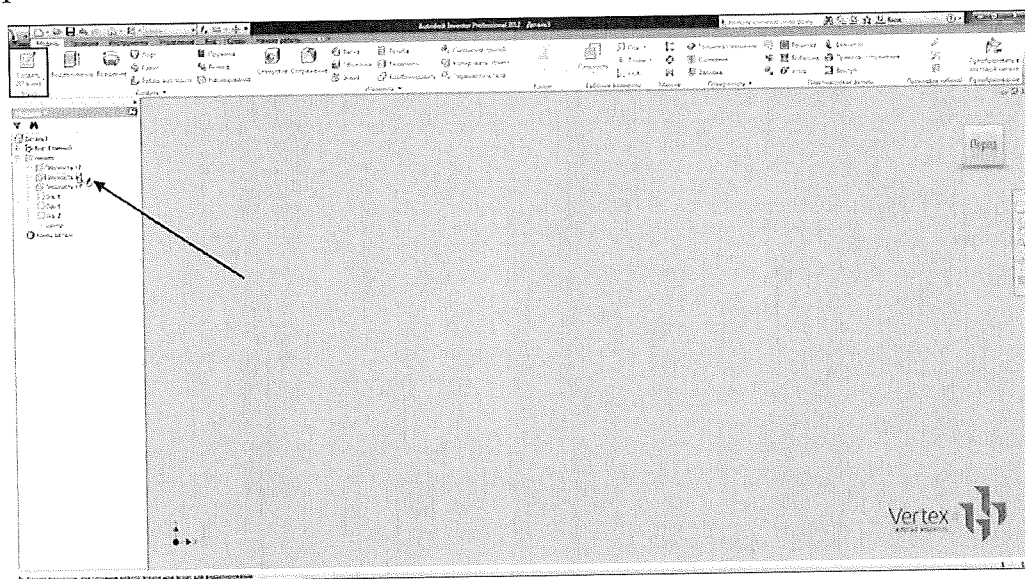
Создадим файл детали. Нажмем «Создать» и укажем файл проекта Default. Выбираем файл детали «Обычный. iprt»:



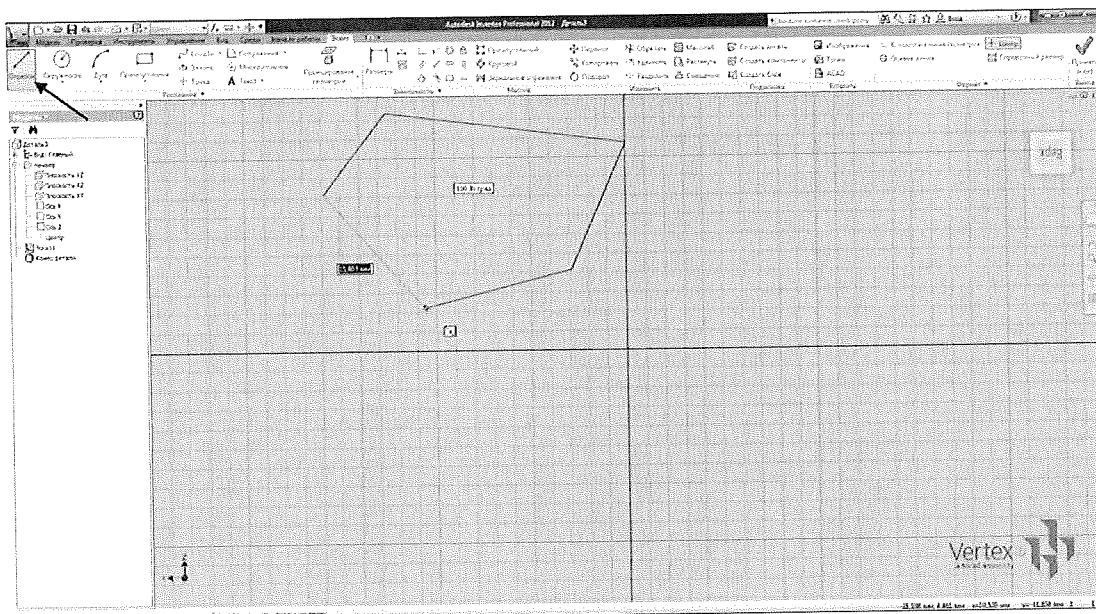
Нажимаем «Ок».

В открывшемся файле нажимаем функцию «Создать эскиз».

Теперь нужно выбрать плоскость для создания эскиза. В браузере раскроем папку «Начало». В ней находятся плоскости и координатные оси. Выбираем плоскость XY:



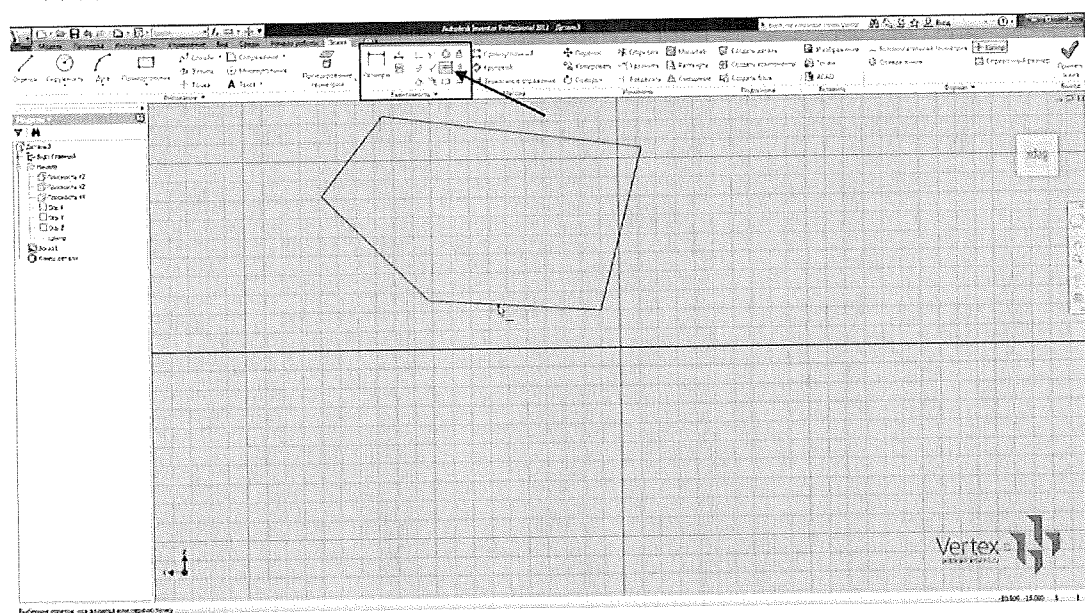
Создадим произвольную фигуру из пяти отрезков, стараясь располагать их не горизонтально и не вертикально, также не параллельно и не перпендикулярно между собой. Конец последнего отрезка подведем к началу первого, при этом появляется зеленая точка — привязка. Завершим создание отрезков нажатием клавиши Esc.



Концы полученных отрезков связаны между собой зависимостью совмещения. Мы можем это видеть, потянув левой кнопкой мыши за любой отрезок или конец отрезка.

Теперь наложим некоторые зависимости для отрезков.

Зададим «Зависимость горизонтальности» для нижнего отрезка.

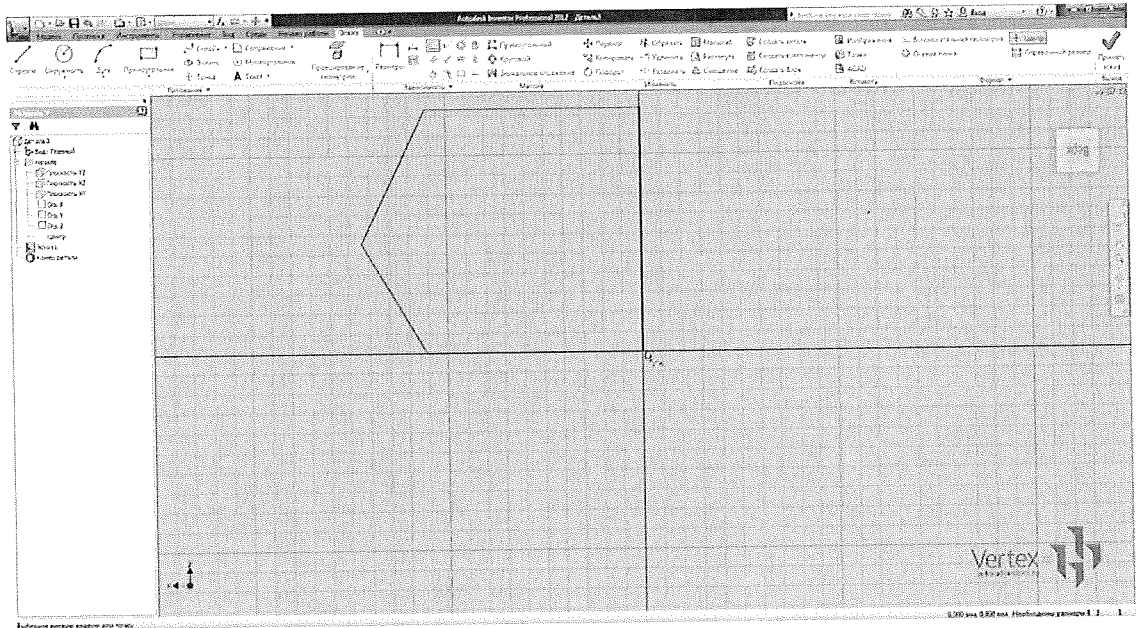


Далее — перпендикулярность нижнего и правого отрезков.

Также зададим параллельность для нижнего и верхнего отрезков.

И укажем равенство нижнего и верхнего отрезков. Зависимость равенства указывает, что данные отрезки будут равной длины.

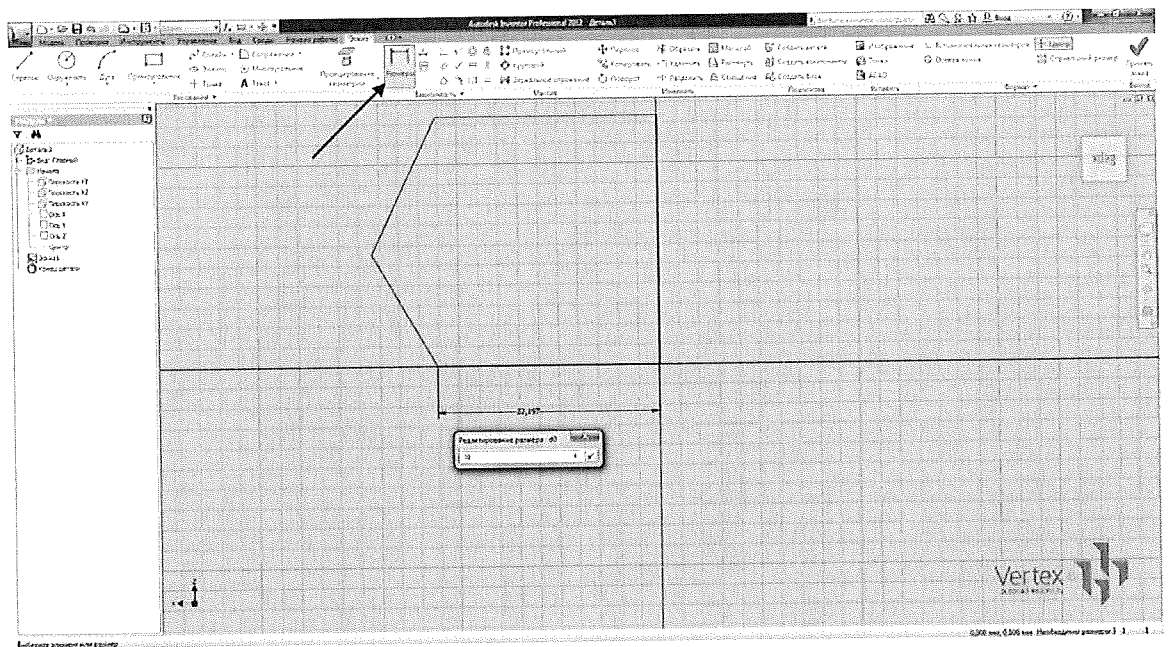
Укажем зависимость совмещения правой нижней точки с началом координат.



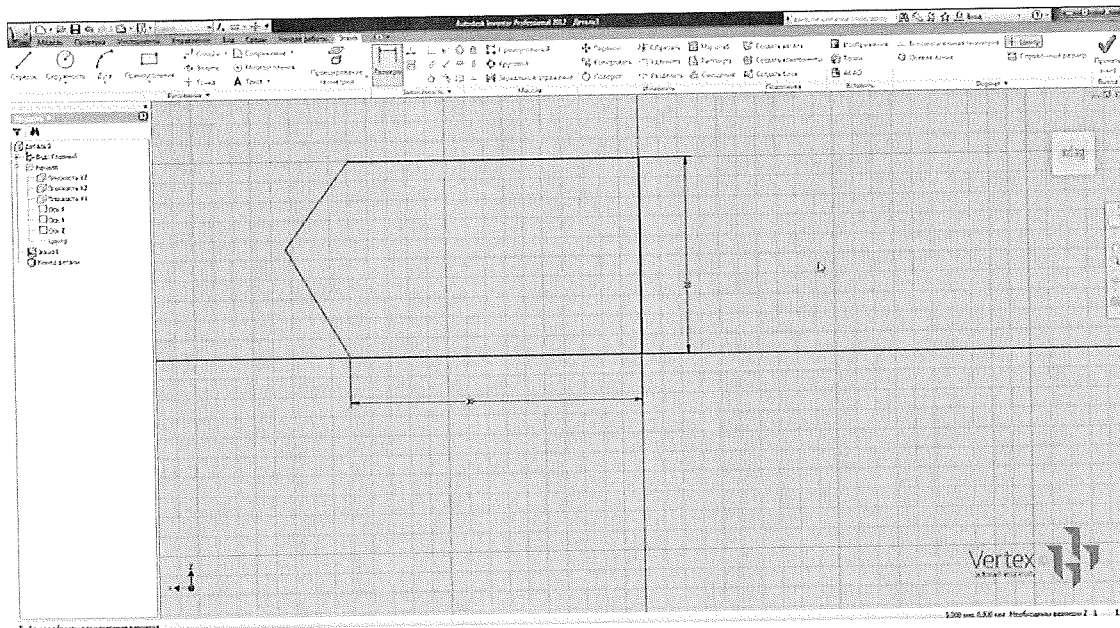
Положение правого и нижнего отрезков — определено. Поэтому они поменяли свой цвет на синий.

Их длина по-прежнему может меняться, т.к. не заданы размерные зависимости.

Зададим размеры для данного эскиза. Выберем функцию «Размер». Размер отрезка можно указывать, нажав на сам отрезок или на его конечные точки:



Укажем размер нижнего отрезка — 30, правого отрезка — 20.



Если мы захотим указать размеры для верхнего отрезка, программа выдаст предупреждение о том, что этот размер будет лишним т.к. существует зависимость равенства верхнего и нижнего отрезков.

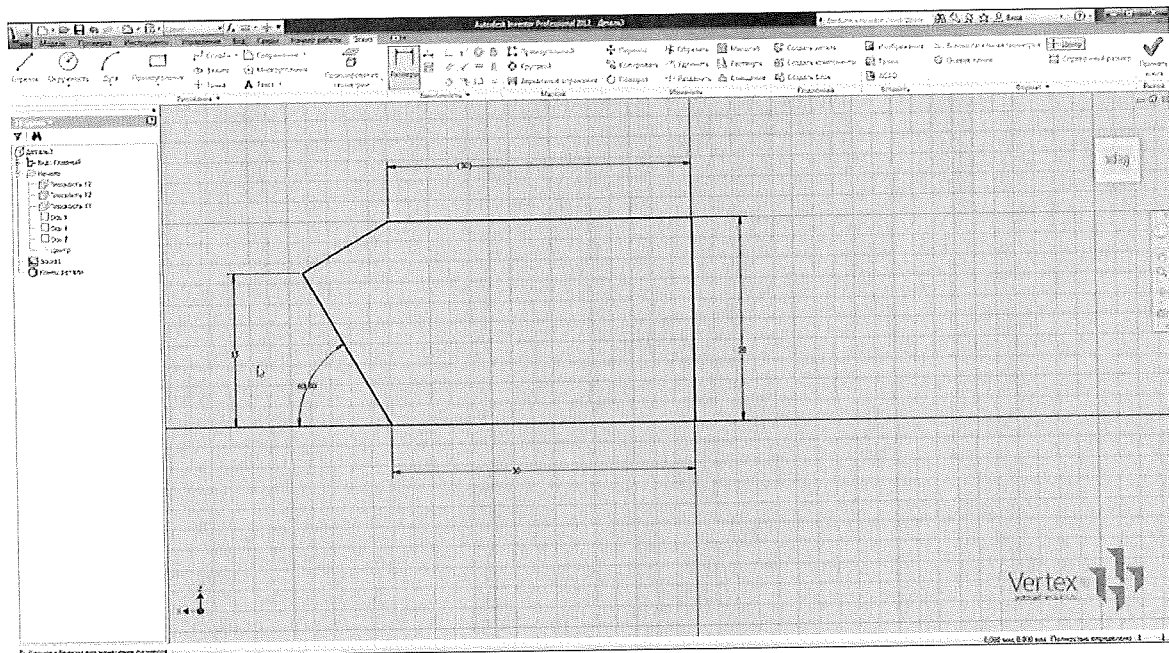
Данный размер может быть проставлен только как справочный.

Итак, зависимости размеров и положения трех отрезков — заданы. Они отображены синим цветом.

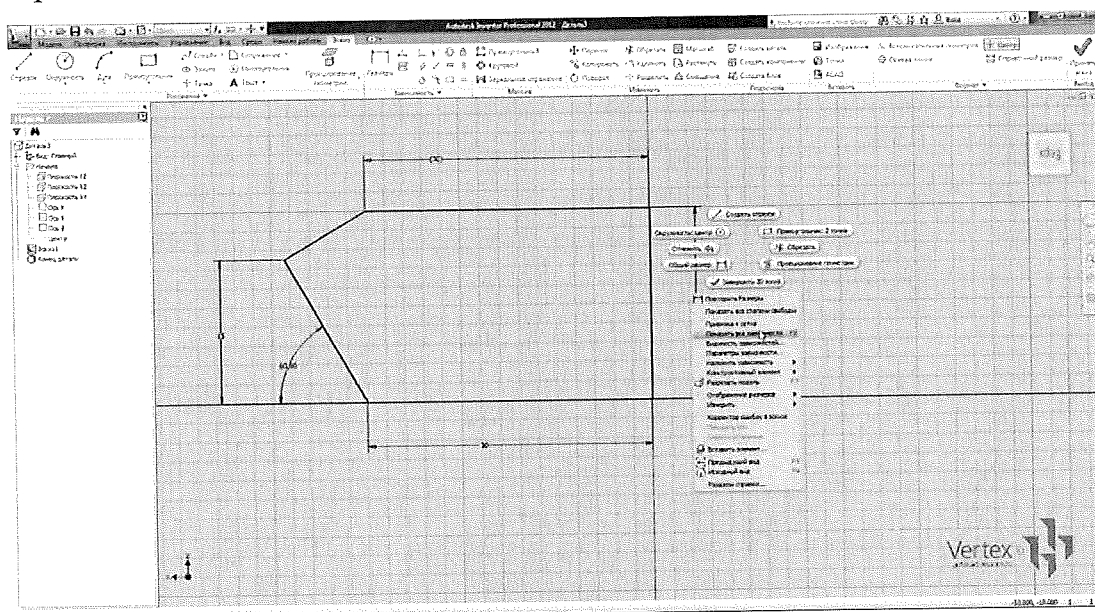
Выберем функцию «Размер» и укажем угол наклона левого отрезка. Для этого нажмем на сам отрезок и на нижний отрезок. Выберем положение угла — слева. Укажем угол — 60° .

Можно также указать размер отрезка по высоте и ширине. А также длину отрезка. Укажем размер по высоте — 15 мм.

Теперь положение эскиза полностью определено и все отрезки выделены синим цветом.

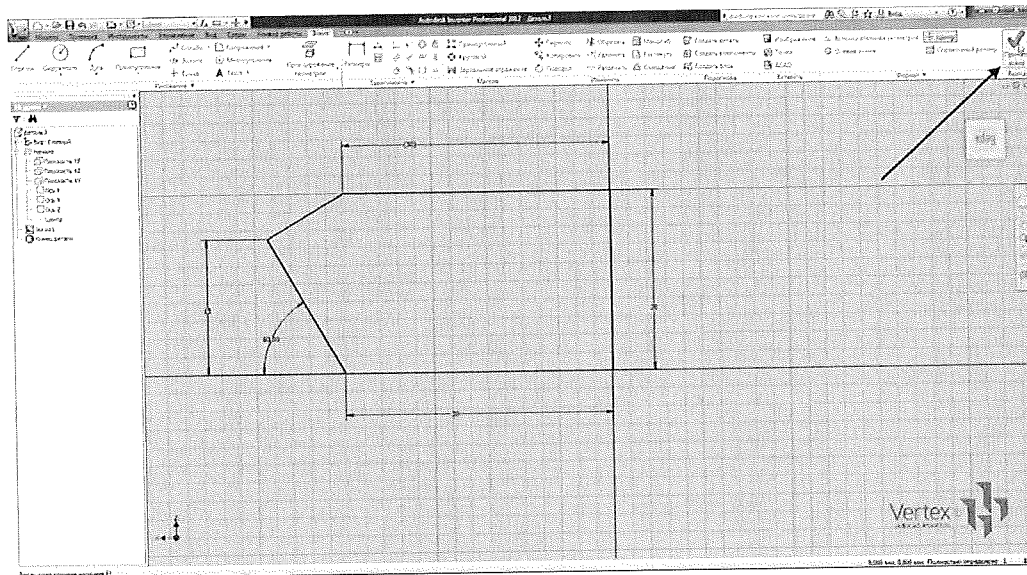


Увидеть все наложенные зависимости можно нажав по свободному месту правой кнопкой мыши и выбрать показать все зависимости:



Также можно скрыть зависимости.

Принимаем эскиз и сохраним файл под именем «Деталь 1».



Закроем этот файл.

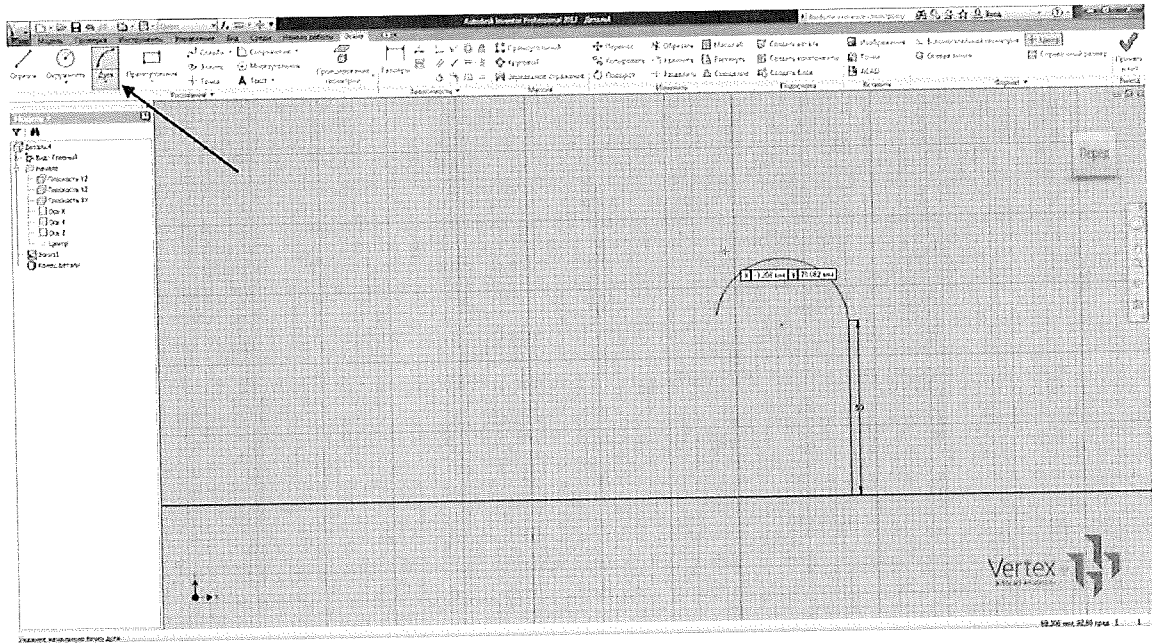
Наложение зависимостей может осуществляться также автоматически.

Создадим новую деталь и создадим эскиз в плоскости XY.

Создадим отрезок. Начало отрезка подведем к началу координат до появления зеленой точки. Это срабатывает привязка «Зависимость совмещения». Вторую точку отрезка визуальное располагаем горизонтально — видим возле курсора мыши знак зависимости горизонтальности. Создаем отрезок.

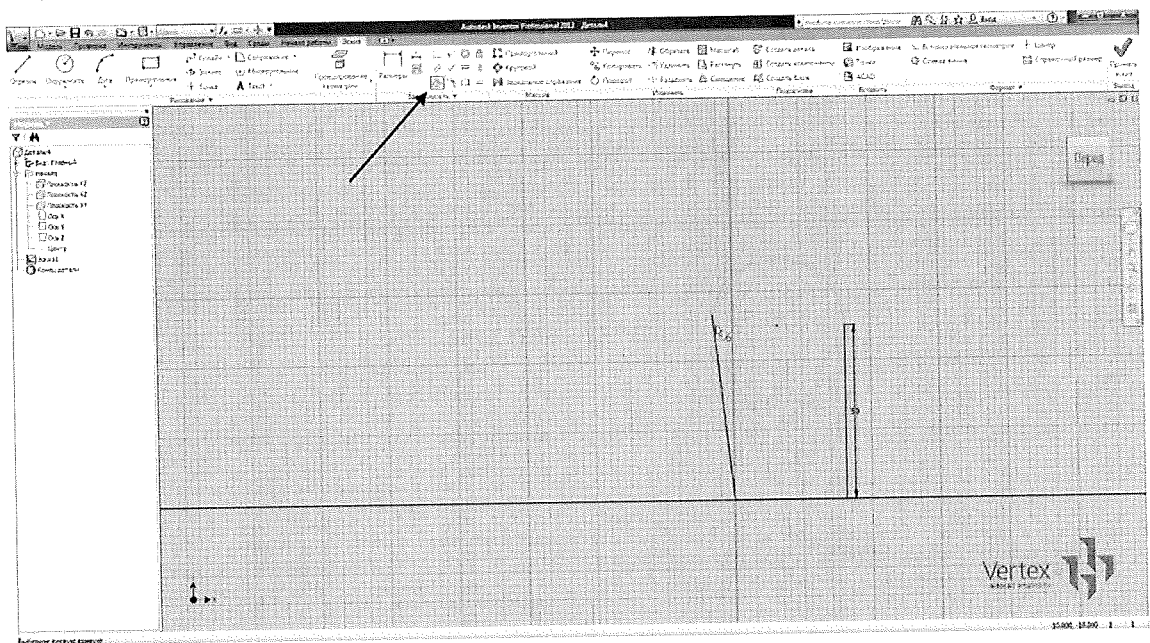
Второй отрезок направим вертикально вверх. Срабатывает привязка вертикальности или перпендикулярности в зависимости от приоритета расстановки зависимостей. Вторую точку не указываем и введем с клавиатуры длину отрезка 50 мм.

Построим дугу, начальная точка которой будет в конце отрезка. При этом указываем начальную точку, конечную точку и радиус.



Замкнем контур отрезком.

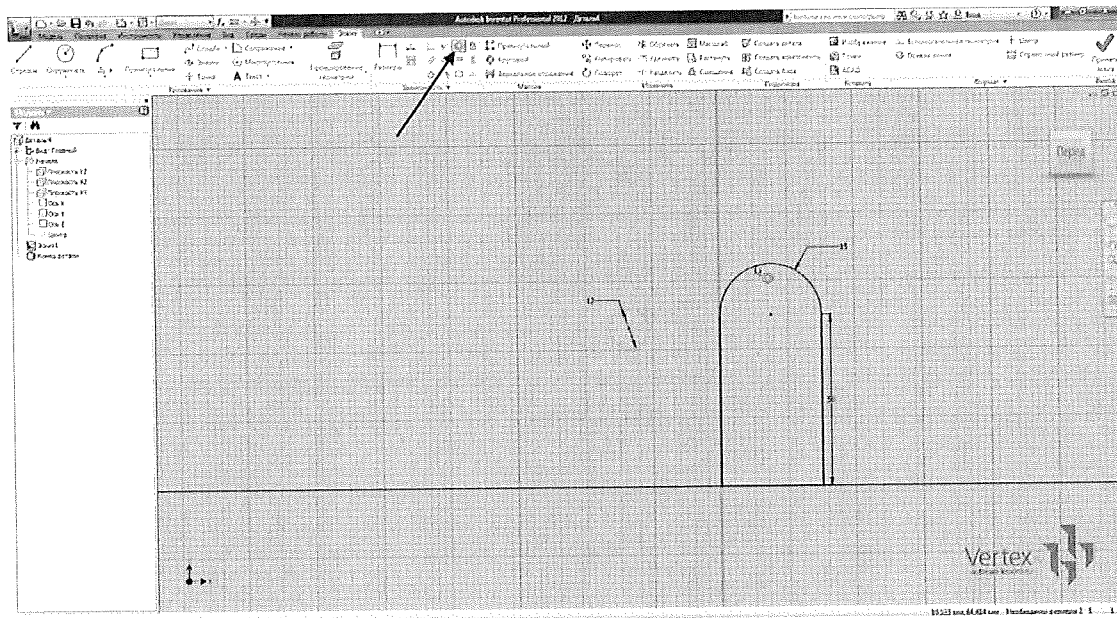
Зададим касательность дуги и смежных отрезков.



Для левого отрезка укажем зависимость вертикальности.

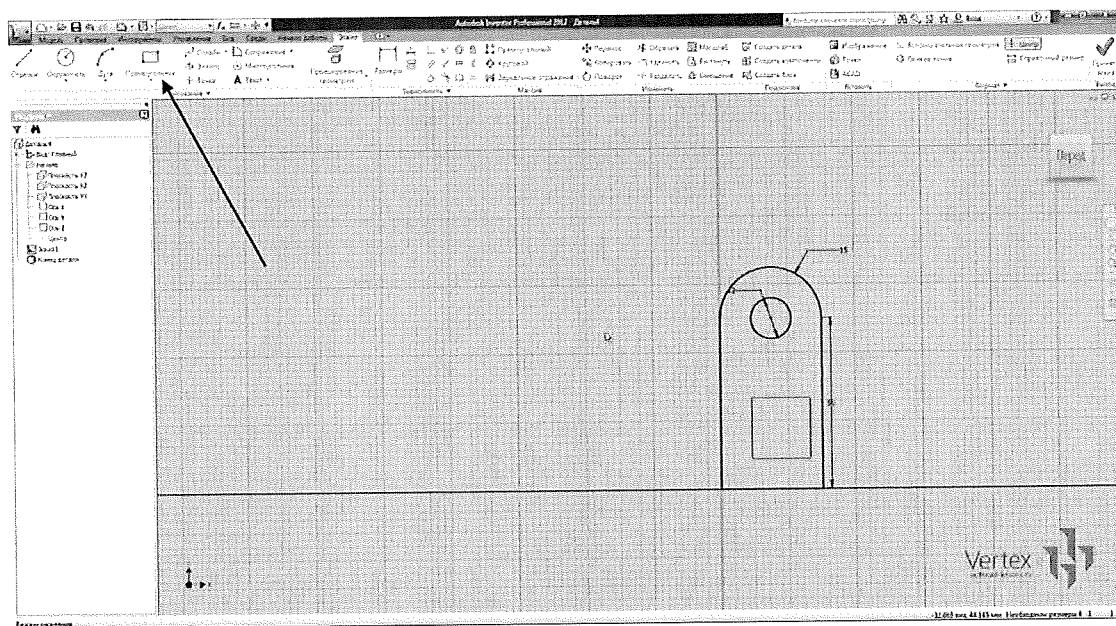
Создадим окружность в произвольном месте диаметром 12 мм — ставим точку центра и указываем с клавиатуры радиус 12 мм, нажимаем Enter.

Зададим ей зависимость концентричности с дугой.



Внутри этого эскиза рисуем прямоугольник.

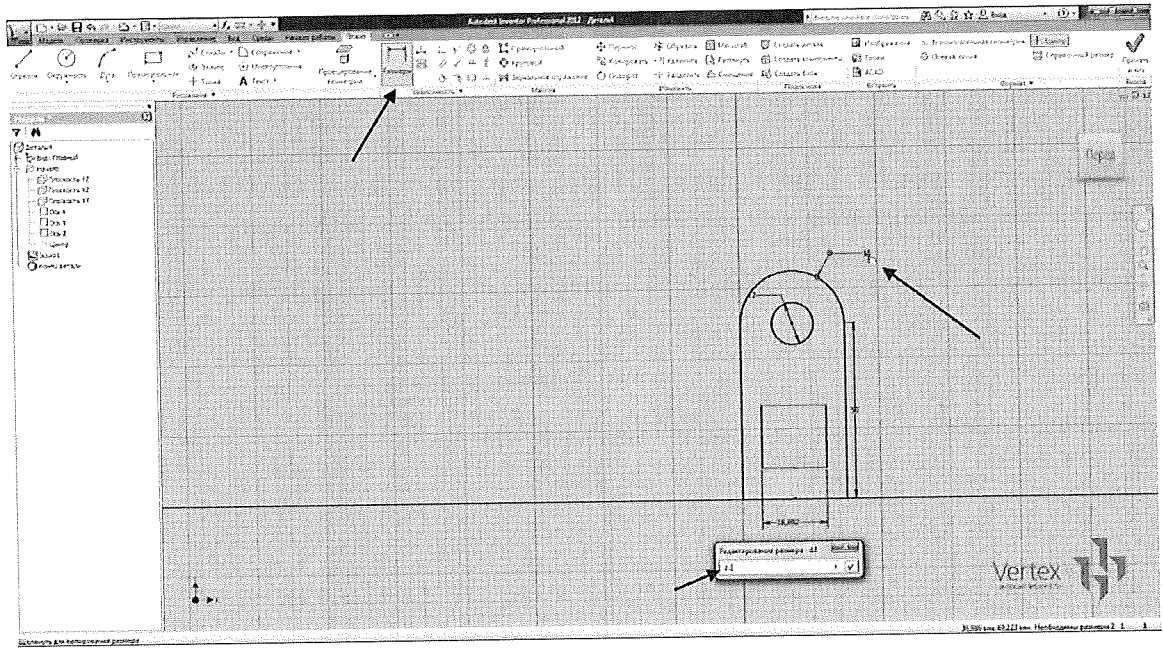
В нем уже созданы зависимости параллельности и равенства противоположных объектов, а также перпендикулярности смежных.



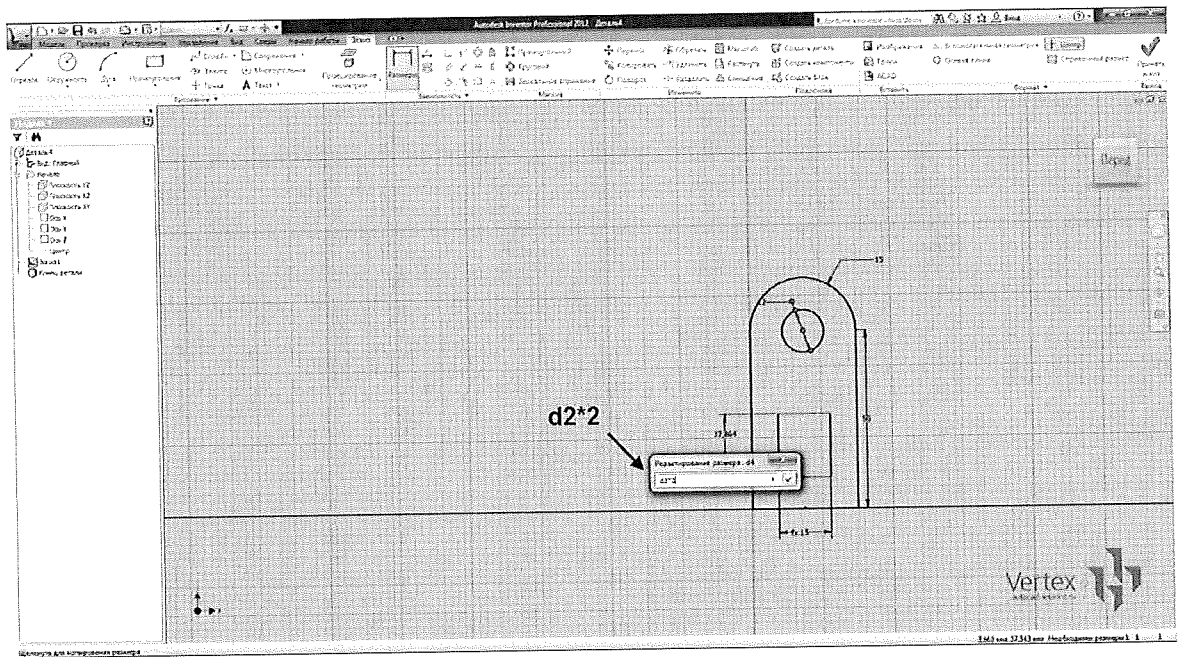
Зададим зависимость вертикальности средней точки прямоугольника и нижнего отрезка. Прямоугольник разместился симметрично эскизу.

В качестве размеров можно указать выражение с использованием других размеров эскиза.

Укажем, что ширина прямоугольника равна радиусу дуги.



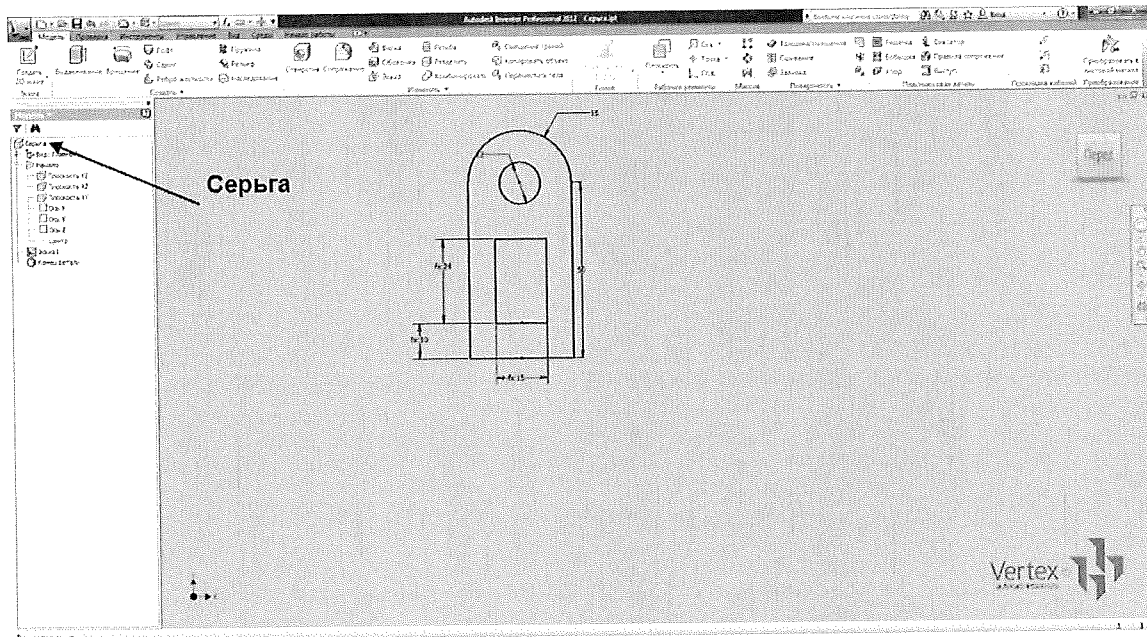
Высоту прямоугольника сделаем равной двум диаметрам окружности:



Укажем расстояние от нижней линии до прямоугольника равной высоте вертикального отрезка, деленной на 5.

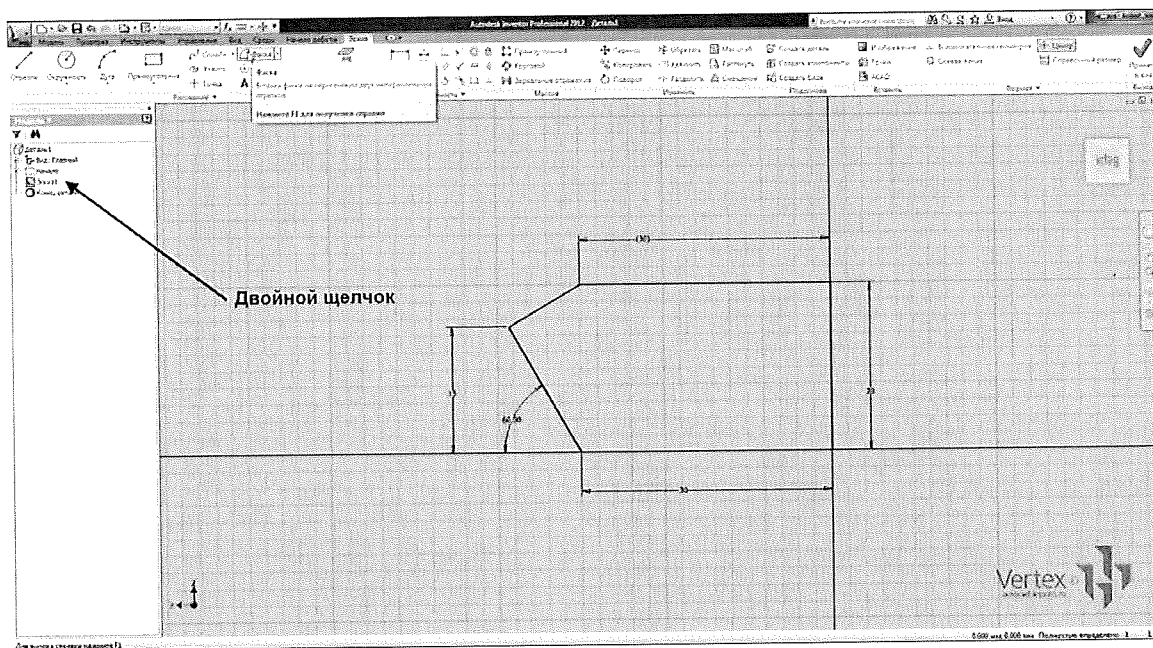
Нажимаем на ленте «Принять эскиз».

Изменим имя детали на «Серьга». И сохраним деталь.

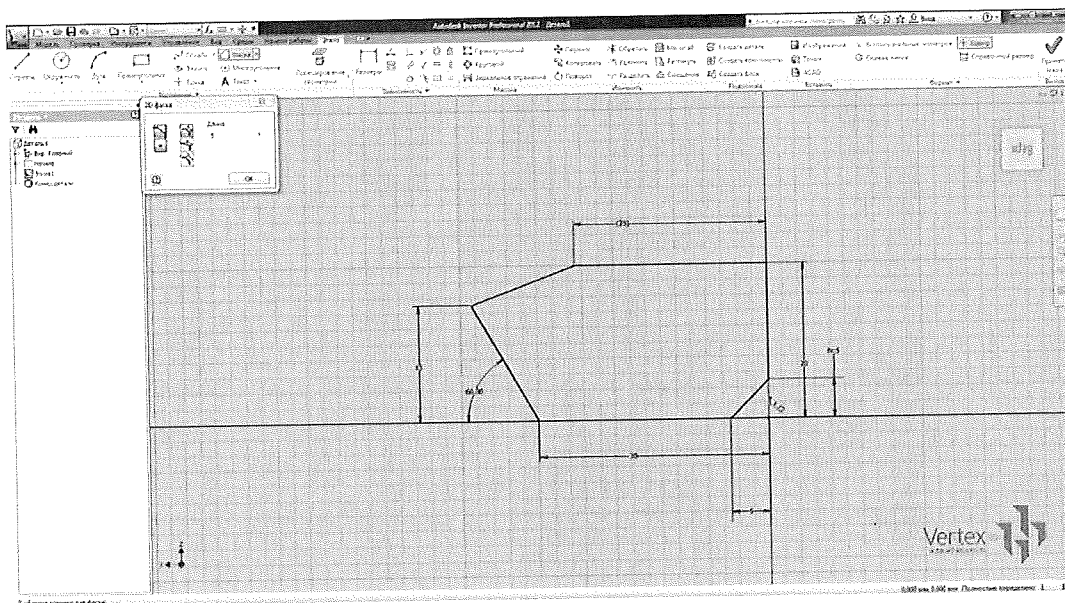


В эскизе можно также выполнять фаски и сопряжения.

Откроем нашу первую деталь «Деталь 1». В браузере сделаем двойной щелчок по эскизу, чтобы он открылся для редактирования. При этом на ленте становится доступно меню эскиза.



Сделаем фаску 5 мм для нижнего правого угла:

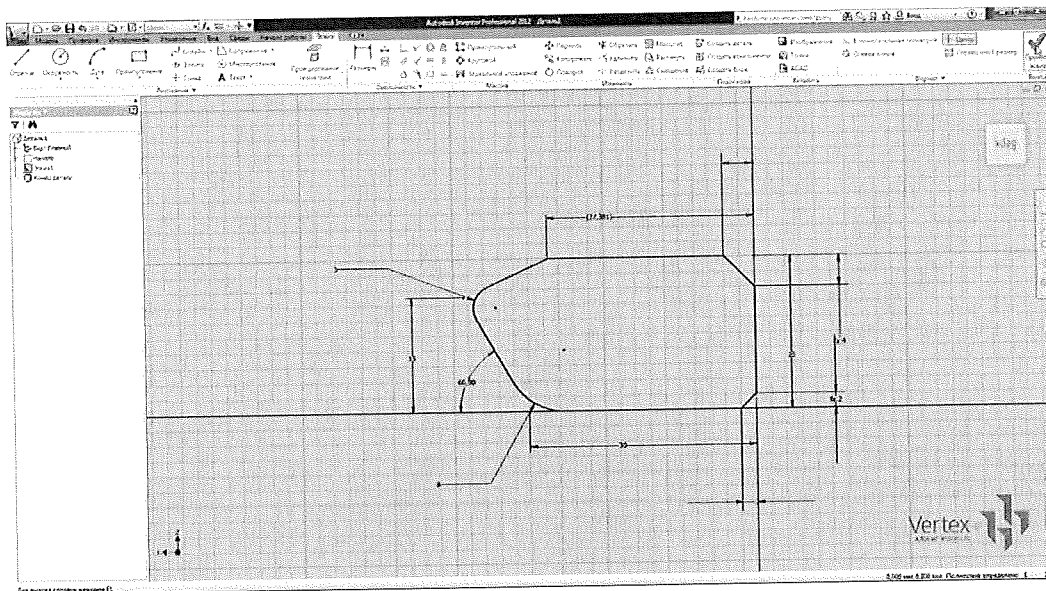


А также фаску 3 мм для верхнего правого угла.

Укажем сопряжение нижнего левого отрезка радиусом 8 мм, а также сопряжение левого отрезка радиусом 3 мм.

Размеры фасок можно редактировать. При этом изменяются два размера, определяющие фаску.

Принимаем эскиз. Сохраним деталь.



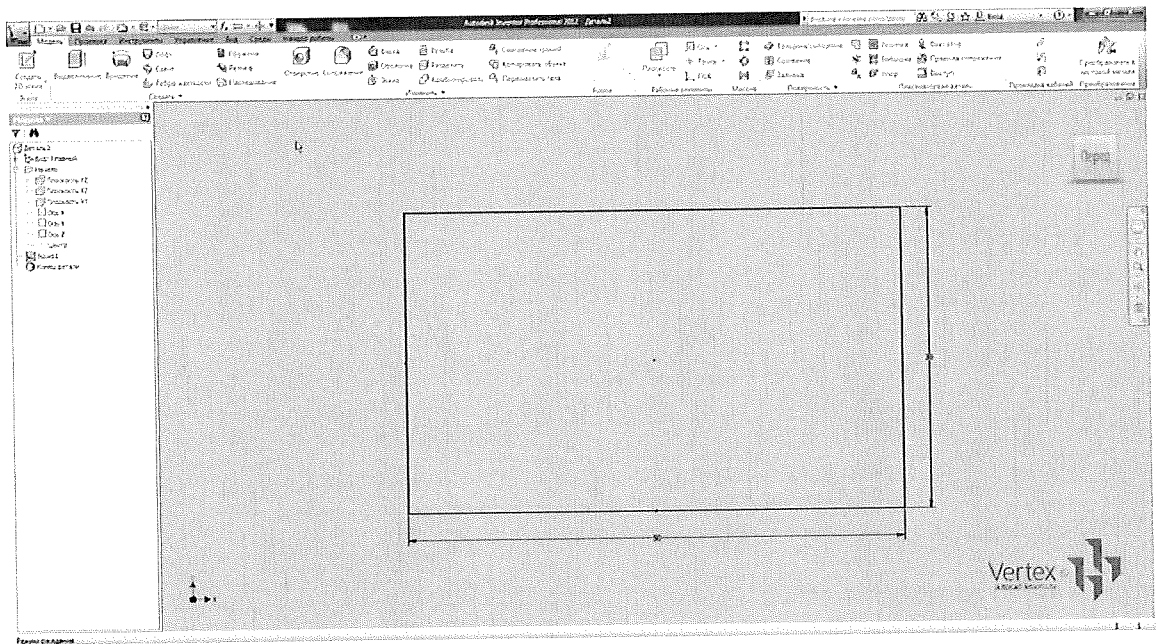
Операции «Выдавливание» и «Вращение»

Для создания твердых тел, основными операциями являются «Выдавливание» и «Вращение». Рассмотрим их.

Создадим новую деталь. Создадим эскиз. В качестве плоскости эскиза выбираем плоскость XY. Создадим прямоугольник со сторонами 50 и 30 мм —

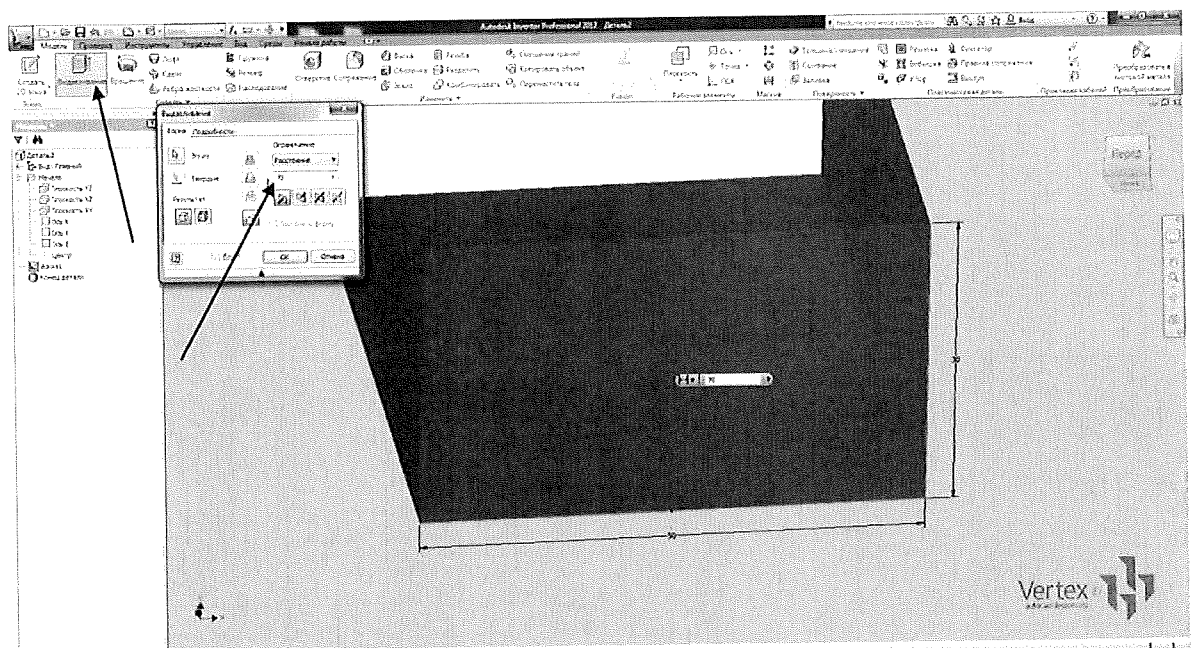
выберем функцию «Прямоугольник», введем с клавиатуры 50, клавиша Tab и 30.

Сделаем прямоугольник симметричным относительно начала координат. Для этого зададим вертикальность середины нижнего отрезка прямоугольника с началом координат и горизонтальность середины левого отрезка с началом координат. Принимаем эскиз.

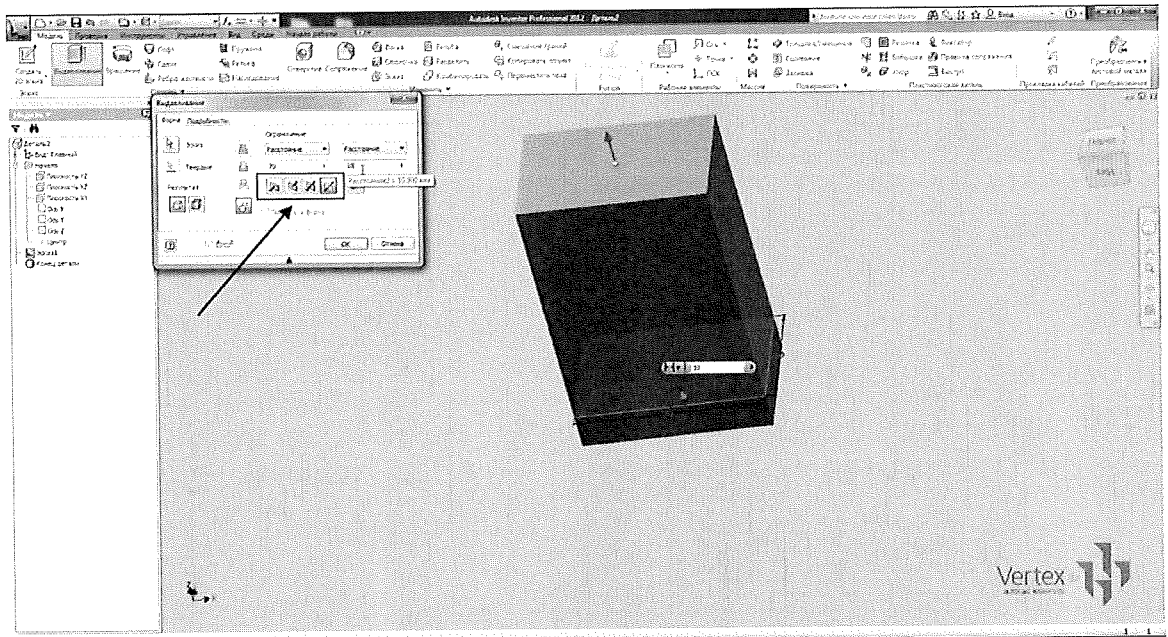


Далее — операция «Выдавливание». В качестве эскиза сразу выберем прямоугольник т.к. это единственная замкнутая фигура.

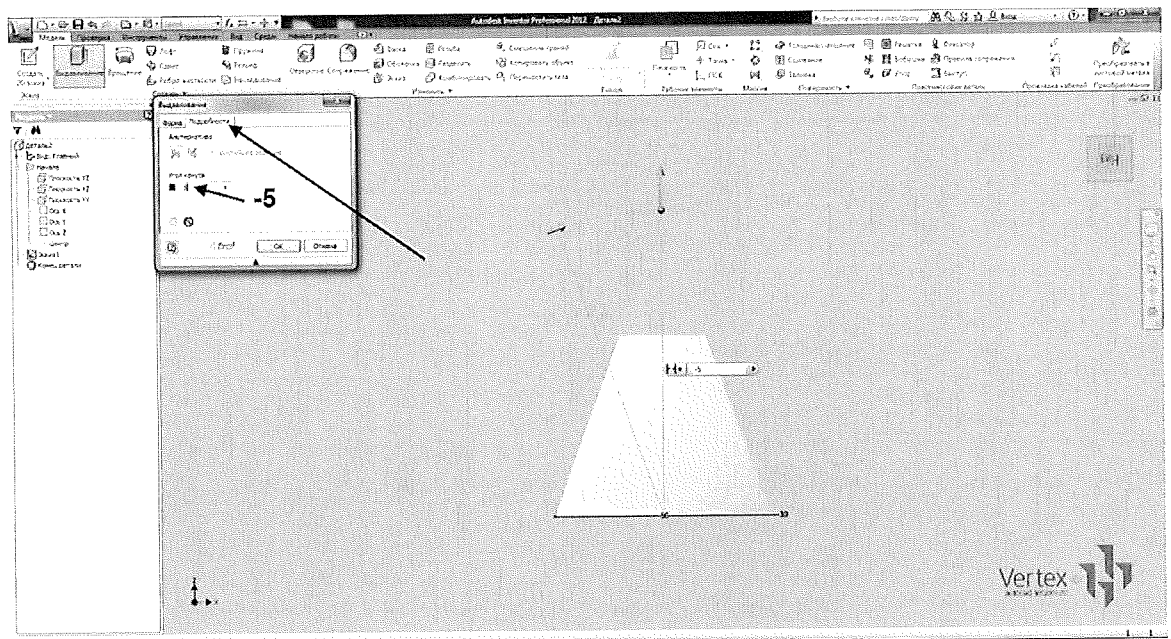
В поле «Расстояние» введем 70.



Можно также указывать направление выдавливания относительно начальной плоскости: вверх, вниз или симметрично, а также асимметрично с вводом расстояния одной из граней.



На вкладке «Подробности» можно ввести угол выдавливания как положительный, так и отрицательный.



Оставим угол — 0° и выдавливание — вверх, расстояние — 70.
Нажимаем Ок.

Сохраним деталь под именем «Деталь 2» и закроем ее.

Откроем уже созданную нами ранее деталь «Серьга».

Выполним операцию «Выдавливание» для нее. Т.к. на эскизе несколько замкнутых контуров, то эскиз автоматически не выбирается. В качестве эскиза можно выбрать каждый замкнутый контур. Исключение контура производится удержанием клавиши Shift или Ctrl.

3.2. Подготовка модели к печати 3D

Откройте файл Inventor. Подготовьте файл к экспорту в формат, совместимый с 3D принтерами службы печати, выбранной вами на веб-странице Autodesk.

1. Прим.: Наличие полостей в модели может привести к непредсказуемым результатам при печати 3D. Для предотвращения появления полостей используйте команду "Внешний контур" перед началом операций печати 3D.

Перед выполнением печати 3D установите в графической области лишь те компоненты, которые должны быть напечатаны.


После настройки файла и запуска задачи печати 3D для включения компонентов становятся доступны два параметра: "Все видимы" и "Выбор":

Все видимы

- Включает все твердые тела, которые находятся в графической области.
- Используйте параметр "Видимость", чтобы определить видимость отдельных компонентов.
- Если данный параметр используется в задании печати 3D, он имеет больший приоритет, чем любые последующие выделения в графической области.

Выбор

- Включает только те твердые тела, которые были выбраны в графической области до начала печати 3D.
- Выбор элементов выполняется независимо от их видимости в графической области.

2. Для просмотра настроек файла экспорта выберите  > "Печать" > "Предварительный просмотр 3D".

Закройте окно предварительного просмотра для выполнения дальнейших настроек. Если все требуемые настройки выполнены, можно начинать печать 3D.

3. На панели инструментов "Предварительный просмотр в 3D" выберите "Отправить в службу печати 3D".

Открывается окно диалога "Отправить в службу печати 3D", где можно установить параметры и сохранить экспортируемый файл для печати.

4. Разработка узла для дальнейшей установки на БПЛА

Цель

Создание инструмента, облегчающего пилоту тестирование программ управления автономным полётом БПЛА, позволяющего контролировать всю информацию на любой точке трассы.

Предлагается создать компьютер с креплением на руке и дополнить им стандартный набор устройств управления БПЛА (радиопульт и ноутбук) при тестировании управляющей программы.

Задачи

1. Создать проектную команду.
2. Продумать ресурсное обеспечение.
3. Проанализировать имеющиеся решения проблемы в профессиональной области управления БПЛА.
4. Разработать и собрать прототип устройства.
5. Установить и настроить подобранное ПО.
6. Протестировать программу управления на натуральных испытаниях с использованием стандартного набора устройств управления дроном и набора, дополненного наручным компьютером.
7. Сравнить результаты испытаний.

Оснащение и оборудование, использованное при создании работы

- БПЛА типа квадрокоптер «Clever 3»
- 3D-принтер и материал для печати
- Персональный компьютер с установленными на него программами («Autodesk Inventor 2020», «Cura 4.4.0» для подготовки модели для печати; «Etcher» для работы с образом ОС; «Termius» для удалённой работы с БПЛА и программа «QGroundControl» для настройки систем БПЛА)
- Комплектующие наручного компьютера

Описание

Авторы разработали прототип наручного компьютера, которым дополняется стандартный набор устройств управления БПЛА. Это решение позволяет пилоту более удобно и быстро отслеживать информацию, получаемую с дрона, быть более мобильным и сосредоточенным на самом полёте.

Были проведены натурные испытания, проанализированы результаты. Испытания засняты на видео. Анализ полученных результатов тестирования показал перспективность предложенного прототипа.

Этапы работы над проектом

Этап 1. Осмысление личного опыта участия в конкурсах в компетенции «Эксплуатация беспилотных авиационных систем»: формулирование проблемы, цели и задач для её воплощения.

Этап 2. Анализ ситуации в профессиональной области управления БПЛА: анализ существующих решений, обоснование актуальности проекта, определение потребителей результата проекта.

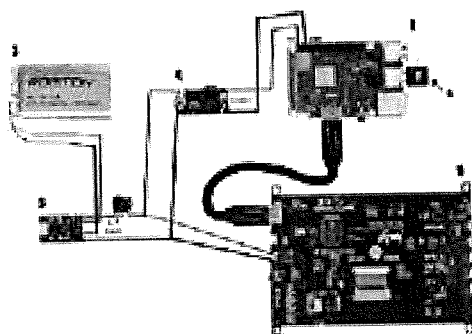
Этап 3. Выработка концепции предлагаемого устройства. Требования к разрабатываемому устройству:

малый вес устройства (не более 350 гр.); удобство и надёжность крепления на руке;

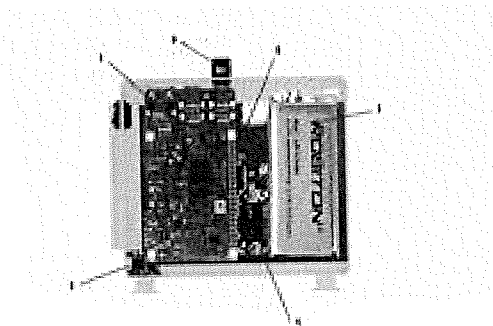
необходимая функциональность (на уровне стандартного набора управления БПЛА); хорошая читаемость на комфортном расстоянии (~ 60 см);

ёмкость батареи, необходимая для выполнения полётного задания (более 1 ч.); уверенный приём сигнала БПЛА на расстоянии, необходимом для выполнения полётного задания (min 20 м).

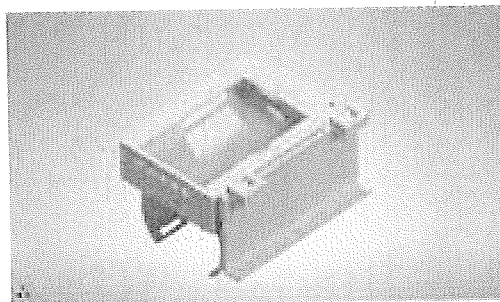
Электрическая схема, компоновка комплектующих, моделирование и печать корпуса



Электрическая схема



Компоновка комплектующих



Корпус

Этап 4. Разработка решения:

- разработка и сборка схемы устройства;
- разработка и создание:
- 3D-модели корпуса устройства, 3D-печать корпуса;
- крепления устройства к руке;
- сборка устройства.

Этап 5. Подбор устройств, материалов и ПО (см. пункт 9 описания).

Этап 6. Установка ПО и тестирование действующего прототипа:

- установка и настройка подобранного ПО;
- подбор полётного задания;
- тестирование программы управления на натуральных испытаниях с использованием стандартного набора устройств управления дроном и набора, дополненного наручным компьютером;

- сравнение результатов испытаний.

Результаты работы/выводы

Разработанный прототип наручного компьютера позволяет решить проблему обеспечения удобного и быстрого доступа ко всей информации от аппарата при пилотировании, способствует уменьшению времени выполнения полётного задания.

Перспективы использования результатов работы

В результате проектной работы — создании наручного компьютера для управления дроном — заинтересованы операторы, занимающиеся тестированием программного обеспечения БПЛА.

В рассматриваемом конкретном случае разрабатываемый наручный компьютер может быть использован в тренировочном процессе подготовки к конкурсам в компетенции «Эксплуатация беспилотных авиационных систем».

Предлагаемое решение должно уменьшить время выполнения полётного задания.

5. Основы работы в программном обеспечении для печати деталей в формате STL

5.1. Введение в Cura 3D

В сущности, всё, что из себя представляет Cura 3D, программа для печати, — это инструмент для получения в компьютере цифрового файла для 3D-принтера в таком формате, который понимает аппаратура 3D-печати.

Если сравнивать Cura 3D с другими программами-слайсерами, то она кажется очень простой, с ограниченными возможностями и настройками. Однако более сложные настройки, если они вам нужны, имеются — они просто очень хитро спрятаны.

Cura 3D поддерживается разработчиком 3D-принтеров Ultimaker, а эта фирма славится своим перфекционизмом в оборудовании. В программе скрыты (но не слишком глубоко) практически все настройки и параметры,

которые можно найти в большинстве аналогичных приложений. Поэтому, если вы из тех, кому нравится копаться в настройках, вы можете этим заняться.

Если нужно просто печатать, изменять качество и скорость, в Cura 3D эти параметры аккуратно выставлены напоказ, и всё готово к работе.

Данный учебник предназначен для всех, кто только начинает заниматься 3D-печатью. Давайте предположим, что вы только что включили принтер и заправили филамент. С этого момента мы поможем вам начать работать с Cura 3D и приступить к 3D-печати.

Что такое Cura 3D?

Cura 3D — это программа-слайсер для 3D-принтеров, которая берет 3D-модель и нарезает ее (slice) на слои, чтобы получить файл, известный как G-Code, в котором содержатся коды, которые понимает 3D-принтер.

Перед тем как мы посмотрим на Cura 3D, давайте немного остановимся на процессе печати в плане 3D-файлов и как они подготавливаются. Речь идет о преобразовании компьютерного файла в трехмерный объект, а это может быть непонятным. Поэтому полезно получить представление о том, что происходит, даже если вам не требуется проделывать этот первый шаг.

Существует три основных этапа подготовки файлов для 3D-печати.

1. **Моделирование.** Оно проводится в программах для 3D-моделирования, таких как 123D Design или SketchUp, — и это только два примера из множества существующих. У этих приложений собственные форматы файлов, эти программы позволяют открывать, редактировать, сохранять и экспортировать данные.

2. **Экспорт 3D-файлов.** После того как вы создали модель, ее нужно экспортировать либо в STL-, либо в OBJ-файл. Эти форматы понимает Cura 3D. Они отличаются от форматов приложений для 3D-моделирования, поскольку описывают только конечную геометрию, без индивидуальных параметров и редактируемого содержания.

3. **Экспорт файлов послойной нарезки.** После этого файл STL или OBJ может быть импортирован в Cura 3D, где он нарезается и

преобразовывается в послойную структуру, называемую G-Code, являющийся по сути просто текстовым документом, содержащим список команд для 3D-принтера, которые принтер читает и выполняет: это температура хот-энда, такое-то перемещение влево, такое-то перемещение вправо и т.д.

Данный этап процесса предполагает 3D-моделирование, но если ваши умения в этом деле невелики, можно обратиться к таким сайтам, как Thingiverse или Youmagine, и скачать себе какую-нибудь из миллионов уже подготовленных к печати моделей. Обычно они предлагаются в формате STL и готовы к непосредственному импортированию в Cura 3D.

10 каталогов с моделями для 3D-принтера — подборка из качественных моделей

Что делает программа Cura?

Cura 3D нарезает 3D-модели. Она переводит 3D-файлы STL или OBJ в формат, который понимает принтер. 3D-принтеры, работающие по технологии FFF (Fused filament fabrication — наплавление расплавленной нити), создают 3D-объекты, печатая их послойно. Cura 3D берет 3D-модель, преобразует ее в слои, которые будут выкладываться на рабочий стол, и создает набор инструкций для принтера — как он должен работать, слой за слоем.

Эти инструкции и есть G-Code, текстовый документ с расширением .gcode. Если открыть такой файл и посмотреть, что в нем, то можно увидеть довольно много кода и даже разобраться, какие именно инструкции передаются принтеру.

По мере того как вы всё больше станете разбираться в 3D-печати, вы сможете научиться редактировать этот код, вручную изменяя скорости вращения вентилятора охлаждения, толщину слоев и температуру хот-энда в разных точках модели. Это может пригодиться для того, чтобы решить некоторые проблемы, которые могут возникнуть при 3D-печати.

Поскольку у каждого принтера своя система настроек, рабочая область, рабочий стол и размер сопла, программе Cura 3D нужно знать эти аппаратные параметры, составляющие профиль устройства, чтобы рассчитать точный набор инструкций для корректной печати на вашем принтере.

После того как заданы эти основополагающие параметры, а также указан тип филамента, можно указать толщину слоя и толщину нити. Далее производится вычисление контуров и траектории перемещения сопла для печати вашей модели и рассчитывается набор инструкций, которые Cura 3D сохраняет в файле G-Code.

G-Code можно сохранить на SD-карту или направить на принтер — по беспроводной связи или по кабелю.

Основные проблемы и дефекты 3D-печати, и как с ними бороться

5.1.1. Основы

На первом уроке вы научитесь основам работы с Cura 3D, от ее загрузки и установки — до оптимизации ваших STL- или OBJ-файлов для подготовки их к экспорту в готовые к печати файлы G-code.

5.1.2. Установка

Cura 3D — программа мультиплатформенная, для нее предлагаются инсталляторы под Linux, Mac и PC. Все версии можно бесплатно загрузить на [сайте Ultimaker](#).

Скачайте файл под вашу операционную систему и запустите установку. В данном учебнике по Cura 3D мы работаем с версией 2.3.1.

1. Запустите Cura 3D.

2. Выберите модель вашего принтера. При первом запуске Cura 3D вас попросят выбрать принтер. Если у вас Ultimaker или Lulzbot, то к ним прилагается спецверсия Cura 3D. Если нет, или если вы хотите сконфигурировать новый принтер, то после запуска приложения выберите Settings > Printer.

Теперь предстоит выбрать принтер. Если вы скачали программу по приведенной выше ссылке, то все предлагаемые принтеры будут Ultimaker.

Для любого другого принтера выберите Other, и, если повезет, в списке окажется и ваш аппарат.

Если не повезет — то, как, например, в случае с принтером Lulzbot, отправляйтесь на сайт производителя принтера, где вы можете найти и скачать специальную версию программы. Если и тут мимо — выбирайте Custom и Add Printer.

Теперь перед вами экран Add Printer (Добавить принтер), и тут вам потребуются подробности про ваше конкретное устройство. Эти подробности можно найти на сайте производителя, или же, если принтер вы построили сами, вы должны знать их наизусть.

Machine Settings

Please enter the correct settings for your printer below:

Printer Settings			Printhead Settings		
X (Width)	100	mm	X min	20	mm
Y (Depth)	100	mm	Y min	10	mm
Z (Height)	100	mm	X max	10	mm
			Y max	10	mm

Heated Bed
 Machine Center is Zero

GCode Flavor: RepRap (Mar...)

Start Gcode

```
G28 ;Home
G1 Z15.0 F6000 ;Move the platform down 15mm
;Prime the extruder
G92 E0
G1 F200 E3
G92 E0
```

End Gcode

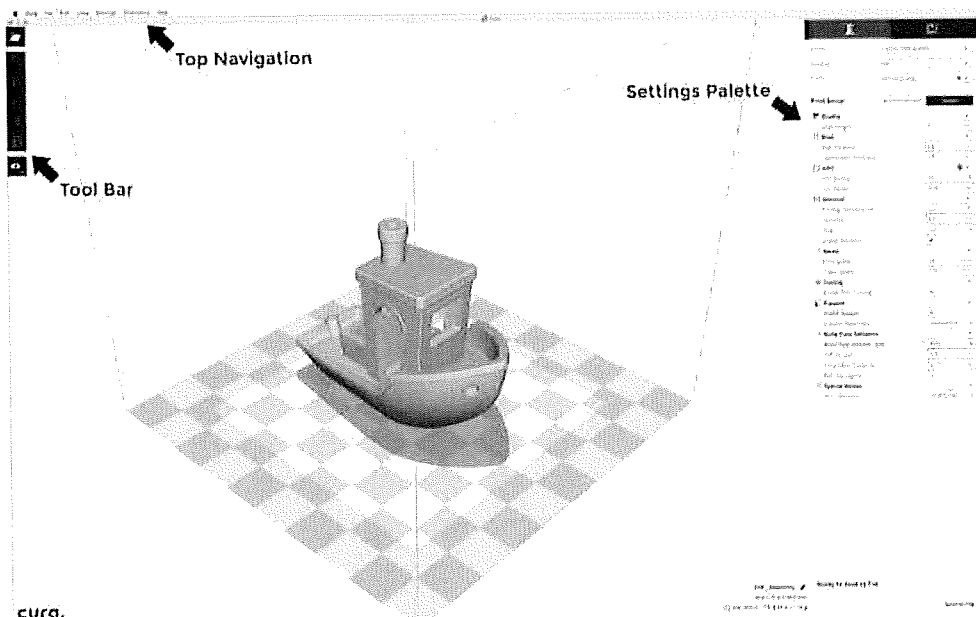
```
M104 S0
M140 S0
;Retract the filament
G92 E1
G1 E-1 F300
G28 X0 Y0
M84
```

Close

Просто введите эти данные и нажмите Finish.

5.1.3. Краткий обзор интерфейса Cura 3D

На этом скриншоте показаны основные параметры интерфейса Cura 3D.



Верхняя навигация Cura 3D

1. **Open file.** Открыть STL- или OBJ-файл можно, выбрав наверху слева команду File > Open File.
2. **Edit.** Это для редактирования моделей на рабочем столе, удаления их с него, для слияния моделей. Базовые, но полезные команды.
3. **View Mode.** Этот пункт меню позволяет переключаться между режимами просмотра: Solid, X-Ray, Layers.
4. **Settings.** Здесь живут настройки принтера и параметры материала.
5. **Extensions.** Это для продвинутых пользователей, которым требуется установить расширения Cura 3D, позволяющие ручное редактирование G-code и много чего еще.
6. **Help.** Помощь, ясное дело.

Левая панель инструментов Cura 3D

1. **Open File.** Загрузка STL или OBJ для подготовки их к печати.
2. **Move.** Если сюда кликнуть, вокруг выбранной модели появятся стрелочки, позволяющие перемещать ее по рабочему столу.
3. **Scale.** Увеличить или уменьшить размер вашей 3D-модели.
4. **Rotate.** Вращение.

5. **Mirror.** Если кликнуть — вокруг выбранной модели появятся стрелочки, при нажатии на которые модель зеркально отражается по соответствующей оси.

6. **Select Settings.** Выбор часто используемых настроек для выноса их на боковую панель (толщина стенки, заполнение, скорость). Привязано к загруженной модели.

7. **View Mode: Solid, X-Ray и Layers.** Если выбрать Layers, появится слайдер, позволяющий быстро пролистывать слои модели.

Правая панель инструментов Cura 3D

Она разделена на две секции, помеченных сверху иконками материала (Printing settings) и принтера (Printer settings).

Printer Settings

В этой секции представлена подробная информация по материалу и настройкам качества печати.

Printer. Здесь речь идет о выбранном в первом шаге принтере. Если у вас более одного принтера, то нужный выбирается из выпадающего меню.

Material. Быстрый выбор материала, используемого принтером. Эта опция используется для принтеров, у которых имеются привязанные к ним материалы, она недоступна, если такой функции нет.

Profile. Ultimaker поставляется с тремя профилями качества печати: Low, Normal и High. Их можно быстро выбрать в выпадающем меню. Когда вы ближе познакомитесь с программой, принтером и процессом печати, вы сможете сами создавать профили, которые лучше подстроены под тип печатаемого объекта и модели.

Print Setup. Два варианта настройки процесса печати: Simple (Recommended (Mac)) и Advanced (Custom (Mac))

Simple

(Recommended)

Режим Simple (Recommended) вычисляется на основании ранее введенных вами настроек Cura 3D для вашего принтера. Это отличный выбор не только для начинающих, но даже и для более продвинутых пользователей, когда они

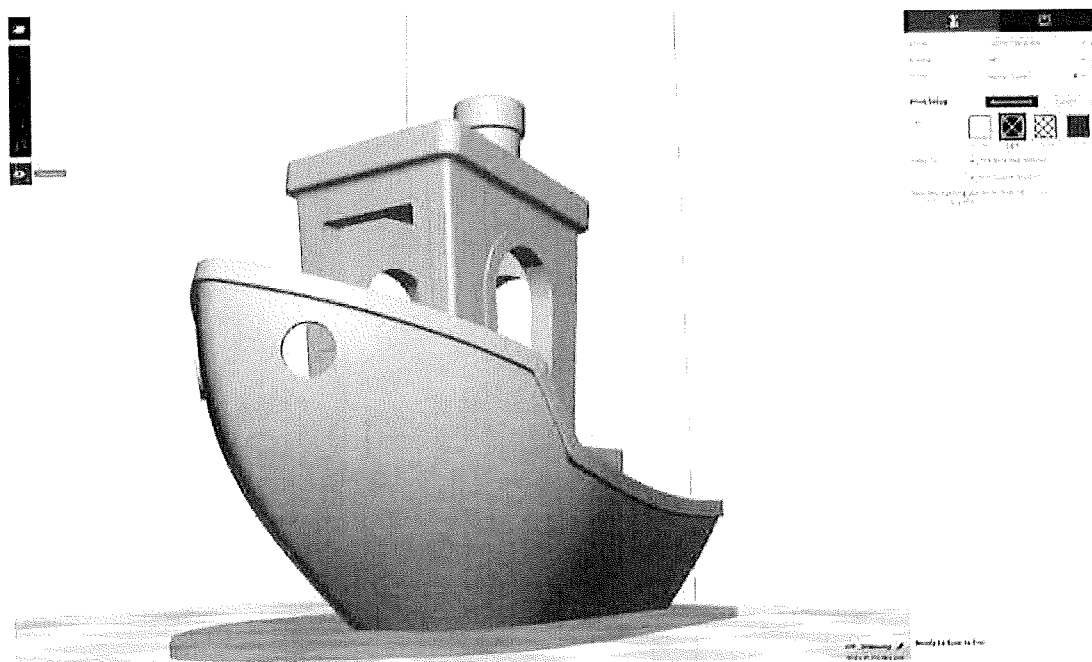
только приступают к работе с новым принтером и хотят увидеть, как взаимодействуют программа и аппарат. Число настроек здесь ограничено: можно быстро изменить заполнение, сцепление со столом и основные структуры подпорок.

Advanced

(Custom)

Тут-то и начинается настоящее веселье! Можно менять массу настроек принтера – от качества печати до скорости. Мы рассмотрим эти возможности немного позже.

Работа с моделью в Cura 3D



Теперь вы познакомились с интерфейсом Cura 3D, и пора приступать к загрузке 3D-файла. Вы можете выбрать либо самостоятельно созданную модель и экспортированный из нее STL- или OBJ-файл, либо скачать его.

Загрузка 3D-файла в Cura 3D

1. Откройте нужный STL- или OBJ-файл, выбрав наверху слева команду File > Open File. В данном случае мы работаем с 3DBenchy – отличной моделью для тестирования нового принтера или программы.

2. Модель загружена, и давайте посмотрим на ее расположение, не требуется ли его сместить. Если все в порядке, модель будет подсвечена желтым. Если есть проблемы, подсветка будет серой, а Cura 3D подскажет, почему модель не может быть напечатана.

Первое, что надо сделать, — это проверить печатаемый объект и убедиться, что он помещается на рабочем столе, т.е. на платформе печати. Тут будет нелишним познакомиться с режимами просмотра модели и с навигацией в окне Cura 3D.

Перемещение рабочего стола Cura 3D. Чтобы переместить рабочий стол по экрану, удерживайте Shift и левую кнопку мыши. Это часто бывает полезно, чтобы рассмотреть модель поближе и проверить какие-нибудь мелкие детали — просто чтобы убедиться, что все в порядке и в той части объекта, которая из-за масштабирования не помещается на экран.

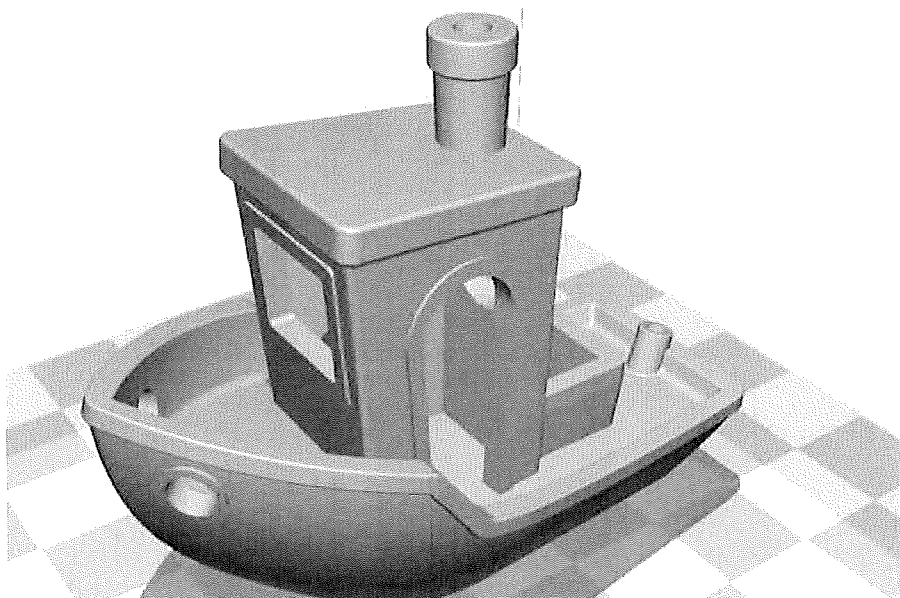
Вращение вокруг рабочего стола Cura 3D. Удерживайте Ctrl и левую кнопку мыши. Так можно посмотреть на модель под разными углами.

Увеличить или уменьшить рабочий стол. Это делается колесиком мыши. Если у вас мышь без колесика, настоятельно рекомендуется приобрести с колесиком.

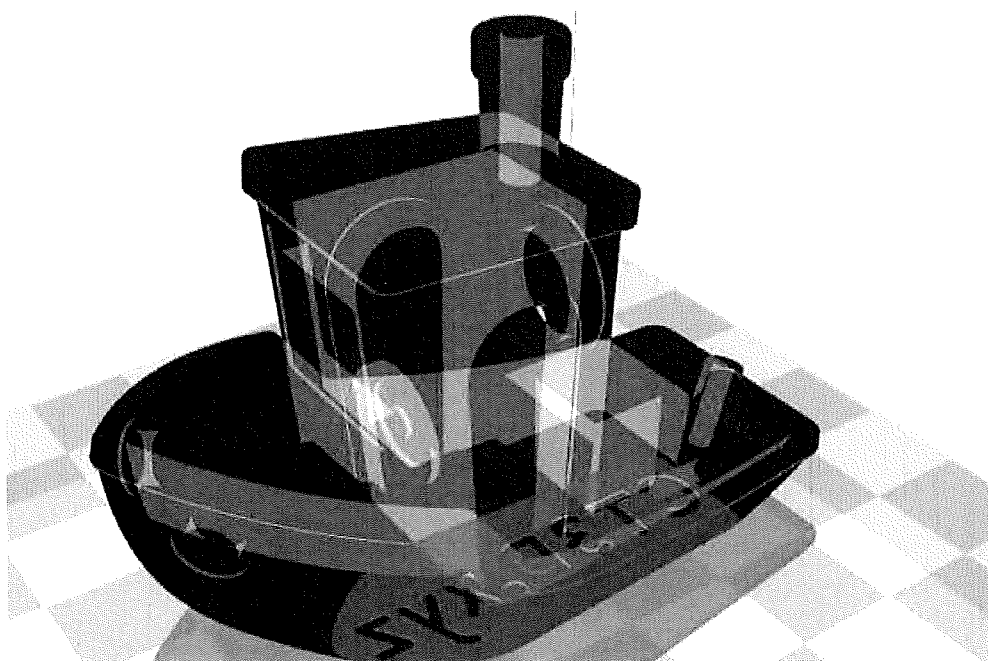
Различные режимы просмотра модели

В Cura 3D есть три основных режима просмотра модели, каждый из которых полезен в различных ситуациях, особенно если возникают проблемы при печати.

Solid. Это (сплошной) режим по умолчанию, который позволяет увидеть модель так, как он будет выглядеть в итоге. Здесь можно понять соотношение размера и формы модели и рабочего стола. Обычно, если все нормально, а вы просто рассматривали модель со всех сторон и перспектив, все должно отлично напечататься.

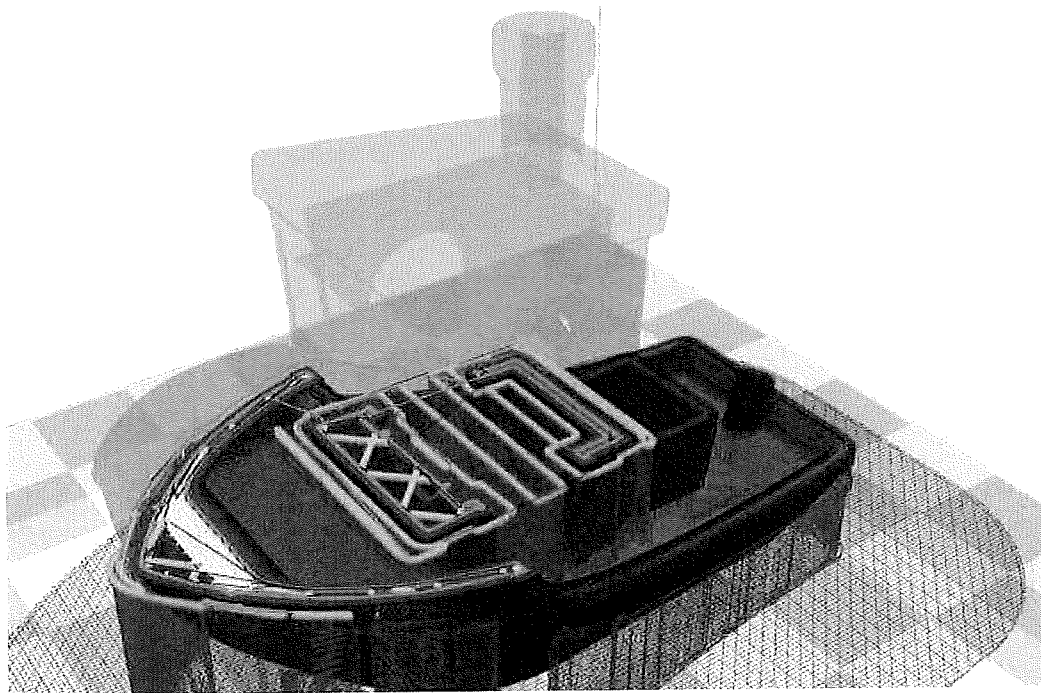


X-Ray (Рентген). Эта опция пригодится тогда, когда с печатью какие-то проблемы и нужно быстро посмотреть на внутреннюю структуру объекта. Особенно такой режим полезен, если у вашего объекта есть пересекающиеся ребра. X-Ray (т.е. «рентген») позволит увидеть проблемные места.



Layers (Слой). Если печать постоянно прерывается на одном и том же месте, или если у вас какая-то хитрая деталь, и вы хотите убедиться, что все идет как надо, переключитесь на этот (послойный) режим. Тонкое перемещение по слоям осуществляется стрелочками; можно также воспользоваться слайдером. Когда вы продвинетесь в изучении программы и процесса печати, эта опция пригодится, чтобы точно выбирать слои, в которых

требуется изменение G-code для, например, увеличения скорости работы вентилятора, толщины слоя или нити.

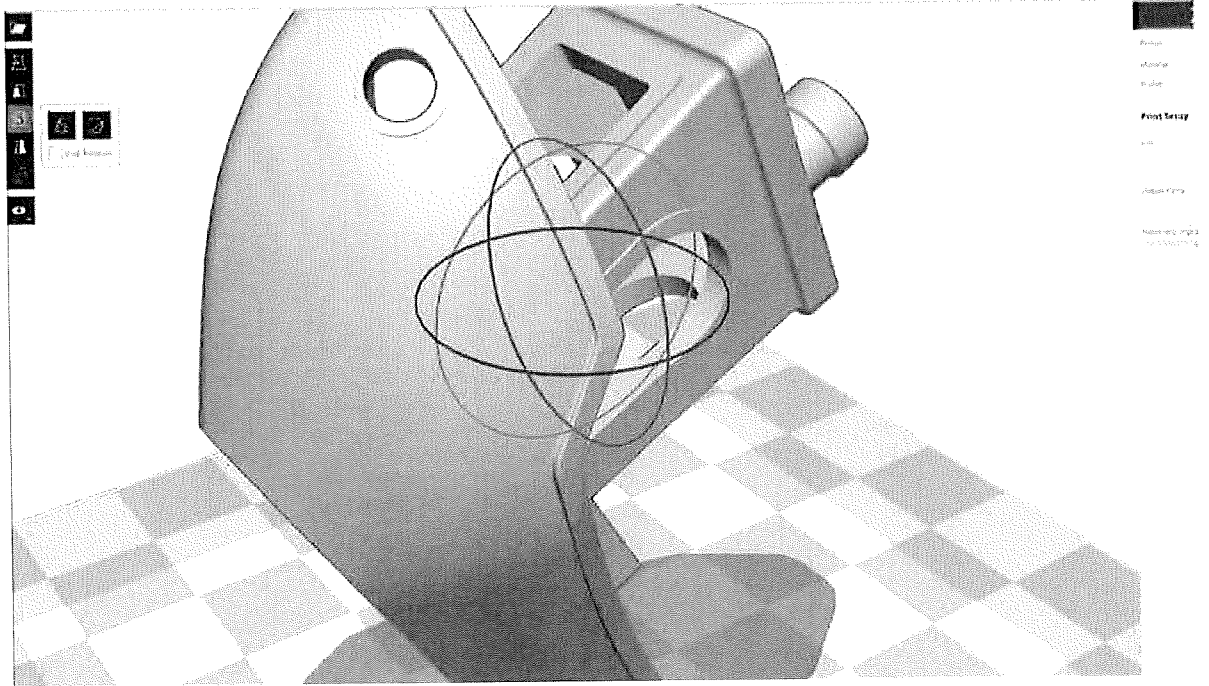


5.1.4. Операции с моделью в Cura 3D

Если модель требуется переместить или повернуть относительно платформы, масштабировать или размножить ее, достаточно просто кликнуть на объект, чтобы он подсветился, и затем выбрать одну из функций в левой панели. Итак: перемещаем, вращаем, масштабируем.

При нажатии на любой инструмент Cura 3D вокруг модели появляются стрелочки и кружочки. Нужно просто зацепить одну из стрелочек или кружочков и потянуть в нужном направлении. Если что-то пошло не так, сделайте правый клик и нажмите Reset.

Но что если вы хотите напечатать несколько копий модели? Правое нажатие на выбранную модель предлагает опцию Duplicate. Cura 3D автоматически перераспределит копии по рабочему столу. Если для печати двух и более объектов пространства на платформе достаточно, все модели будут желтыми. Если места не хватает — вылезавшие модели будут подсвечены серым.



Настройки печати Simple (Recommended)

Самый простой способ что-то напечатать — задать в Cura 3D режим Simple (Recommended). Хотя почти всё за вас тут уже сделано, вы всё же можете менять качество и параметры подпорок.

1. **Printer.** Убедитесь, что выбран нужный принтер.
2. **Material.** Если у принтера есть заданные для него материалы — выберите.
3. **Profile.** Выберите желаемое качество печати.
4. **Infill.** Режим Hollow (полый) печатает быстро, но без внутренних опор. Solid (сплошной) выдаст наиболее прочную модель, но и печатать будет дольше всего, и материала потребует много. Для начала лучше Light.
5. **Helper Parts.** Эти «вспомогательные моменты» описывают подпорки и сцепление с платформой. Если вы печатаете в первый раз, включите оба. Если у вашей модели много точек соприкосновения с рабочим столом, лучше выключите Print Build Paste Adhesion. Если у модели нет свесов (вроде балконов), выключите Print Support Structure.

Генерируем файл G-code

Теперь модель готова к печати, и нужно только либо экспортировать файл из Cura 3D на SD-карту, либо отправить его непосредственно на принтер. Cura 3D автоматически переведет файлы формата STL или OBJ в понятный принтеру G-code.

1. **Save the 3D print file.** Выберите Save to file, либо Save to SD, либо Send to Printer.

2. **Estimate of time for 3D print.** Cura 3D предложит примерную оценку времени, которое потребуется для печати вашего объекта.

3. **Start the 3D print.** Если активировано, усаживайтесь поудобнее и ждите, пока принтер прогреется и начнет печатать. Если вы сохранили файл на SD, вытащите SD из компьютера и вставьте ее в принтер. Нажмите Print, выберите файл и — вперед.

5.1.5. Настройки программы Cura

Использование в Cura 3D профиля Simple (Recommended) — это только начало, но и так можно получать великолепные распечатки. Со временем же вам потребуется еще немного гибкости в настройках. Самые продвинутые опции находятся под вкладкой Advanced (Custom). Вот краткий обзор того, что там можно увидеть.

В правой панели настроек выберите Advanced (Custom).

1. **Quality.** Это про толщину слоя. Значение зависит от вашего принтера, но меньшая толщина слоя обеспечивает лучшее качество, большая — более высокую скорость. Layer Height (высота, она же толщина слоя) для Ultimaker 2 Extended по умолчанию выставлена в 0,1 мм.

2. **Shell.** Здесь речь идет о толщине любой из стенок в вашей модели, а также о толщине нижнего и верхнего слоев. Значение Shell кратно диаметру сопла. Толщина 0,8 мм означает, что стенки будут иметь две линии в ширину (поскольку у нашего принтера Ultimaker 2 сопло имеет диаметр 0,4 мм).

3. **Infill.** Заполнение — силовая структура вашей модели. Чем выше плотность — тем прочнее, тем больше будет напечатано внутри.

4. **Material.** Не все материалы одинаковы, иногда требуется небольшая подгонка, которая как раз здесь и производится. Как правило, единственное, что требуется изменить, — это Retraction (втягивание), чтобы избежать излишнего натяжения нити пластика. Чтобы избежать наиболее распространенных проблем, рекомендуется пользоваться фирменным филаментом.

5. **Speed.** Это про скорость перемещения печатающей головки. Обычно, чем медленнее, тем лучше печать.

6. **Cooling.** Охлаждение — это важная штука для любого принтера, оно непременно должно быть включено. Вентиляторы обычно полностью включаются с 5-го слоя.

7. **Support.** Если у вашей модели есть нависающие элементы, эта опция должна быть активна, и тогда вы простым кликом сможете выбрать, где поставить подпорку.

8. **Build plate Adhesion.** Не у всех моделей площадь основания такова, чтобы обеспечить надежное сцепление с поверхностью рабочего стола. В таком случае эта настройка поможет сцеплению модели с подложкой.

9. **Special Modes.** Если вы печатаете более одной модели, эта опция позволяет принтеру понять, печатать ли их одновременно, или они будут устанавливаться друг за другом.

Настройки качества

1. **Quality.** У каждого принтера есть своя минимальная и максимальная толщина слоя. Введите сюда желаемую толщину слоя. 0,02 мм — это высокое качество, но и долгая печать; 0,6 мм — качество низкое, зато процесс относительно быстр.

2. **Shell.** Выбор толщины стенок. Более толстые стенки — более прочный объект, который обычно можно качественно обработать.

При толщине сопла в 0,4 мм, предлагаемая толщина стенок будет кратной: 0,4 мм, 0,8 мм, 1,2 мм и т.д.

3. **Top/Bottom Thickness.** Толщина верхнего и нижнего слоя тоже кратна диаметру сопла. Для начала можно выбрать двойной диаметр. Это поможет избежать наиболее распространенных проблем — вроде «вздутия».

5.1.6. Настройки материала

1. **Material.** У каждого материала свои спецификации и свои требования, которые, как правило, связаны с железом принтера, а не с программой. Единственная ситуация, при которой вам может понадобиться здесь что-то менять, — это если при печати имеет место недоэкструдирование.

2. **Enable Retraction.** В Cura 3D этот параметр должен быть включен практически всегда. Речь идет втягивании филамента обратно в сопло, чтобы при перемещении печатающей головки не возникало паутины.

5.1.7. Настройки скорости

1. **Print Speed.** Это общая скорость печати по мере экструдирования филамента. Чем медленнее, тем обычно лучше качество. Скорость можно увеличить (рекомендуемое значение — 60 мм/с). Если вы увеличиваете скорость, то полезно увеличить при этом и температуру печати.

2. **Travel Speed.** Это скорость перемещения печатающей головки. На Ultimaker 2 она выставлена в 120 мм/с. Скорость перемещения связана с предыдущим параметром и должна быть кратна ему. В таком случае ускорения и замедления происходят более плавно, например при переходе от печатания заполнения к печатанию стенок.

5.1.8. Настройки заполнения

Infill Density. Плотность заполнения — это количество материала, которое расходуется на опорную структуру внутри модели. Чем больше плотность, тем выше прочность. Обычно здесь выставлено 20%.

Охлаждение

Enable fan Cooling. Выключать охлаждение не рекомендуется, поскольку это приведет к перекосам детали и другим неприятным эффектам.

5.1.9. Настройки подпорок

1. Как правило, полезно разрешать подпорки (Enable Support), если только вы не уверены, что ничто нигде не нависает и не плавает.
2. Опция Placement определяет местоположение подпорок: Touching Build plate означает, что подпорки имеют основанием только рабочий стол; Everywhere значит, что они могут быть где угодно, в т.ч. на модели и внутри нее.

5.1.10. Настройки сцепления с платформой

Ситуация, при которой печатаемый объект недостаточно прилипает к подложке, весьма распространена, и опция Build Plate Adhesion как раз и предусмотрена для того, чтобы это сцепление увеличить путем добавления «юбок», «кромки» и «плотов».

Skirt. Хорошо, чтобы была хотя бы «юбка» — такая линия вокруг первого слоя объекта, которая просто помогает позиционировать экструдер.

Brim. «Кромка» — это просто кромка, пара дополнительных линий непосредственно на дне объекта, чтобы увеличить его площадь, а также минимизировать перекосы.

Raft. Маленький «плот» находится под распечаткой, а позже подлежит удалению. Это такая толстая решетка, чтобы максимизировать сцепление с платформой печати.

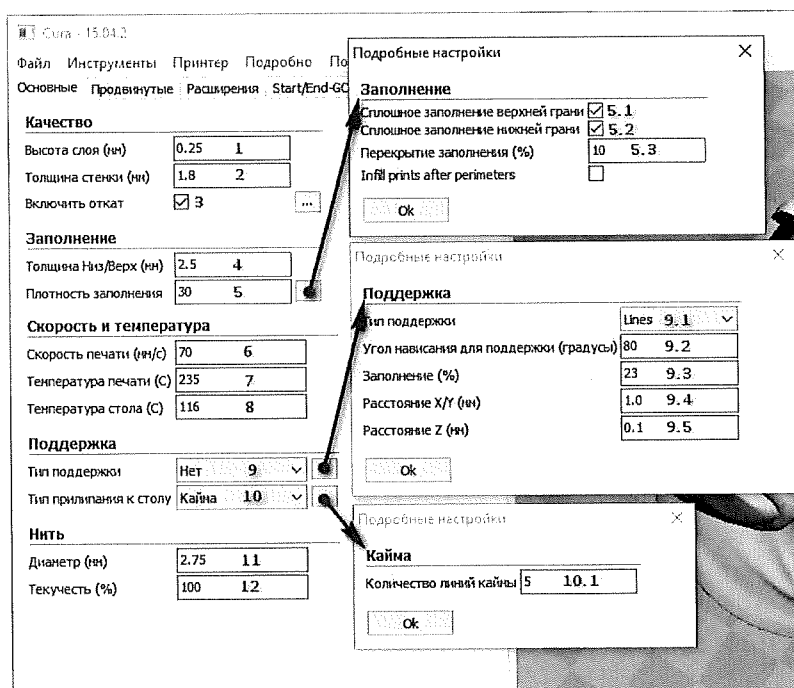
У каждой из опций в Cura 3D есть разного рода дополнительные параметры, которые позволяют еще более тонко настроить процесс печати вашей модели.

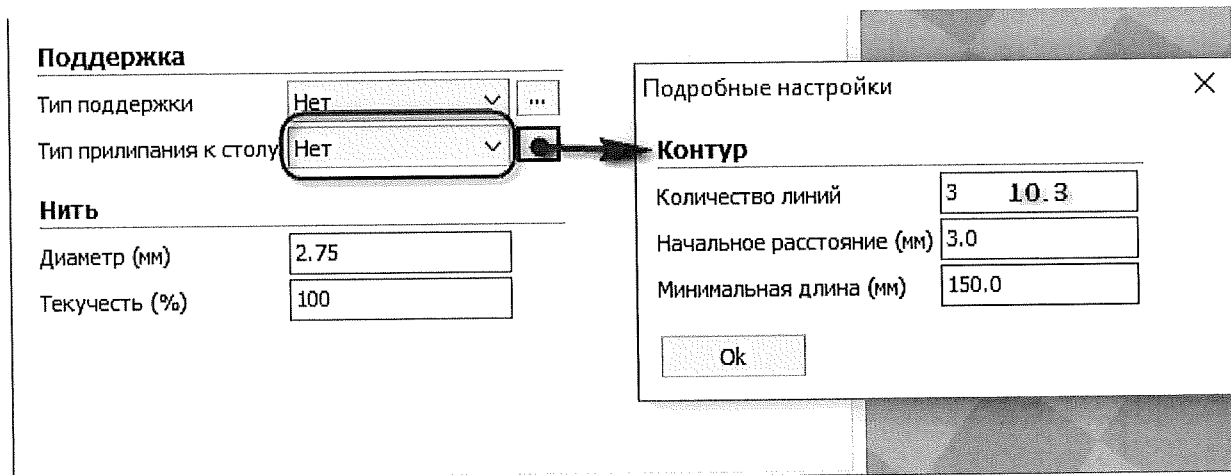
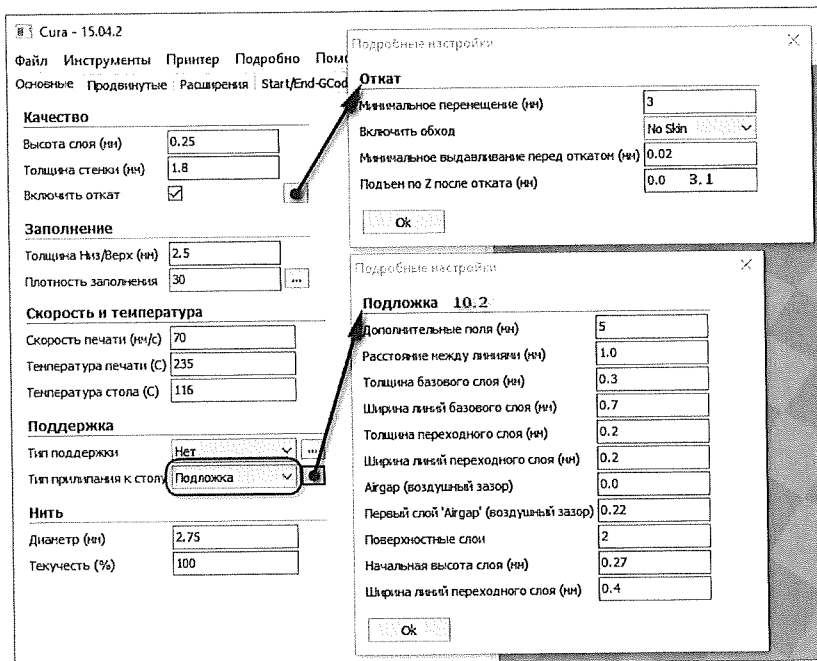
5.1.11. Генерируем файл G-code

После того как вы покончили с настройками, модель готова к печати. Все что теперь остается — это либо экспортировать файл из Cura 3D на карту, либо отправить его непосредственно на принтер. Дальше Cura 3D автоматически переведет файлы формата STL или OBJ в понятный принтеру G-code, как она делает это и при установках Simple (Recommended).

1. Выберите Save to file, либо Save to SD, либо Send to Printer.
2. Cura 3D предложит примерную оценку времени, которое потребуется для печати вашего объекта.
3. Если активировано, усаживайтесь поудобнее и ждите, пока принтер прогреется и начнет печатать. Если вы сохранили файл на SD, вытащите SD из компьютера и вставьте ее в принтер. Нажмите Print, выберите файл и — вперед.

Вкладка «Основные» настройки





Качество печати

1 – Толщина слоя печати. Зависит от диаметра сопла. Хорошее качество – 1/2 диаметра сопла. Лучшее качество – 1/4 диаметра сопла.

2 – Толщина стенок. Должна быть кратна диаметру сопла. Одинарная стенка – хуже внешний вид, но лучше прочность, если заполнение 100%.

3 – Откат (Ретракт). Всасывание расплава пластика, при переходе на другой островок печати.

Заполнение

4 – Толщина верха и низа детали. Толщина верха влияет если низкий процент заполнения детали и нить сильно провисает. Могут остаться рваные отверстия и торчать застывшие нити пластика.

5 – Процент заполнения детали. Плотность решётки внутри детали. 0% — будет полая деталь. Нужна для прочности и поддержки верхних слоёв.

Скорость и температура

6 – Скорость печати. Учитывается, если не заданы детальные настройки на вкладке «Продвинутые».

7 – Температура сопла. Зависит от типа пластика. ABS 210-270C, PLA 180-210C.

8 – Температура стола. ABS 105-115C. Для PLA 70C на каптоновом скотче и 0C на синем скотче.

Поддержка

9 – Тип поддержки. Поддержка нужна для нависающих и наклонных поверхностей детали для защиты от провисания нитей:

Нет – не использовать поддержку.
От поверхности – поддержка по минимуму.
Везде – поддержка по максимуму.

10 – Тип усиления адгезии (прилипания) к столу:

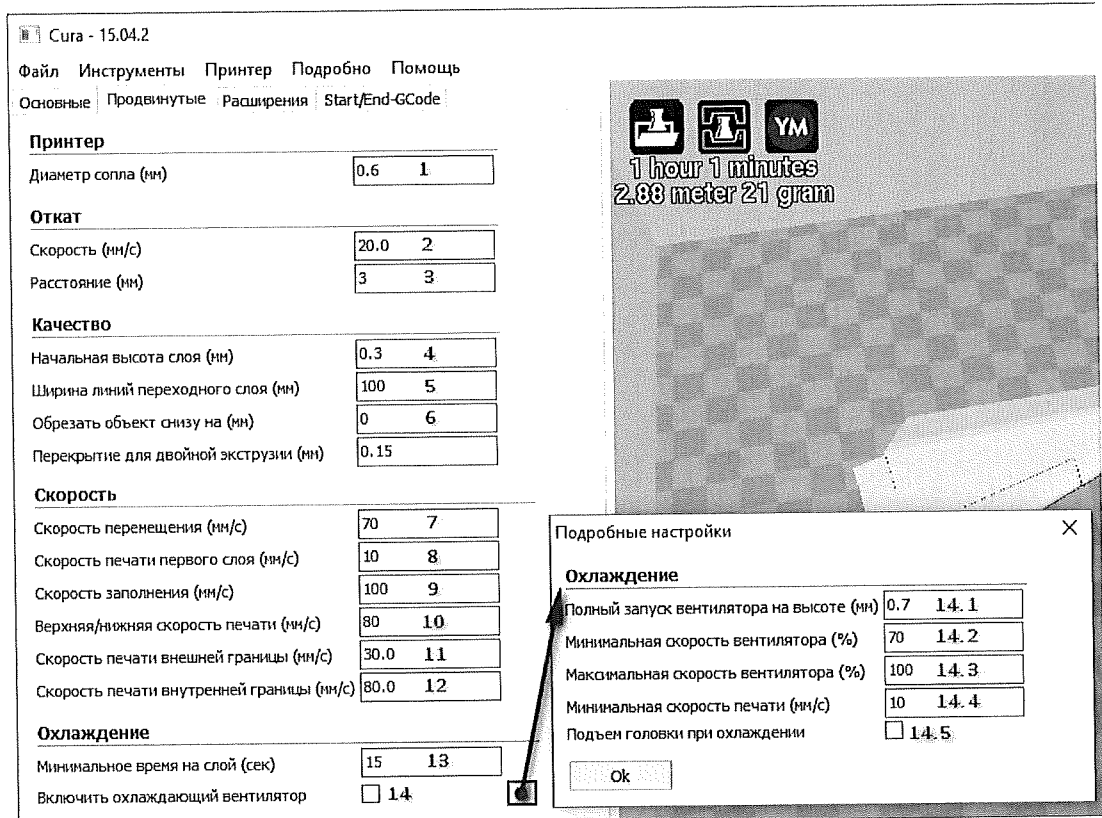
Нет – ничего. Только круги вокруг детали
Кайма – увеличение площади детали для лучшего сцепления со столом и защиты от отлипания углов. Настраивается во вкладке «Продвинутые».
Подложка – решётчатая многослойная подложка под деталь. Используется для деталей с маленькой площадью соприкосновения со столом. Настраивается во вкладке «Продвинутые».

Пруток (филамент, нить)

11 – Диаметр используемого прутка. Нужно замерить штангенциркулем для точности.

12 – Процентное изменение объёма экструзии нити из сопла. Настраивается для каждой катушки пластика индивидуально. Если щели между нитями на заливке — нужно увеличить, если деталь превращается в месиво — нужно уменьшать.

Вкладка «Продвинутые» настройки



Принтер (Сопло)

1 – Диаметр отверстия сопла

Откат (Ретракт)

2 – Скорость отката прутка. На большой скорости болт экструдера может сорвать слой прутка и потерять сцепление.

3 – Длина ретракта. Если при переходе сопла на следующую часть детали из сопла вытекает нить — нужно увеличить параметр.

Качество (Первый слой)

4 – Толщина первого слоя. Зависит от кривизны стола и диаметра сопла.

5 – Ширина первого слоя в процентах. Влияет на качество адгезии. Выше – лучше. Если на первом слое щели между нитями — нужно добавлять %.

Скорость (Детальная настройка скорости печати)

7 – Скорость холостого перехода, без выдавливания пластика. На холостом переходе может задевать отвердевшие торчащие нити пластика. Минимальная скорость 80 мм/с.

8 – Скорость печати первого слоя. Ниже – лучше. Рекомендуемая скорость 20 мм/с.

9 – Скорость заполнения детали. Можно больше. Обычно 60-120 мм/с.

10 — Уменьшаем скорость для гладкой верхней поверхности.

11 – Скорость печати внешнего контура. При 20 мм/с получается отличное качество поверхности.

12 – Скорость печати внутренних слоёв контура. Средняя между скоростью заполнения и скоростью печати внешнего контура. При большой скорости влияет на качество внешнего контура.

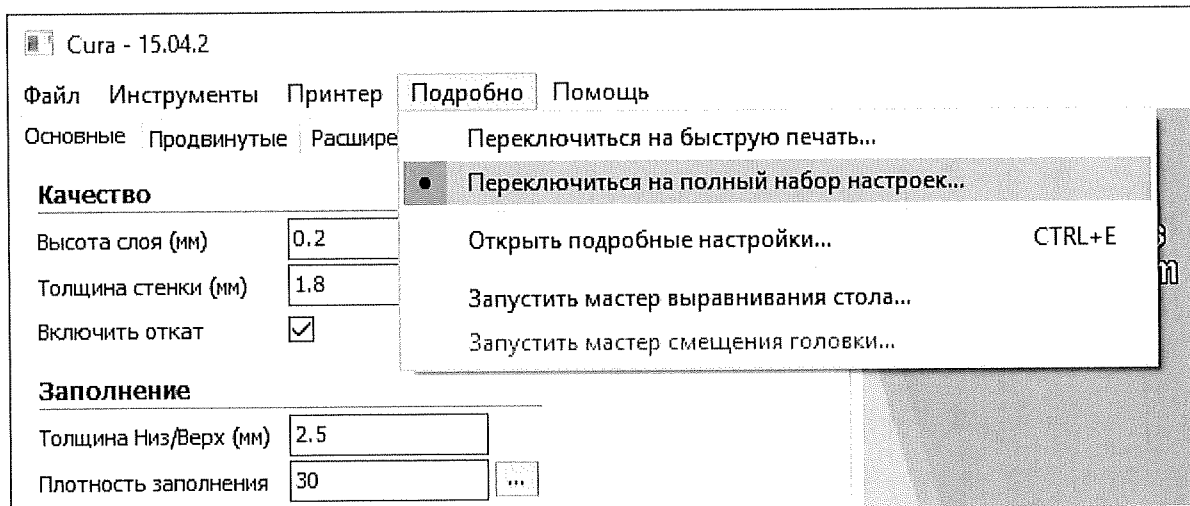
Охлаждение

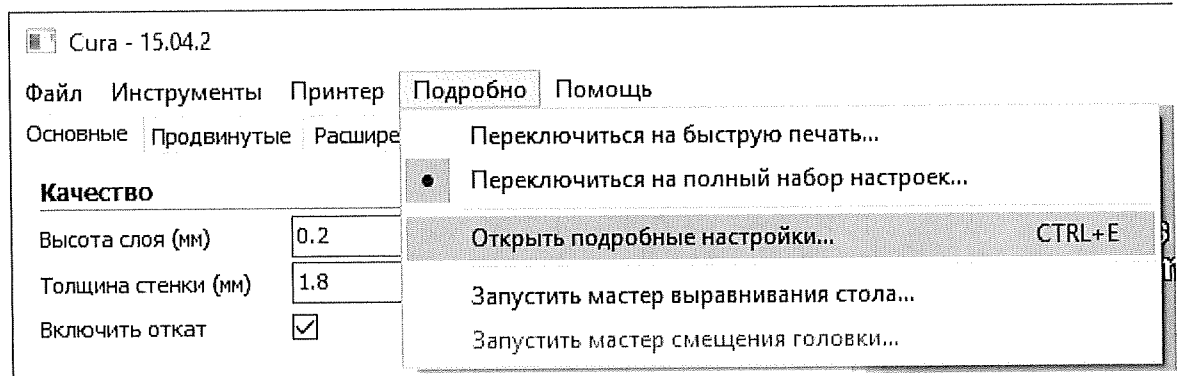
13 – Минимальное время печати слоя, даёт слою время на охлаждение перед переходом к следующему слою. Если слой будет укладываться слишком быстро, 3D принтер будет снижать скорость укладки, вписываясь в указанное время. Обычно ставлю 20 сек.

14 – Включение вентилятора для охлаждения детали во время печати. Используется только для PLA – подобных пластиков. На ABS ухудшает сцепление слоёв.

Дополнительные настройки печати

Включение дополнительных настроек





Подробные настройки

Откат	
Минимальное перемещение (мм)	3
Включить обход	No Skin
Минимальное выдавливание перед откатом (мм)	0.02
Подъем по Z после отката (мм)	0.0 3.1
Контур	
Количество линий	3 10.3
Начальное расстояние (мм)	3.0
Минимальная длина (мм)	150.0
Охлаждение	
Полный запуск вентилятора на высоте (мм)	0.7 14.1
Минимальная скорость вентилятора (%)	70 14.2
Максимальная скорость вентилятора (%)	100 14.3
Минимальная скорость печати (мм/с)	10 14.4
Подъем головки при охлаждении	<input checked="" type="checkbox"/> 14.5
Заполнение	
Сплошное заполнение верхней грани	<input checked="" type="checkbox"/> 5.1
Сплошное заполнение нижней грани	<input checked="" type="checkbox"/> 5.2
Перекрытие заполнения (%)	10 5.3
Infill prints after perimeters	<input type="checkbox"/>
Поддержка	
Тип поддержки	Lines 9.1
Угол нависания для поддержки (градусы)	80 9.2
Заполнение (%)	23 9.3
Расстояние X/Y (мм)	1.0 9.4
Расстояние Z (мм)	0.1 9.5
Black Magic	
Спиральная печать внешнего контура	<input type="checkbox"/>
Только следовать поверхности сетки	<input type="checkbox"/>
Кайма	
Количество линий каймы	10 10.1
Подложка 10.2	
Дополнительные поля (мм)	5
Расстояние между линиями (мм)	1.0
Толщина базового слоя (мм)	0.3
Ширина линий базового слоя (мм)	0.7
Толщина переходного слоя (мм)	0.2
Ширина линий переходного слоя (мм)	0.2
Airgap (воздушный зазор)	0.0
Первый слой 'Airgap' (воздушный зазор)	0.22
Поверхностные слои	2
Начальная высота слоя (мм)	0.27
Ширина линий переходного слоя (мм)	0.4
Компенсация недостатков модели	
Объединить все (Тип A)	<input type="checkbox"/> 15
Объединить все (Тип B)	<input type="checkbox"/>
Сохранить открытые грани	<input type="checkbox"/>
Сильное сшивание	<input type="checkbox"/>

Эти же настройки появляются в мини меню вкладки «Продвинутые»

Ретракт — всасывание нити пластика

3.1 — Поднимать сопло над деталью во время ретракта, мм. При перемещении над поверхностью детали, чтобы не задевать застывший пластик.

Контур (Юбка, Skirt) — выдавливание пластика вокруг детали для подготовки сопла к печати детали

10.3 — Количество колец выдавливания пластика вокруг детали.

Охлаждение детали

14.1 — На какой высоте включать охлаждение детали.

14.2 — Минимальная скорость вентилятора охлаждения.

14.3 — Максимальная скорость вентилятора.

14.4 — Ограничение минимальной скорости укладки нити.

14.5 — Отводить сопло от детали для лучшего остывания. Время после которого отводить сопло настраивается в Подборные настройки\Охлаждение\Минимальное время на слой (сек.).

Заливка

5.1 — Делать заливку верхнего слоя. Для печати пустых и открытых деталей (вазы, стаканы).

5.3 — Процент перехлёста нитей. Для лучшего сцепления нитей между ними.

Поддержки

9.1 — Структура поддержек:

Grid — решётка,

Lines — линии. Легче удаляется.

9.2 — Угол наклона поверхности, при котором начинают формироваться поддержки. Ставлю 60 градусов.

9.3 — Плотность структуры поддержек, в процентах.

9.4 — Расстояние от стенок детали до поддержек по осям XY. Чем меньше, тем труднее удалить поддержки.

9.5 — Расстояние от нижней поверхности детали до поддержек по оси Z.

Кайма (Brim) — Увеличение площади соприкосновения детали и стола

10.1 — Ширина поля, в линиях нити.

Подложка (Raft) — нужен для печати деталей с маленькой площадью касания со столом

10.2 — Настройка параметров Raft

Исправление ошибок 3D модели

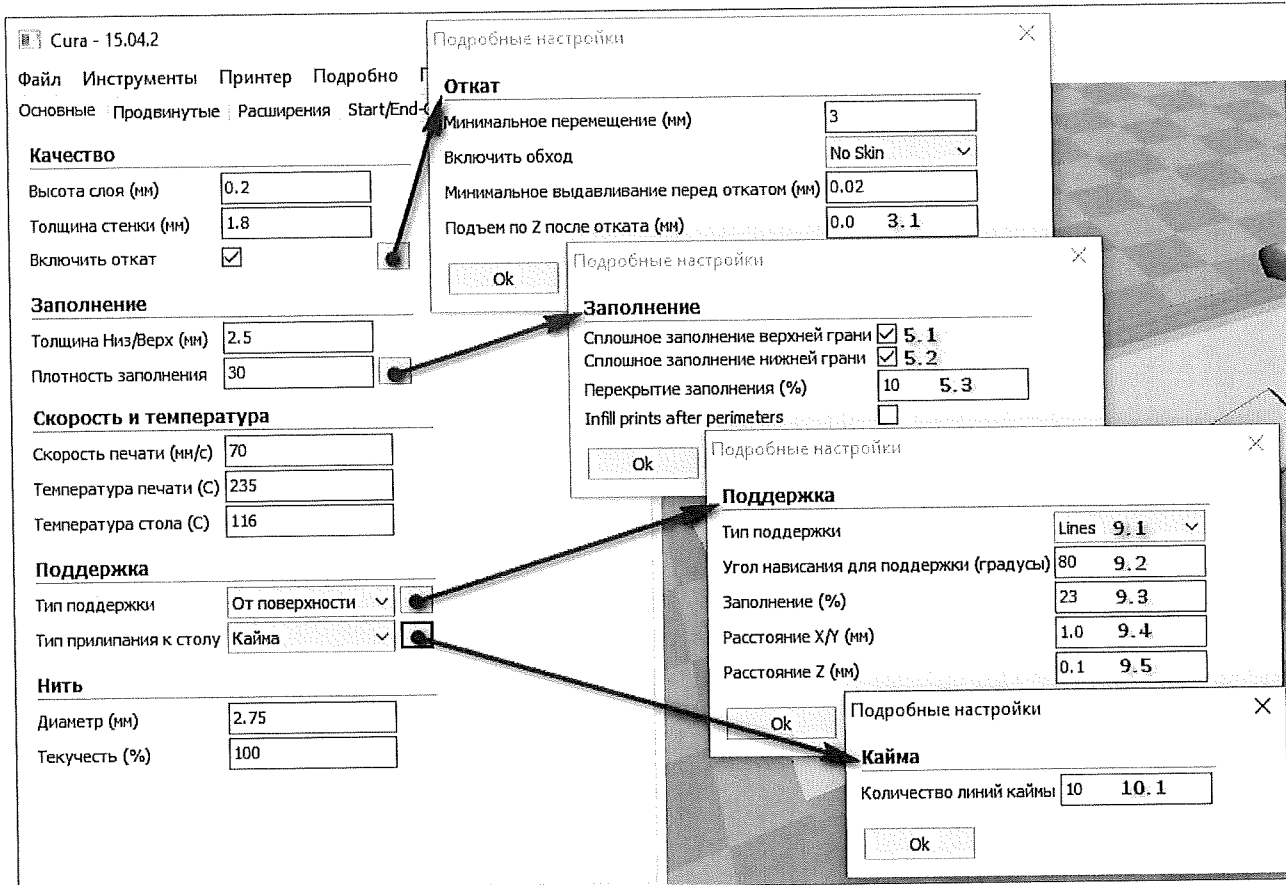
15 — Автоматическая коррекция некоторых ошибок 3D модели

Дополнительные меню на вкладке «Основные» повторяют настройки

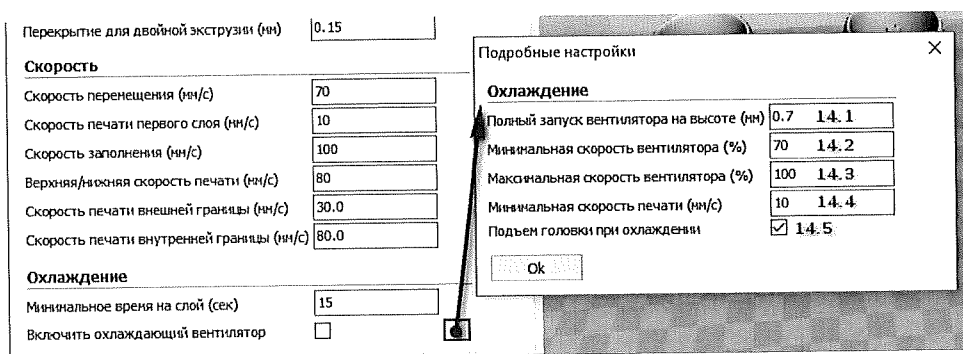
из

«Подробные»

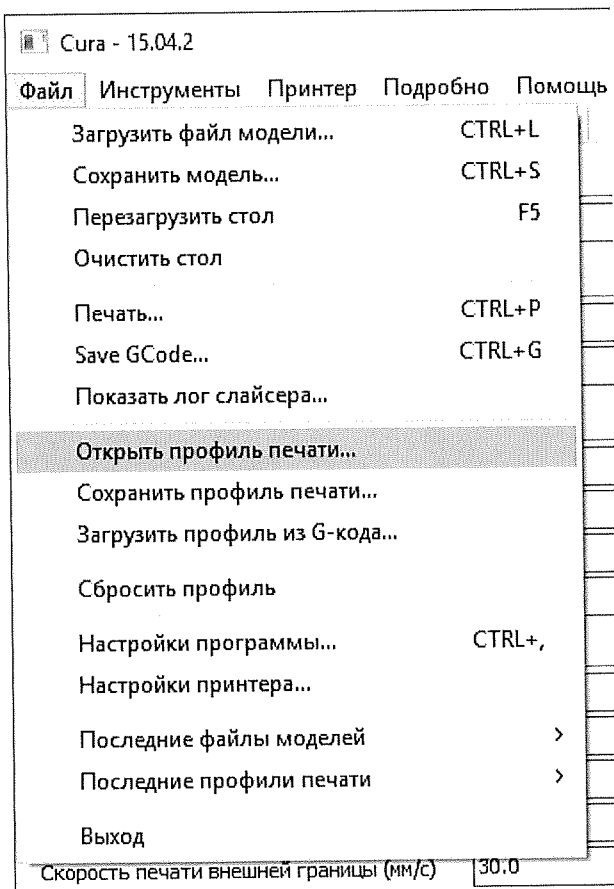
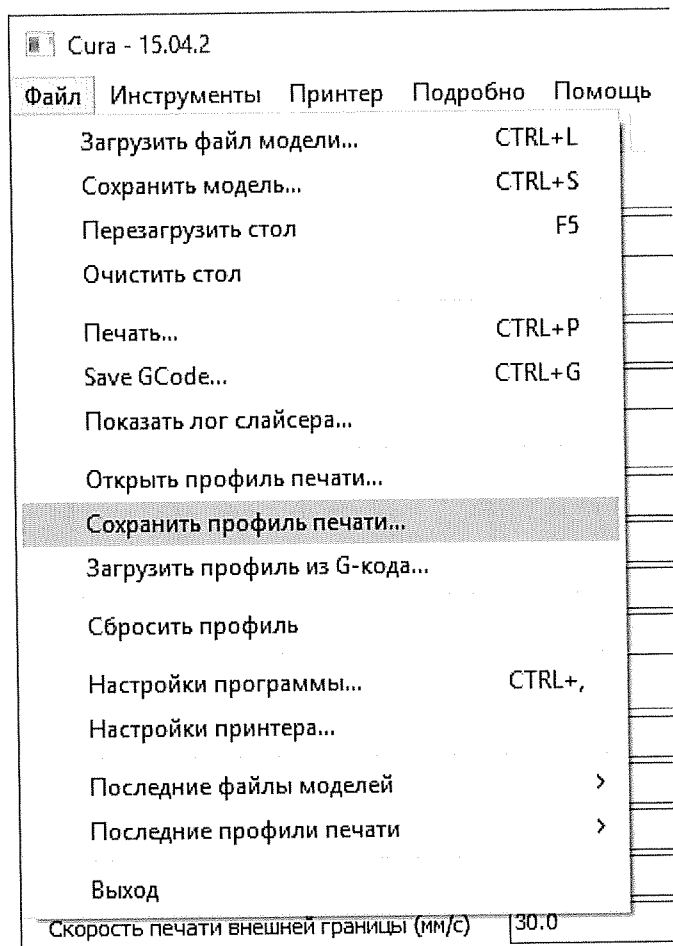
настройки



Дополнительная меню на вкладке «Продвинутое» повторяет настройки из «Подробных настроек»



Сохранение настроек в файл и восстановление

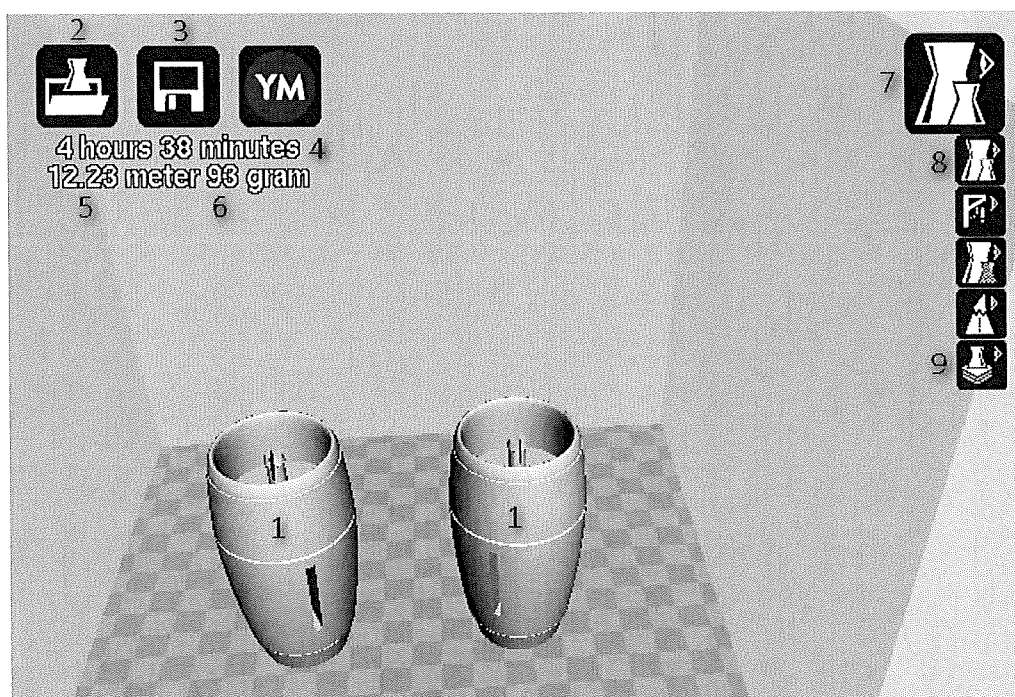


Манипуляции на рабочем столе

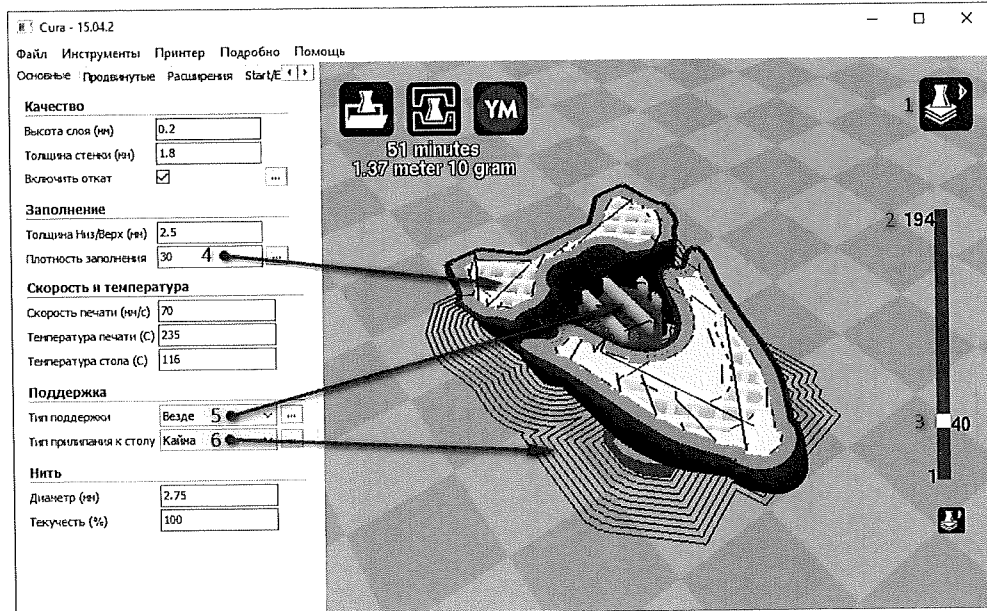
Окно

рабочего

стола



- 1 — Вид детали на рабочем столе.
- 2 — Загрузка файла и добавление 3D модели на рабочий стол.
- 3 — Запуск печати на 3D принтере или сохранение G-кода программы на SD карту или на жёсткий диск, для автономной печати с SD карты.
- 4 — Расчётное время печати детали.
- 5 — Расчётная длина прутка для этой детали.
- 6 — Расчётный вес детали со всеми дополнительными структурами.
- 7 — Варианты просмотра детали.
- 8 — Просмотр загруженной 3D модели детали.
- 9 — Послойный просмотр детали со всеми дополнительными структурами.



1 — Послойный просмотр детали со всеми дополнительными структурами.

2 — Общее количество слоёв детали.

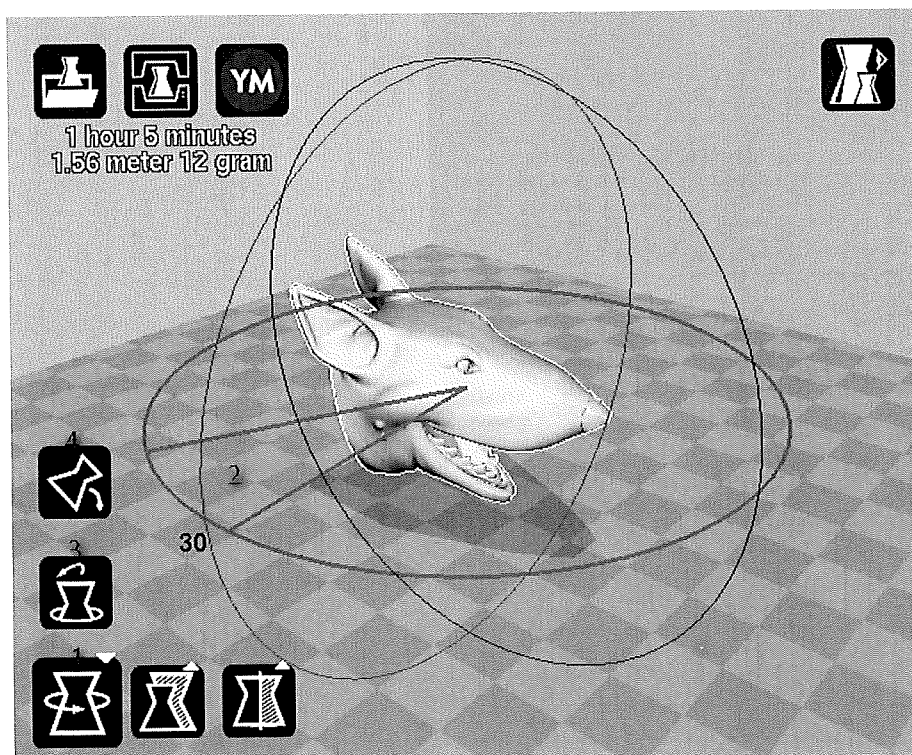
3 — Просматриваемый слой.

4 — Внутренняя структура заполнения.

5 — Структура поддержек.

6 — Внешний вид юбки, со всеми настройками.

Поворот детали по осям

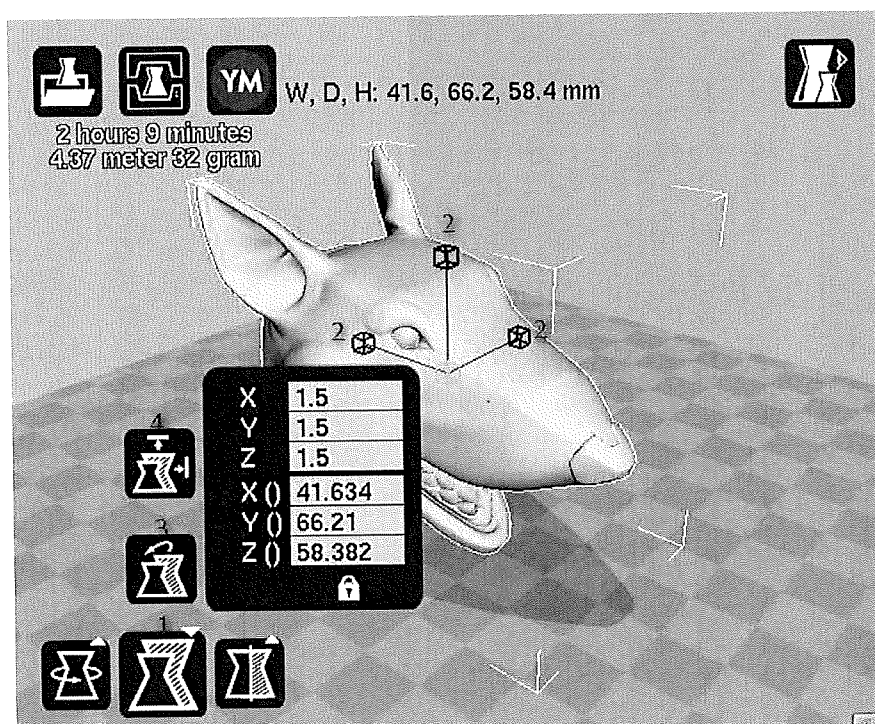


При щелчке левой кнопкой мыши по детали на рабочем столе, в левом нижнем углу появляются пиктограммы:

- 1 — Поворот детали по оси. Тянем левой кнопкой мыши выбранную ось.
- 2 — Отображается угол поворота.
- 3 — Сброс в исходное положение.
- 4 — Выравнивание нижней плоскости детали, относительно рабочего стола.

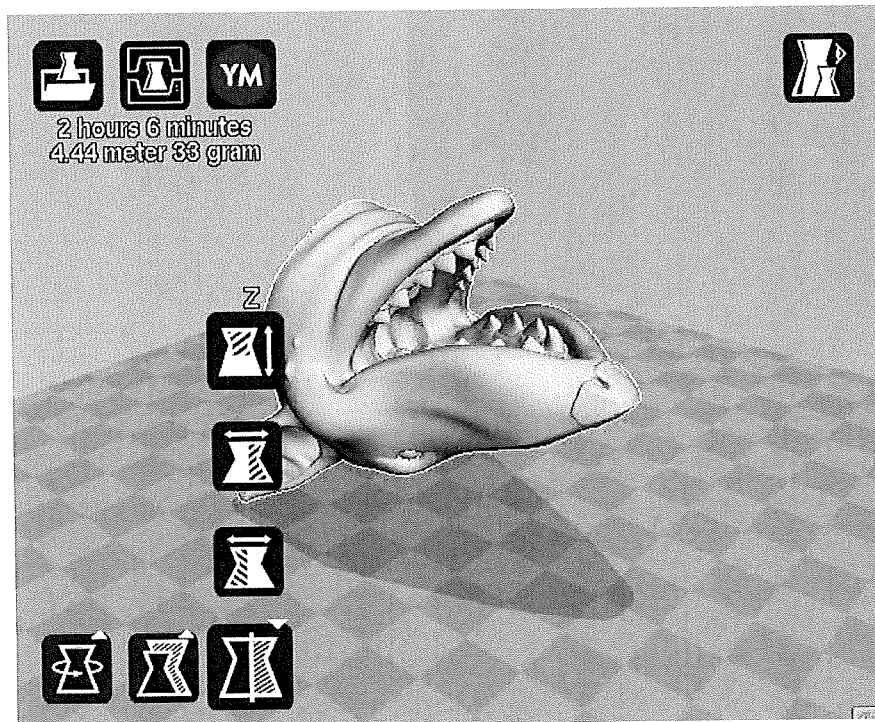
стола.

Изменение габаритных размеров детали



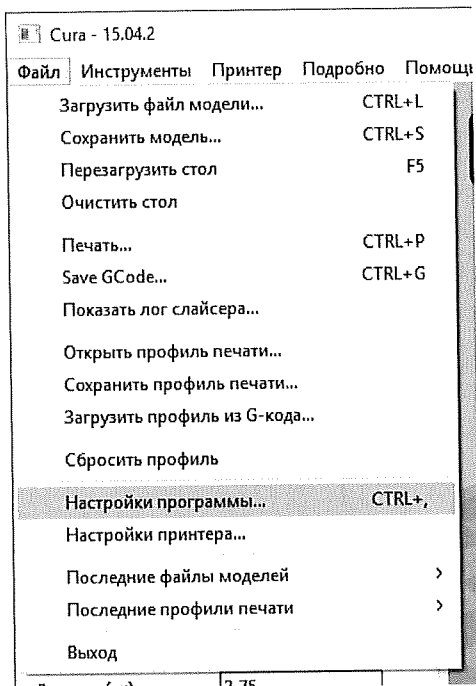
- 1 — Пиктограмма изменения габаритов.
- 2 — Тянем с зажатой левой кнопкой мыши, для изменения габаритов детали.
- 3 — Сброс изменений.
- 4 — Максимальные габариты.

Отражение детали в плоскостях



Перед печатью

Входим в настройки



Сохраняем файл в специальном формате для печати

5.2. Печать объекта.

Чтобы напечатать объект, его модель необходимо сохранить в файле специального формата – например, STL, который де-факто стал стандартом в мире трехмерной печати. В этом формате поверхности модели

представляются в виде сетки из треугольников. Простые поверхности разбиваются на небольшое число треугольников. Чем сложнее поверхность, тем больше треугольников понадобится. Сегодня в 3D-печати применяются и другие форматы, в частности, разработанный корпорацией Microsoft формат 3MF. Но самым распространенным по-прежнему остается STL.

CAD-системы позволяют очень просто сохранить модель в нужном формате: достаточно выполнить команду Сохранить как. Для повышения качества печати желательно задать ряд настроек сохранения в формат STL – например, допуск при преобразовании и угол плоскости. Чем меньше коэффициент преобразования и чем лучше подобран угол, тем более гладкой получится напечатанная деталь.

Открываем файл в программе-слайсере

В комплект большинства, если не всех, 3D-принтеров входят собственные программы-слайсеры. Слайсер загружает созданный в CAD-системе файл формата STL и разрезает его на слои, а затем создает управляющую программу для работы принтера.

Правильно размещаем модель в пространстве печати

После ввода параметров печати модель (или несколько моделей) требуется разместить на столе принтера. На одном столе можно печатать сразу множество объектов. При этом по сравнению с печатью одного объекта время несколько увеличивается, но в целом все равно оказывается меньшим. Ниже мы приведем советы по выбору правильной ориентации модели.

Задаем параметры

В программе-слайсере пользователь задает такие параметры, как скорость

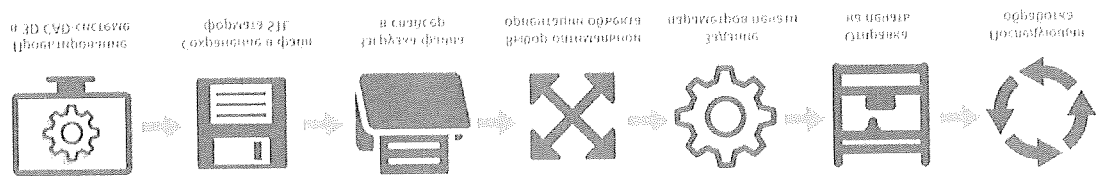
печати, расход материала, температуры сопла и рабочего стола. В большинстве слайсеров предусмотрены простые настройки для начинающих. При этом чаще всего имеются и расширенные настройки, чтобы опытные специалисты могли добиться оптимальных результатов. К расширенным настройкам относятся процент заполнения, количество опорного материала и тип опорной подложки или рафта (это небольшое тонкое основание, поддерживающее устойчивость печатаемой детали. По окончании ее изготовления подложка удаляется). Число вариантов поистине бесконечно. Конкретные значения настроек зависят от марки принтера. Задать их достаточно просто.

Отправляем управляющую программу на принтер

После задания параметров печати, мест размещения будущих объектов на столе, их ориентации и качества порошка, наконец, запустить принтер. Достаточно нажать кнопку Печать и найти себе какое-нибудь занятие, пока идет изготовление. В зависимости от сложности конструкции процесс занимает от нескольких минут до нескольких часов.

Выполняем окончательную обработку

Окончательная обработка включает в себя снятие напечатанной детали со стола, а также удаление опорного материала путем его выплавки, механического отделения или растворения (в зависимости от конструкции принтера). Деталь может потребовать легкой шлифовки или полировки, но в целом правильно напечатанный объект с самого начала выглядит неплохо. Другие виды окончательной обработки – помещение пластиковых деталей в емкость с ацетоном для сглаживания шероховатостей поверхности, склеивание (если размеры конструкции превышают габариты 3D-принтера либо отдельные элементы объекта должны иметь различную ориентацию), сверление отверстий и покраска.



Процесс 3D-печати

5.3. Учет возможностей 3D-принтера при проектировании

1. Устраняем острые углы

Если направление поверхностей резко меняется (например, вертикальная стенка пересекается с горизонтальным перекрытием), то такую модель напечатать сложно. Принтер будет строить внутренние поверхности избыточной толщины, расходуя слишком много материала. Существует два простых способа не допустить этого: добавить фаски, чтобы сгладить места стыка поверхностей, либо скруглить углы, чтобы принтер постепенно начал строить вертикальную поверхность. Кроме того, скругления повысят прочность, так как разрушение чаще всего происходит по острым углам.

2. Устранение тонких стенок и мелких элементов геометрии

Технология послойного наплавления заключается в подаче горячего пластика через сопло с формированием печатаемого объекта слой за слоем. Толщину выдавливаемого слоя пластика невозможно сделать меньше определенного предела, зависящего от диаметра сопла и скорости движения печатной головки. Чрезмерно тонкостенные детали печатаются с трудом – нередко в результате получается хаотическое переплетение волокон. Если же деталь и удастся напечатать, она получается очень хрупкой и легко ломается.

3. Слишком толстые стенки – тоже плохо

С другой стороны, если стенки слишком толстые, то они становятся хрупкими и легко трескаются. Это особенно важно при печати из других материалов, кроме полимеров, так как в процессе изготовления избыточная толщина ведет к появлению внутренних напряжений в детали. Даже при печати из пластмасс на слишком толстые стенки бесполезно тратится материал при большом расходе времени.

4. Устраняем крупные нависающие элементы

3D-принтеры позволяют создавать потрясающие формы и поверхности, но они не способны печатать прямо в воздухе. Если в детали имеется пустота с материалом над ней, приходится применять дополнительный опорный материал. Большинство слайсеров выполняет добавление материала автоматически, но требует задания ориентации и объема опорной конструкции. Принтеры с одним соплом создают массив из тонких столбиков, которые затем приходится обламывать. В итоге получается недостаточно гладкая поверхность. Поэтому рекомендуется по возможности избегать крупных нависающих элементов, чтобы сократить потребность в опорном материале.

Если же такой элемент неизбежен, можно попробовать перевернуть объект. Большинство принтеров способно печатать нависающие элементы с углом порядка 45 градусов. При определенной высоте ребро такого элемента может несколько провисать. Реальные возможности конкретного принтера определяются методом проб и ошибок.

5.Отверстия усаживаются

Помните, что деталь изготавливается из нагретого пластика. При остывании он неизбежно усаживается. Поэтому отверстия и другие критически важные конструктивные элементы приходится делать больше, чтобы после усадки их размер оказался максимально близким к требуемому. Однако если необходимо выполнить отверстие с жестким допуском, лучше напечатать его меньшего диаметра, а затем развернуть подходящим инструментом. Это особенно касается отверстий, ось которых параллельна столу принтера.

6. Увеличиваем площадь опоры

Если площадь соприкосновения объекта с основанием мала, может произойти отделение детали от стола прямо в ходе печати. Чтобы этого не произошло, к опорам модели добавляются широкие основания, устанавливаемые на стол принтера. В целом, чем ближе к столу, тем больше материала надо добавлять к опоре. Существуют и другие способы надежного крепления детали на столе, которые мы обсудим немного позднее.

ПОЛЕЗНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Гурьянов А. Е. Моделирование управления квадрокоптером. Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. Журн. 2014. No8 Режим доступа: <http://engbul.bmstu.ru/doc/723331.html> (Дата обращения 20.10.15)
2. Ефимов. Е. Программируем квадрокоптер на Arduino: Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/227425/> (Дата обращения 20.10.15)
3. Институт транспорта и связи. Основы аэродинамики и динамики полета. Рига, 2010. Режим доступа: http://www.reaa.ru/yabbfilesB/Attachments/Osnovy_ajerodtnamiki_Riga.pdf (Дата обращения 20.10.15) Понфиленок О.В., Шлыков А.И., Коригодский А.А. «Клевер. Конструирование и программирование квадрокоптеров». Москва, 2016.
4. Канатников А.Н., Крищенко А.П., Ткачев С.Б. Допустимые пространственные траектории беспилотного летательного аппарата в вертикальной плоскости. Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. No3. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/367724.html> (дата обращения 17.04.2014).
5. Валерий Яценков: Электроника. Твой первый квадрокоптер. Теория и практика; <http://www.ozon.ru/context/detail/id/135412298/>
6. Кравцова В., Космические снимки и экологические проблемы нашей планеты. — ИТЦ Сканекс Москва, 2011. — С. 254.
7. Нейл Уилсон, Руководство по ориентированию на местности. Выбор маршрута и планирование путешествия. Навигация с помощью карт, компаса и природных объектов – ФАИР-ПРЕСС, 2004 г. – с. 352, ISBN 5-8183-0655-0
8. Л. Шапиро, Дж. Стокман Компьютерное зрение / Бином. Лаборатория знаний, 2006, 752с, ISBN 5-94774-384-1, ISBN 0-13-030796-3
9. Айзек Азимов, Путеводитель по науке. От египетских пирамид до космических станций - Центрполиграф, 2007 г. — с. 840 —ISBN 978-5-9524-2906-2

10. Мабел Джордж, История Великих географических открытий в картинках - АСТ, Москва, 2014 – С.72, ISBN: 978-5-17-085000-6
11. Гершберг А.Е., Физика в путешествиях (по суше, по воде, по воздуху, в космосе) - Левша, 2003 - С.152, - ISBN: 5-93356-034-0
12. Дмитрий Рудаков, Оранжевая книга цифровой фотографии - Питер, 2007 г. - с. 200 - ISBN: 978-5-469-01222-1
13. Дмитрий Рудаков, Алая книга цифровой фотографии - Питер, 2010 г. - с. 128 - ISBN: 978-5-49807-610-2
14. Владимир Котов, Adobe Camera RAW CS4 для фотографов - Эксмо, 2009 г. - с. 160 - ISBN: 978-5-699-33771-2
15. Рон Гаран Из космоса границ не видно - Манн, Иванов и Фербер, 2015 г. - С. 192 - ISBN 978-5-00057-831-5
16. Савиных В. П., Записки с мертвой станции / Лит. редактор: С. Лукина. — М.: «Издательский Дом Системы Алиса», 1999 г. — с. 88.
17. Капилевич Л.В., Давлетьярова К.В. Кошельская Е.В. Физиологические методы контроля в спорте: учебное пособие / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 160 с.
18. Мурашко В.В., Струтынский А.В. Электрокардиография. Изд-во: МЕДпресс, 2008. – 320 с.