

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»
(ТУСУР)
Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга
(РЭТЭМ)

УТВЕРЖДАЮ

Декан радиоконструкторского
факультета

_____ Д.В. Озеркин

« ____ » _____ 2018 г.

Методическое пособие по выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Преддипломный курс»
Для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров
11.03.03 Конструирование и технология электронных средств, профиль
«Технология электронных средств»

Разработчик

Заведующий каф. РЭТЭМ, д.т.н.
_____ В.И. Туев

Томск 2018

Туев В.И. Методическое пособие по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Преддипломный курс». Для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств, профиль «Технология электронных средств» – Томск: ТУСУР, 2018. – 18с.

Настоящее учебно-методическое пособие предназначено для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Преддипломный курс». Пособие содержит описание лабораторных работ по разделам дисциплины. В пособии приведены краткие теоретические сведения, дано пошаговое описание программной подготовки.

© Туев В.И., 2018

© ТУСУР, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

1 Технологии 3D-печати.....	4
1.1 Стереолитография	4
1.2 Выборочное лазерное спекание.....	6
1.3 Метод многоструйного моделирования	10
1.4 Послойное склеивание пленок	12
1.5 3D Printing (3DP, 3D-печать)	16
1.6 Послойное наплавление	17
2 МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ.....	20
2.1 Полилактид (PLA, ПЛА)	20
2.2 Акрилонитрилбутадиенстирол (ABS, АБС)	21
2.3 Поливиниловый спирт (PVA, ПВА)	23
2.4 Нейлон (Nylon)	23
2.5 Поликарбонат (PC, ПК)	25
2.6 Полиэтилен высокой плотности (HDPE, ПНД)	25
2.7 Полипропилен (PP, ПП)	26
2.8 Поликапролактон (PCL)	26
2.9 Полифенилсульфон (PPSU)	27
2.10 Полиметилметакрилат (Acrylic, оргстекло, акрил, ПММА)	28
2.11 Полиэтилентерефталат (PET, ПЭТ)	29
2.12 Ударопрочный полистирол (HIPS)	29
2.13 Древесные имитаторы (LAYWOO-D3, BambooFill)	30
2.14 Имитаторы песчаника (Laybrick)	31
2.15 Имитаторы металлов (BronzeFill)	32
3 ЭКСТРУДЕРЫ.....	33
4 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.....	36
4.1 Цель работы	36
4.2 Основные теоретические сведения.....	36
4.3 3D-принтер «Hercules New»	47
4.4 Ход работы.....	50
5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	50
Список использованных источников.....	51

1 ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ

Наиболее распространенными являются следующие технологии объемного прототипирования [1].

1.1 Стереолитография

Исходным продуктом является жидкий фотополимер, в который добавлен специальный реагент-отвердитель. В обычном состоянии он остается жидким, а полимеризуется и становится твердым под воздействием излучения ультрафиолетового лазера.

Естественно, не возможно сразу создать всю модель в толще полимера, и речь может идти только о последовательном построении тонкими слоями. Для этого используется подвижная подложка с отверстиями, которая с помощью микролифта-элеватора погружается в фотополимер на толщину одного слоя, затем лазерный луч засвечивает области, подлежащие отверждению, подложка погружается еще на толщину одного слоя, вновь работает лазер, и так далее.

Требования к самому фотополимеру достаточно противоречивы: если он будет густым, то его легче полимеризовать, но сложнее обеспечить ровную поверхность после каждого шага погружения; приходится использовать специальную линейку, которая на каждом шаге проходит по поверхности жидкости и выравнивает ее. Большое количество отвердителя при фиксированной мощности лазера позволит уменьшить необходимое время воздействия, однако неизбежная фоновая засветка «портит» окружающий объем полимера и сокращает возможный срок его использования.

Полная полимеризация каждого слоя заняла бы немало времени, поэтому засветка производится до уровня, при котором слой приобретает лишь минимально необходимую прочность, а впоследствии готовую модель, предварительно промыв от остатков жидкого полимера, приходится облучать

мощным источником в специальной камере, чтобы полимеризация достигла 100%.

Достоинства технологии:

- можно получить высокое разрешение печати, т.е. достичь хорошей точности при изготовлении моделей, которая по вертикали зависит в основном от возможностей элеватора, погружающего платформу, и обычно составляет 100 мкм, а в лучших аппаратах до 25–50 мкм; по горизонтали точность определяется фокусировкой лазерного луча, вполне реальным является диаметр «пятна» в 200 мкм; соответственно и качество поверхности даже без дополнительной обработки получается высоким;
- можно получать очень большие модели, размером до 150×75×55 см и весом до 150 кг;
- механическая прочность получаемых образцов достаточно высока, они могут выдерживать температуру до 100°C;
- очень мало ограничений на сложность модели и наличие у нее мелких элементов;
- малое количество отходов;
- легкость финишной обработки, если таковая вообще потребуется.

Недостатки:

- ограниченный выбор материалов для изготовления моделей;
- невозможность цветной печати и сочетания разных материалов в одном цикле;
- малая скорость печати, максимум 10–20 миллиметров в час по вертикали;
- очень большие габариты и вес: так, один из аппаратов «3D Systems ProX 950» (рисунок 1.1) весит 2,4 тонны при размерах 2,2×1,6×2,26 м³.



Рисунок 1.1 – Внешний вид принтера «3D Systems ProX 950»

1.2 Выборочное лазерное спекание

Этот метод появился примерно в то же время, что и предыдущий, и даже имеет с ним много общего, только вместо жидкости используется порошок с диаметром частиц 50–100 мкм, тонкими равномерными слоями распределяемый в горизонтальной плоскости, а потом лазерный луч спекает участки, подлежащие отверждению на данном слое модели.

Исходные материалы могут быть: металл, пластик, керамика, стекло, литейный воск. Порошок наносится и разравнивается по поверхности рабочего стола специальным валиком, который при обратном проходе удаляет излишки порошка. Затем работает мощный лазер, спекающий частицы друг с другом и с предыдущим слоем, после чего стол опускается на величину, равную высоте одного слоя. Для снижения мощности лазера, необходимой для спекания, порошок в рабочей камере предварительно нагревается почти до температуры плавления, а сам лазер работает в импульсном режиме, поскольку для спекания важнее пиковая мощность, а не длительность воздействия.

Частицы могут расплавляться полностью или частично (по поверхности). Незапеченный порошок, остающийся вокруг отвердевших слоев, служит поддержкой при создании нависающих элементов модели, поэтому нет необходимости в формировании специальных поддерживающих структур. Но этот порошок по окончании процесса необходимо удалить как из камеры, особенно если следующая модель будет создаваться из другого материала, так и из полостей уже изготовленной модели, что можно сделать лишь после ее полного остывания.

Зачастую требуется финишная обработка — например, полировка, поскольку поверхность может получаться шероховатой или с видимой слоистостью. Кроме того, материал может использоваться не только чистый, но и в смеси с полимером или в виде частиц, покрытых полимером, остатки которого нужно удалить путем выжигания в специальной печи. Для металлов одновременно происходит заполнение возникающих пустот бронзой.

Поскольку речь идет о высоких температурах, необходимых для спекания, процесс происходит в азотной среде с малым содержанием кислорода. При работе с металлами это еще и предотвращает окисление.

Серийно выпускаемые установки SLS позволяют работать с достаточно большими объектами, до $55 \times 55 \times 75$ см³.

Габариты и вес самих установок, достаточно впечатляющие. Так, аппарат «Formiga P100» (рисунок 1.2), при размерах изготавливаемых моделей $20 \times 25 \times 33$ см³ имеет размеры $1,32 \times 1,07 \times 2,2$ м³ при весе 600 кг, и это без учета таких опций, как установки для смешивания порошка и системы очистки-фильтрации. Причем работать установка может только с пластиками (полиамид, полистирол).



Рисунок 1.2 – Аппарат «Formiga P100»

Вариантами технологии являются:

- Селективное лазерное плавление, которое используется для работы с чистыми металлами без примесей полимера и позволяет создать готовый образец за один этап.

Электронно-лучевое плавление с использованием электронного луча вместо лазера; эта технология требует работы в вакуумной камере, но позволяет использовать даже такие металлы, как титан.

Принтер «SPRO 250 Direct Metal» (рисунок 1.3) производства «3D Systems», который, как понятно из названия, может работать с металлами, с рабочей камерой $25 \times 24 \times 32$ см³ имеет размер $1,7 \times 0,8 \times 2$ м³ и вес 1225 кг. Заявленная скорость от 5 до 20 кубических сантиметров в час. Модель объемом со стакан будет изготавливаться минимум 10 часов.



Рисунок 1.3 – Принтер «SPRO 250 Direct Metal»

Достоинства:

- широкий спектр материалов, пригодных для использования;
- позволяет создавать сложные модели;
- скорость может достигать 30–40 мм в час по вертикали;
- может использоваться не только для создания прототипов, но и для мелкосерийного производства, в т.ч. ювелирных изделий.

Недостатки:

- требуются мощный лазер и герметичная камера, в которой создается среда с малым содержанием кислорода;
- максимальное разрешение: минимальная толщина слоя 0,1–0,15 мм (в зависимости от материала может быть и немного менее 0,1 мм); по горизонтали, точность определяется фокусировкой лазерного луча;
- требуется долгий подготовительный этап для прогрева порошка, а затем нужно ждать остывания полученного образца, чтобы можно было удалить остатки порошка;
- в большинстве случаев требуется финишная обработка.

1.3 Метод многоструйного моделирования

Принтеры, основанные на данной технологии, выпускаются компанией «3D Systems». В связи с патентными ограничениями есть и названия, используемые другими производителями принтеров: PolyJet(Photopolymer Jetting, компания «Stratasys»), DODJet (Drop-On-Demand Jet, компания «SolidScape»).

Процесс очень напоминает обычную струйную печать: материал подается через сопла малого диаметра, расположенные рядами на печатающей головке. Количество сопел может быть от нескольких штук до нескольких сотен. Конечно, материал не является жидким при комнатной температуре: сначала он нагревается до температуры плавления (как правило, не очень высокой), затем подается в головку, наносится послойно и застывает. Слои формируются перемещением головки в горизонтальной плоскости, а вертикальное смещение при переходе к следующему слою, как и в предыдущих случаях, обеспечивается опусканием рабочего стола. В варианте DODJet добавляется этап обработки слоя фрезерной головкой.

В качестве материала для принтеров используют пластики, фотополимеры, специальный воск. Возможна и комбинация разных материалов. В отличие от предыдущих двух технологий, выступающие под большим углом элементы моделей или горизонтальные перемычки во избежание провисаний требуют применения поддерживающих структур, которые при финишной обработке приходится удалять. Чтобы не делать это вручную, можно применить для поддержек материал с меньшей температурой плавления, чем для собственно модели, и потом удалить его расплавлением в специальной печи. Другой вариант — использование для поддержек материала, который удаляется растворением в специализированном растворе, а порой и просто в воде.

Использование фотополимера, как и в стереолитографии, потребует отверждения ультрафиолетом, поэтому напечатанный слой засвечивается

УФ-лампой. Воск же затвердевает при естественном охлаждении. Конечно, восковые модели не отличаются особой прочностью, но их очень легко использовать при изготовлении форм для литья.

Как и в обычной струйной печати, использование материалов разного цвета позволит создавать за один цикл многоцветные модели, а смешение базовых цветов даст возможность получать множество оттенков. Кроме этого, можно сочетать в одной модели материалы с разными свойствами — например, твердые и эластичные.

Компактный принтер «SolidScape 3Z» (рисунок 1.4) при собственных размерах $56 \times 50 \times 42$ см³ и весе 34 кг позволяет создавать модели размерами до $152 \times 152 \times 101$ мм³, обеспечивая разрешение 5000×5000 dpi (197×197 точек/мм) по осям X, Y и 8000 dpi (158 точек/мм) по оси Z.



Рисунок 1.4 – Принтер «SolidScape 3Z»

В этих принтерах как раз и используется воск двух типов: более тугоплавкий ($95\text{--}115^\circ\text{C}$) для собственно моделей и легкоплавкий ($50\text{--}72^\circ\text{C}$) для поддерживающих структур, которые потом удаляются при низких температурах с помощью специального раствора.



Рисунок 1.5 – Воск для моделей «3Z LabCast»

Достоинства:

- достижимы малая толщина слоя (от 16 мкм) и разрешение построения поверхности (до 8000 dpi);
- возможность многоцветной печати и сочетания материалов с разными свойствами;
- принтеры могут быть компактными, особенно в сравнении с предыдущими двумя технологиями.

Недостатки:

- для моделей с нависающими или горизонтально выступающими элементами требуются поддержки, которые приходится тем или иным способом удалять;
- ограниченный выбор материалов для работы.

1.4 Послойное склеивание пленок

Тонкие листы материала раскраиваются лазерным лучом или специальным лезвием, а потом тем или иным способом соединяются между

собой. Для создания 3D-моделей может использоваться не только пластик, но даже бумага, керамика или металл.

Цветной 3D-принтер «Mcor IRIS» (рис. 1.6-1.7), представлен компанией «Mcor Technologies». Он использует в качестве материала самые обычные листы бумаги формата A4 или Letter плотностью 160 г/м², которые окрашиваются в необходимый цвет. Разрешение печати 5760×1440×508 точек на дюйм, а максимальный размер создаваемых объектов составляет 256×169×150 мм³. При этом обеспечивается полноцветная печать с передачей более миллиона цветов.



Рисунок 1.6 – 3D-принтер «Mcor IRIS»

На рис. 1.7 изображен 3D-принтер на подставке: габаритные размеры самого принтера 95×70×80 см³, вес 160 кг. В подставке размером 116×72×94 см³ и весом еще 150 кг скрывается цветной 2D-принтер.

Создание модели ведется в несколько этапов: на первом пачка бумаги загружается в 2D-принтер и на каждом из листов в цвете печатается нужный слой.



Рисунок 1.7 – 3D-принтер «Mscor IRIS» на подставке

Затем отпечатанные листы переносятся оператором в 3D-принтер, где специальным лезвием на каждом из них делается прорезь по границе нанесенного изображения, а потом листы склеиваются между собой. На третьем этапе оператор вручную удаляет лишнюю бумагу, не содержащую изображения, что для сложных моделей может занять немало времени.

В процессе работы получается много отходов.

Модели получаются очень впечатляющими и довольно прочными, а их себестоимость не высока.

Есть и естественное ограничение на толщину слоя, равную толщине листа бумаги. Это очень хорошо заметно на следующей модели (рисунок 1.8):



Рисунок 1.8 – Модель банана

Достоинства:

- возможность полноцветной печати с высоким разрешением по осям X и Y;
- доступность и относительная дешевизна главного расходного материала — бумаги;
- можно создавать довольно большие модели;
- для моделей с нависающими или горизонтально выступающими элементами не требуется формирование поддерживающих структур.

Недостатки:

- крайне ограниченный набор материалов для создания моделей (в Mcoг IRIS — только бумага), а отсюда и ограничения на прочностные и другие свойства создаваемых образцов;
- толщина слоя всецело зависит от толщины используемого листового материала, из-за чего модель порой получается грубой, а механическая обработка для сглаживания возможна не всегда, поскольку может привести к расслоению;
- наличие немалого количества отходов, причем если горизонтальные проекции модели гораздо меньше листа A4/Letter, то отходов получается очень много; избежать этого можно одновременным изготовлением нескольких небольших образцов;
- всегда требуется финишная обработка, связанная с удалением лишнего материала, она лишь может быть проще или сложнее в зависимости от свойств модели; причем если модель имеет полости с ограниченным доступом, то удалить из них лишнее может быть попросту невозможно.

1.5 3D Printing (3DP, 3D-печать)

Основой для будущего объекта является порошок (гипсовый композит), только он не спекается, а послойно склеивается введением связующего вещества.

Для построения очередного слоя модели по всей площади рабочего стола валиком наносится и разравнивается порошок, в который печатающей головкой, напоминающей струйную, по форме данного сечения модели вводится жидкий клей. Затем стол с уже созданными слоями опускается и процесс повторяется нужное количество раз, а по окончании происходит нагрев для ускорения высыхания клеящего состава. После этого лишний порошок, оставшийся несвязанным, удаляется: в основном автоматически, возвращаясь в бункер для последующей работы, а из труднодоступных мест — струей воздуха (станция очистки может быть встроена в дорогие модели) или кистью.

Но в получившейся модели остаются поры — пространство между частичками порошка, а поверхность получается шероховатой. Для придания нужных свойств (гладкости, прочности, малой гигроскопичности) ее нужно обработать специальным составом-закрепителем. В его качестве может выступать гептагидрат сульфата магния, воск, парафин, цианокрилаты и эпоксидная смола; часть из них можно наносить простым опрыскиванием или погружением, а для других используются специальные станции.

Красители вводятся в связующее вещество и их смешение позволяет получить от 64 до 390000 оттенков. Некоторые типы закрепителей позволяют сделать цвета очень яркими.

Такой способ используется в серии «ZPrinter», выпускавшейся компанией «ZCorporation». В серию входят и цветные, и монохромные принтеры с размерами рабочих камер до $508 \times 381 \times 229$ мм³. Толщину слоя можно задавать ступенями от 0,089 до 0,125 мм, а скорость работы может достигать 2700 см³/час.

Младшая модель серии, принтер ProJet 160 (ZPrinter 150), имеет рабочую камеру $236 \times 185 \times 127$ мм³, единственно возможную толщину слоя 0,1 мм. Габаритные размеры аппарата $740 \times 790 \times 1400$ мм³ при весе 165 кг.

Обеспечиваемое этим аппаратом разрешение составляет 300 dpi по оси X, 450 dpi по Y и 250 dpi (т.е. 0,1 мм) по Z. Печатающая головка имеет 304 сопла, а скорость работы 870 см³/час. Поскольку используется композитный гипсовый материал белого цвета, то и модели получаются белыми; возможности цветной печати нет.

Достоинства:

- позволяет создавать очень сложные модели без поддерживающих структур;
- возможность полноцветной печати с высоким разрешением.

НЕдостатки:

- крайне ограниченное количество материалов, пригодных для использования;
- в ряде случаев требуется финишная обработка, особенно когда нельзя мириться с шероховатой поверхностью;
- малая прочность получившихся образцов даже после обработки закрепляющим составом.

1.6 Послойное наплавление

Как и во всех остальных рассмотренных технологиях, модель создается послойно. Для изготовления очередного слоя термопластичный материал нагревается в печатающей головке до полужидкого состояния и выдавливается в виде нити через сопло с отверстием малого диаметра, оседая на поверхности рабочего стола (для первого слоя) или на предыдущем слое, соединяясь с ним. Головка перемещается в горизонтальной плоскости и

постепенно «рисует» нужный слой — контуры и заполнение между ними, после чего происходит вертикальное перемещение (чаще всего опусканием стола, но есть модели, в которых приподнимается головка) на толщину слоя и процесс повторяется до тех пор, пока модель не будет построена полностью. На рисунке 1.9 изображен 3D принтер для послойного наращивания.



Рисунок 1.9 – 3D принтер для послойного наращивания

В качестве расходного материала чаще всего используются различные пластики, хотя есть и модели, позволяющие работать с другими материалами — оловом, сплавами металлов с невысокой температурой плавления.

Недостатки, присущие данной методике, очевидны:

невысокая скорость работы;

небольшая разрешающая способность как по горизонтали, так и по вертикали, что приводит к более или менее заметной слоистости поверхности изготовленной модели;

проблемы с фиксацией модели на рабочем столе (первый слой должен прилипнуть к поверхности платформы, но так, чтобы готовую модель можно было снять); их пытаются решить разными способами — подогревом рабочего стола, нанесением на него различных покрытий, однако совсем и всегда избежать не получается;

для нависающих элементов требуется создание поддерживающих структур, которые впоследствии приходится удалять, но даже с учетом этого некоторые модели попросту невозможно сделать за один цикл, и приходится разбивать их на детали с последующим соединением склейкой или другим способом.

Есть и менее очевидные недостатки, например, зависимость прочности от направления, в котором прикладывается усилие. Так, можно сделать образец достаточно прочным на сжатие в направлении, перпендикулярном расположению слоев, но вот на скручивание он будет гораздо менее прочным: возможен разрыв по границе слоев.

Другой момент в той или иной мере присущ любой технологии, связанной с нагревом: это термоусадка, которая приводит к изменению размеров образца после остывания. Конечно, тут много зависит от свойств используемого материала, но порой нельзя примириться даже с изменениями в несколько десятых долей процента.

Далее: технология может показаться безотходной только на первый взгляд. И речь не только о поддерживающих структурах в сложных моделях, немало пластика уходит в отходы даже у опытного оператора при подборе оптимального для конкретной модели режима печати.

2 МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ

Ассортимент материалов [2] для послойного наплавления является, пожалуй, самым широким среди всех доступных технологий. Как правило, для печати используются термопластики, но есть и исключения – композитные материалы, содержащие различные добавки, но основанные, опять-таки, на термопластиках.

2.1 Полилактид (PLA, ПЛА)

Полилактид – один из наиболее широко используемых термопластиков, что обуславливается сразу несколькими факторами. PLA известен своей экологичностью. Этот материал является полимером молочной кислоты, что делает PLA полностью биоразлагаемым материалом. Сырьем для производства полилактида служат кукуруза и сахарный тростник. В то же время, экологичность полилактида обуславливает его недолговечность. Пластик легко впитывает воду и относительно мягок. Как правило, модели из PLA не предназначаются для функционального использования, а служат в качестве дизайнерских моделей, сувениров и игрушек. Среди немногих практических промышленных применений можно отметить производство упаковки для пищевых продуктов, контейнеров для лекарственных препаратов и хирургических нитей, а также использование в подшипниках, не несущих высокой механической нагрузки (например, в моделировании), что возможно благодаря отличному коэффициенту скольжения материала.

Одним из наиболее важных факторов для применения в 3D-печати служит низкая температура плавления – всего 170-180°C, что способствует относительно низкому расходу электроэнергии и использованию недорогих сопел из латуни и алюминия. Как правило, экструзия производится при 160-170°C. В то же время, PLA достаточно медленно застывает (температура стеклования составляет порядка 50°C), что следует учитывать при выборе

3D-принтера. Оптимальным вариантом является устройство с корпусом открытого типа, подогреваемой рабочей платформой (во избежание деформаций моделей большого размера) и, желательно, дополнительными вентиляторами для охлаждения свежих слоев модели.

PLA обладает низкой усадкой, то есть потерей объема при охлаждении, что способствует предотвращению деформаций. Тем не менее, усадка имеет кумулятивный эффект при увеличении габаритов печатаемых моделей. В последнем случае может потребоваться подогрев рабочей платформы для равномерного охлаждения печатаемых объектов.

Стоимость PLA относительно невелика, что добавляет популярности этому материалу.

2.2 Акрилонитрилбутадиенстирол (ABS, АБС)

ABS-пластик – пожалуй, самый популярный термопластик из используемых в 3D-печати, но не самый распространенный. Такое противоречие объясняется определенными трудностями технического характера, возникающими при печати ABS. Желание умельцев использовать ABS обуславливается отличными механическими свойствами, долговечностью и низкой стоимостью этого материала. В промышленности ABS-пластик уже получает широкое применение: производство деталей автомобилей, корпусов различных устройств, контейнеров, сувениров, различных бытовых аксессуаров и пр.

ABS-пластик устойчив к влаге, кислотам и маслу, имеет достаточно высокие показатели термоустойчивости – от 90°C до 110°C. К сожалению, некоторые виды материала разрушаются под воздействием прямого солнечного света, что несколько ограничивает применение. В то же время, ABS-пластик легко поддается окраске, что позволяет наносить защитные покрытия на немеханические элементы.

Несмотря на относительно высокую температуру стеклования порядка 100°C, ABS-пластик имеет относительно невысокую температуру плавления. Собственно, ввиду аморфности материала, ABS не имеет точки плавления, как таковой, но приемлемой температурой для экструзии считается 180°C, что на одном уровне с вышеописанным PLA. Более низкий разброс температур между экструзией и стеклованием способствует более быстрому застыванию ABS-пластика по сравнению с PLA.

Основным недостатком ABS-пластика можно считать высокую степень усадки при охлаждении – материал может потерять до 0,8% объема. Этот эффект может привести к значительным деформациям модели, закручиванию первых слоев и растрескиванию. Для борьбы с этими неприятными явлениями используются два основных решения. Во-первых, применяются подогреваемые рабочие платформы, способствующие снижению градиента температур между нижними и верхними слоями модели. Во-вторых, 3D-принтеры для печати ABS-пластиком зачастую используют закрытые корпуса и регулировку фоновой температуры рабочей камеры. Это позволяет поддерживать температуру нанесенных слоев на отметке чуть ниже порога стеклования, снижая степень усадки. Полное охлаждение производится после получения готовой модели.

Относительно низкая «липучесть» ABS-пластика может потребовать дополнительных средств для схватывания с рабочей поверхностью, таких как клейкая лента, полиимидная пленка или нанесение раствора ABS-пластика в ацетоне на платформу непосредственно перед печатью

В то время как при комнатной температуре ABS не представляет угрозы здоровью, при нагревании пластика выделяются пары акрилонитрила – ядовитого соединения, способного вызвать раздражение слизистых оболочек и отравление. Хотя объемы производимого акрилонитрата при маломасштабной печати незначительны, рекомендуется печатать в хорошо проветриваемых помещениях или предусмотреть вытяжку. Хорошая растворимость ABS-пластика в ацетоне весьма полезна, так как позволяет

производить большие модели по частям с последующим склеиванием, что значительно расширяет возможности недорогих настольных принтеров.

2.3 Поливиниловый спирт (PVA, ПВА)

Поливиниловый спирт – материал с уникальными свойствами и особым применением. Главной особенностью PVA является его водорастворимость. 3D-принтеры, оснащенные двойными экструдерами, имеют возможность печати моделей с опорными структурами из PVA. По завершении печати опоры могут быть растворены в воде, оставляя готовую модель, не требующую механической или химической обработки неровностей. Аналогично, PVA можно применять для создания водорастворимых мастер-моделей для литейных форм и самих литейных форм.

Механические свойства PVA достаточно интересны. При низкой влажности пластик обладает высокой прочностью на разрыв. При повышении влажности уменьшается прочность, но возрастает эластичность. Температура экструзии составляет 160-175°C, что позволяет использовать PVA в принтерах, предназначенных для печати ABS и PLA-пластиками.

Так как материал легко впитывает влагу, рекомендуется хранение PVA пластика в сухой упаковке и, при необходимости, просушка перед использованием. Сушку можно производить в гончарной печи или обыкновенной духовке. Как правило, просушка стандартных катушек занимает 6-8 часов при температуре 60-80°C. Превышение температуры в 220°C приведет к разложению пластика, что следует учитывать при печати.

2.4 Нейлон (Nylon)

Нейлон привлекателен своей высокой износостойкостью и низким коэффициентом трения. Так, нейлон зачастую используется для покрытия трущихся деталей, что повышает их эксплуатационные качества и зачастую позволяет функционировать без смазки. Вслед за широким применением

нейлона в промышленности, материалом заинтересовались и в сфере аддитивного производства.

В реальности существует несколько видов нейлона, производимых разными методами и имеющих несколько отличающиеся характеристики. Наиболее известным является нейлон-66, созданный американской компанией DuPont в 1935 году. Вторым наиболее популярным вариантом является нейлон-6, разработанный компанией BASF в обход патента DuPont. Эти два варианта очень схожи. С точки зрения 3D-печати основным различием является температура плавления: нейлон-6 плавится при температуре 220°C, а нейлон-66 при 265°C.

Так как нейлон легко впитывает влагу, расходный материал следует хранить в вакуумной упаковке или, как минимум, в контейнере с водоабсорбирующими материалами. Признаком чрезмерно влажного материала станет пар, исходящий из сопла во время печати, что не опасно, но может ухудшить качество модели.

При печати нейлоном не рекомендуется использовать полиимидное покрытие рабочего стола, так как эти два материала сплавляются друг с другом. В качестве покрытия можно использовать липкую ленту с восковой пропиткой (masking tape). Использование подогреваемой платформы поможет снизить возможность деформации модели, аналогично печати ABS-пластиком. В связи с низким коэффициентом трения нейлона, следует использовать экструдеры с шипованными протягивающими механизмами.

Слои нейлона прекрасно схватываются, что минимизирует вероятность расслоения моделей.

Нейлон плохо поддается склеиванию, поэтому печать крупных моделей из составных частей затруднительна. Как вариант, возможна сплавка частей.

Так как при нагревании нейлона возможно выделение токсичных паров, рекомендуется производить печать в хорошо вентилируемых помещениях или с использованием вытяжки.

2.5 Поликарбонат (РС, ПК)

Поликарбонаты привлекательны за счет своей высокой прочности и ударной вязкости, а также устойчивости к высоким и низким температурам.

Температура экструзии зависит от скорости печати во избежание растрескивания, но минимальной температурой на скорости 30мм/сек можно считать 265°C. При печати рекомендуется использование полиимидной пленки для лучшего схватывания с поверхностью рабочего стола. Высокая склонность поликарбоната к деформации требует использования подогреваемой платформы и, при возможности, закрытого корпуса с подогревом рабочей камеры.

Поликарбонат обладает высокой гигроскопичностью (легко поглощает влагу), что требует хранения материала в сухих условиях во избежание образования пузырьков в наносимых слоях. В случае длительной печати во влажном климате может потребоваться хранение даже рабочей катушки во влагозащитном контейнере.

2.6 Полиэтилен высокой плотности (HDPE, ПНД)

Пожалуй, наиболее распространенный пластик в мире, полиэтилен относительно редок среди 3D-печатных материалов. Причиной тому служат сложности при послойном изготовлении моделей.

Полиэтилен легко плавится (130-145°C) и быстро застывает (100-120°C), вследствие чего наносимые слои зачастую не успевают схватываться. Кроме того, полиэтилен отличается высокой усадкой, что провоцирует закрутку первых слоев и деформацию моделей в целом при неравномерном застывании. Печать полиэтиленом требует использования подогреваемой платформы и рабочей камеры с аккуратной регулировкой температурного режима для замедления остывания нанесенных слоев. Кроме того, потребуется производить печать на высокой скорости.

Трудности в использовании компенсируются дешевизной и общедоступностью этого материала. В последнее время были разработаны несколько устройств для переработки пластиковых отходов из ПНД (бутылок, пищевой упаковки и пр.) в стандартные нити для печати на принтерах.

При плавлении полиэтилена происходит эмиссия паров вредных веществ, поэтому рекомендуется производить печать в хорошо вентилируемых помещениях.

2.7 Полипропилен (PP, ПП)

Полипропилен – широко распространенный пластик, применяемый в производстве упаковочных материалов, посуды, шприцов, труб и пр. Материал имеет низкую удельную массу, нетоксичен, обладает хорошей химической стойкостью, устойчив к влаге и износу и достаточно дешев. Среди недостатков полипропилена можно отметить уязвимость к температурам ниже -5°C и к воздействию прямого солнечного света.

Главной трудностью при печати полипропиленом является высокая усадка материала при охлаждении – до 2,4%. Для сравнения, усадка популярного, но уже достаточно проблематичного ABS-пластика достигает 0,8%. Несмотря на то, что полипропилен хорошо прилипает к холодным поверхностям, рекомендуется производить печать на подогреваемой платформе во избежание деформации моделей. Минимальная рекомендуемая температура экструзии составляет 220°C .

2.8 Поликапролактон (PCL)

Поликапролактон (он же Hand Moldable Plastic, Mold-Your-Own Grips, InstaMorph, Shapelock, Friendly Plastic, Polymorph, Полиморфус, Экоформакс) – биоразлагаемый полиэстер, отличающийся чрезвычайно низкой температурой плавления порядка 60°C . На практике, это свойство создает

определенные проблемы при 3D-печати, так как далеко не все 3D-принтеры можно настроить для работы при столь низких температурах. Нагревание поликапролактона до привычных экструзионных температур (около 200°C) вызывает потерю механических свойств и может привести к поломке экструдера.

Поликапролактон нетоксичен, что обуславливает его применение в медицинской отрасли, и биоразлагаем. При попадании в организм поликапролактон распадается, что делает печать этим материалом безопасной. Благодаря низкой температуре плавления отсутствует опасность ожогов при прикосновении к свежим моделям. Высокая пластичность материала делает возможным многократное использование.

Поликапролактон малоприспособен для создания функциональных механических моделей ввиду вязкости (температура стеклования составляет -60°C) и низкой теплостойкости (температура плавления составляет 60°C). С другой стороны, этот материал прекрасно подходит для производства макетов и пищевых контейнеров.

Материал легко слипается с поверхностью даже холодного рабочего стола и легко поддается окраске.

2.9 Полифенилсульфон (PPSU)

Полифенилсульфон – высокопрочный термопластик, активно применяемый в авиационной промышленности. Материал имеет прекрасную химическую и тепловую устойчивость и практически не горит. Полифенилсульфон биологически инертен, что позволяет использовать этот материал для производства посуды и пищевых контейнеров. Диапазон эксплуатационных температур составляет от минус 50 до 180°C. Пластик устойчив к воздействию растворителей и горюче-смазочных материалов.

При всех своих достоинствах, полифенилсульфон редко используется в 3D-печати ввиду высокой температуры плавления, достигающей 370°C.

Такие температуры экструзии не под силу большинству настольных принтеров, хотя теоретически печать возможна при использовании керамических сопел. В настоящее время единственным активным пользователем материала является компания Stratasys, предлагающая промышленные установки Fortus.

2.10 Полиметилметакрилат (Acrylic, оргстекло, акрил, ПММА)

Полиметилметакрилат – это всем известное органическое стекло. Материал прочен, влагоустойчив, экологичен, легко поддается склеиванию, достаточно пластичен и устойчив к воздействию прямого солнечного света.

К сожалению, акрил плохо подходит для печати в силу ряда причин. Акрил плохо хранится в виде катушек с нитью, так как постоянное механическое напряжение приводит к постепенному разрушению материала. Во избежание образования пузырьков разрешение печати должно быть высоким – с точностью, практически недоступной для домашних принтеров. Быстрое застывание акрила же требует жесткого климатического контроля рабочей камеры и высокой скорости печати. Опять-таки, показатели скорости печати FDM/FFF принтеров обратно пропорциональны разрешению печати, что усугубляет проблему.

Тем не менее, попытки печати акрилом предпринимаются, а некоторые из них дают относительно положительные результаты. Однако при создании достаточно прочных моделей избежать образования пузырьков и достигнуть привычной прозрачности материала пока не удастся. На данный момент наилучшие результаты с акрилом показывает другая технология печати – многоструйное моделирование (MJM) от компании «3D Systems». В данном случае используется фотополимерный вариант акрила. Значительных успехов достигла и компания Stratasys, использующая собственный фотополимерный имитатор акрила VeroClear на принтерах марки «Objet Eden». Остается надеяться, что высокий спрос на акрил приведет к появлению композитных материалов на основе полиметилметакрилата,

предназначенных специально для FDM/FFF печати.

2.11 Полиэтилентерефталат (PET, ПЭТ)

Полиэтилентерефталат – под этим сложным названием скрывается материал, используемый для производства пластиковых бутылок и другой пищевой и медицинской тары.

Материал имеет высокую химическую устойчивость к кислотам, щелочам и органическим растворителям. Физические свойства ПЭТ также впечатляют высокой износоустойчивостью и терпимостью к широкому диапазону температур – от минус 40° до 75°С. Кроме всего прочего, материал легко поддается механической обработке.

Печать с использованием ПЭТ несколько проблематична, ввиду сравнительно высокой температуры плавления, достигающей 260°С и значительной усадки при остывании, составляющей до 2%. Использование ПЭТ в качестве расходного материала требует примерно тех же условий, что и печать ABS-пластиком.

Для достижения прозрачности моделей необходимо быстрое охлаждение при прохождении порога стеклования, составляющего 70°С – 80°С.

2.12 Ударопрочный полистирол (HIPS)

Ударопрочный полистирол широко используется в промышленности для производства различных бытовых изделий, строительных материалов, одноразовой посуды, игрушек, медицинских инструментов и прочее.

При 3D-печати полистирол демонстрирует физические свойства, весьма схожие с популярным ABS-пластиком, что делает этот материал все более популярным. Наиболее же привлекательной особенностью полистирола является отличие от ABS в отношении химических свойств:

полистирол достаточно легко поддается органическому растворителю Лимонену. Так как на ABS-пластик Лимонен эффекта не имеет, возможно использование полистирола в качестве материала для построения растворимых поддерживающих структур, что исключительно полезно при построении сложных, переплетенных моделей с внутренними опорами. В сравнении с удобным, водорастворимым поливиниловым спиртом (PVA-пластиком), полистирол выгодно отличается относительно низкой стоимостью и устойчивостью к влажному климату, затрудняющему работу с PVA.

Стоит иметь в виду, что некоторые производители ABS-пластика подмешивают в свои расходные материалы несколько более дешевый полистирол. Соответственно, модели из таких материалов могут раствориться в Лимонене вместе с опорными структурами.

При нагревании полистирола до температуры экструзии возможно выделение токсичных испарений, в связи с чем рекомендуется осуществлять печать в хорошо проветриваемых помещениях.

2.13 Древесные имитаторы (LAYWOO-D3, BambooFill)

LAYWOO-D3 – разработка, предназначенная для печати моделей, напоминающих деревянные изделия. Материал на 40% состоит из натуральных древесных опилок микроскопического размера и на 60% из связующего полимера. LAYWOO-D3 весьма прост в обращении, будучи практически неподверженным деформациям и не требуя использования подогреваемой платформы. Согласно производителям, полимер нетоксичен и полностью безопасен.

Уникальные свойства материала позволяют добиваться различных визуальных результатов при печати с разными температурами сопла. Диапазон рабочих температур составляет 180°C-250°C. По мере увеличения

температуры экструзии, оттенок материала становится прогрессивно более темным, позволяя имитировать разные сорта древесины или годовые кольца.

Готовые модели прекрасно поддаются механической обработке – шлифовке, сверлению и пр. Кроме того, изделия легко окрашиваются, а неокрашенные модели даже имеют характерный древесный запах.

К сожалению, стоимость материала почти в четыре раза превышает цену на такие популярные материалы, как PLA и ABS-пластики.

2.14 Имитаторы песчаника (Laybrick)

Композитный материал от изобретателя Кая Парти, ответственного за создание революционного древесного имитатора LAYWOO-D3. На этот раз Кай нацелился на имитацию песчаника, используя опробованный метод смешивания связующего материала с наполнителем – в данном случае минеральным.

Laybrick позволяет производить объекты с различной текстурой поверхности. При низких температурах экструзии порядка 165°C-190°C готовые изделия имеют гладкую поверхность. Повышение температуры печати делает материал более шершавым, вплоть до высокой степени сходства с натуральным песчаником при температуре экструзии свыше 210°C.

Материал легок в работе, не требуя подогрева рабочей платформы, не демонстрируя существенных деформаций при усадке и не производя токсичные испарения при нагревании. Единственным недостатком можно считать достаточно высокую стоимость материала, что в немалой степени обуславливается ограниченным производством.

2.15 Имитаторы металлов (BronzeFill)

Имитаторы металлов успешно используются в струйной 3D-печати, где формирование изделий происходит из металлических порошков, частицы которых скрепляются наносимым связующим материалом.

Интересным примером служит BronzeFill – фактически, прозрачный PLA-пластик с наполнителем из микрочастиц бронзы. Материал должен доказать пригодность для использования в любых принтерах, предназначенных для работы с полилактидом.

Готовые изделия легко поддаются полировке, достигая высокого внешнего сходства с цельнометаллическими изделиями. В то же время стоит учитывать, что связующим элементом материала является термопластик, с соответствующими механическими и температурными ограничениями.

3 ЭКСТРУДЕРЫ

Экструдер создает объект послойно, выдавливая размягченный материал через сопло [3]. Чаще всего, для печати используются термопластики в виде нити (рис. 3.1).

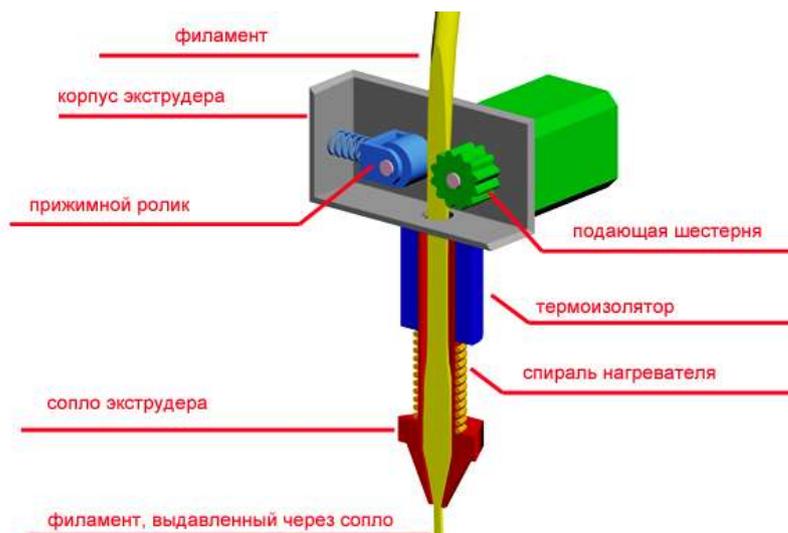


Рис. 3.1 Схема экструдера материала в виде нити

Экструдер для печати пластиком делится на две основные части: блок с механизмом подачи материала и сопло с нагревателем (рис. 3.2).

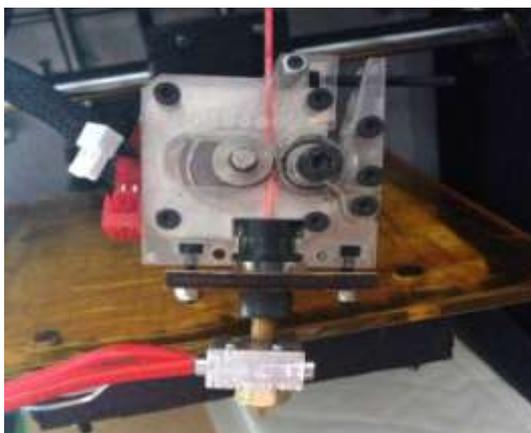


Рис. 3.2 Экструдер «Solidoodle»

Экструдер 3D-принтера «Solidoodle». Хорошо видно красную нить, зажатую между подающим роликом (слева) и прижимным. Прямоугольная алюминиевая деталь на сопле — нагреватель.

Подаватель нити состоит из колеса (шестерни), соединенного с электромотором (напрямую или через редуктор), и прижимного механизма. Подающее колесо, вращаясь, вытягивает нить из катушки и направляет его в нагреватель, где пластик плавится под воздействием высокой температуры и выдавливается через отверстие в сопле.

Выходную часть экструдера делают из металла с высокой теплопроводностью (алюминия или латуни); нагревательный элемент, как правило, выполнен в виде одного-двух резисторов или спирали из нихромовой проволоки. Для отслеживания и последующей регулировки температуры, к соплу экструдера крепится датчик (термопара).

Важнейший аспект — размер сопла экструдера. Именно от него зависит, в большой степени, качество печати.

Производители 3D-принтеров обычно оснащают свои экструдеры соплами с отверстием диаметром 0.4-0.5 мм. В свою очередь, использование сопла меньшего диаметра (0.3-0.2 мм) может обеспечить лучшую детализацию, четкость граней и чистоту поверхности объекта, т.к. выдавливаются более мелкие капли пластика.

С другой стороны, маленькое сопло увеличивает время печати объекта, оно более склонно к забиванию мусором и застывшей пластмассой. Потенциально, также растут требования к мощности подавателя нити, т.к. экструдеру становится сложнее протолкнуть пластик через маленькое отверстие (рис. 3.3)



Рис. 3.3. Сменные сопла экструдера

В любом случае, в современных 3D-принтерах, как правило, можно использовать сменные сопла с отверстиями разного диаметра.

4 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

4.1 Цель работы

Приобретение навыков навыки 3D печати и работы с 3D принтером Hercules 3D.

4.2 Основные теоретические сведения

Repitier host - одна из распространённых программ для работы с 3D принтерами (рис. 4.1).

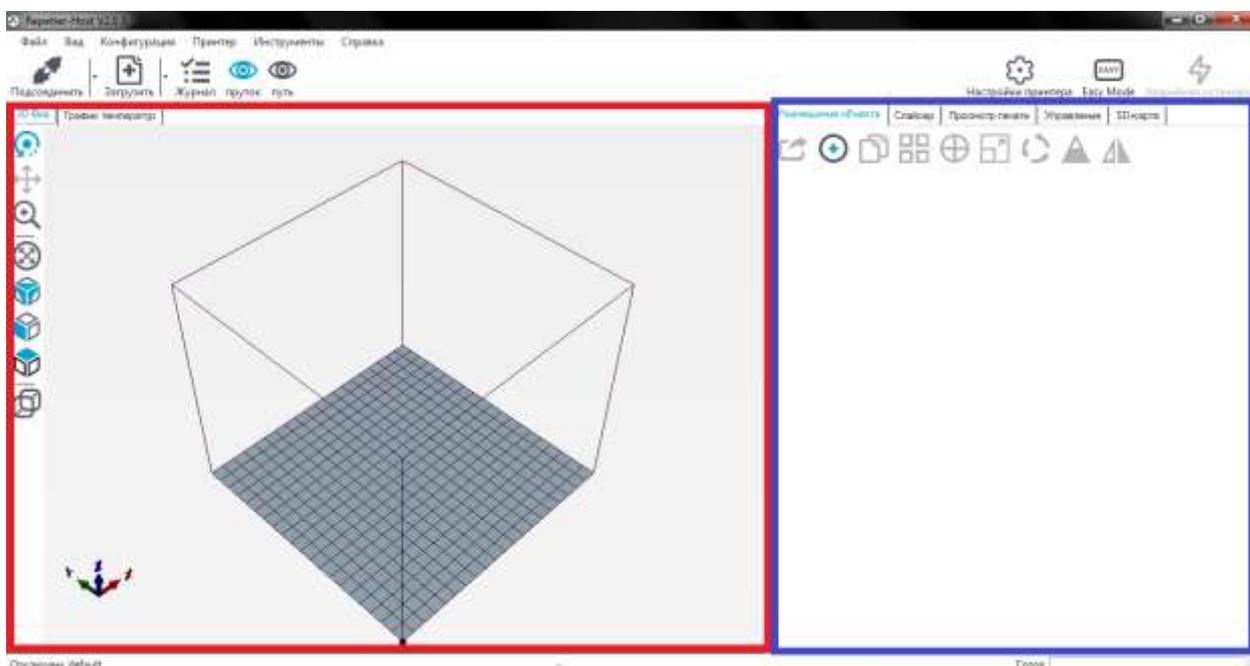


Рисунок 4.1 – Вид экрана компьютера с программой Repitier host

Зона внутри красного прямоугольника имеет две вкладки: «3D-вид» и «График температур». Во вкладке «3D-вид» можно наблюдать за расположением печатаемой модели на столе 3D принтера. Эта вкладка имеет кнопки управления, расположенные в крайнем левом положении:



«Вращение»;

 «Перемещение»;

 «Масштаб»;

 «Zoom objects to fit» (масштабирует отображение, так, чтобы были видны все модели в окне);

 «Изометрия»;

 «Вид спереди»;

 «Вид сверху»;

 «Включение параллельной геометрии».

Менять угол просмотра можно при помощи указателя мыши. В нижнем левом углу имеется единичная система координат.

Зона внутри синего прямоугольника имеет несколько вкладок: «Расположение объекта», «Слайсер», «Просмотр печати», «Управление» и «SD-карта». И является основным органом управления программы.

Вкладка «Расположение объекта»

Данная вкладка также как и вкладка «3D-вид» имеет несколько управляющих кнопок:

 «Сохранить как STL»;

 «Добавить объект»;



«Копировать объект(ы)»;



«Авторазмещение объектов»;



«Центрировать объект на столе»;



«Масштабировать объект»;



«Повернуть объект»;



«Просмотр пересекающихся секций»;



«Зеркальное отображение».

При добавлении файла 3D модели, с расширениями: «*.stl», «*.obj», «*.3ds», «*.ast» он отображаться как показано на рисунке 4.2.

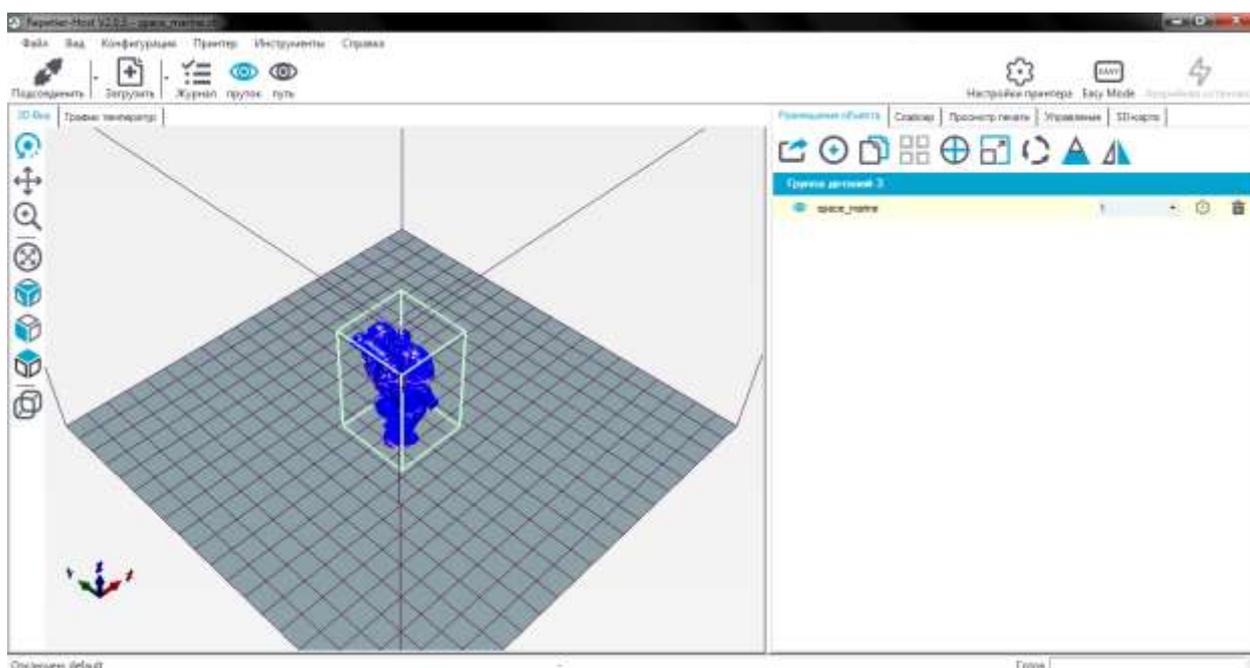


Рисунок 4.2 – Интерфейс программы Repitier host

Иконка глаза позволяет скрыть или показать объект. Иконка шестерёнки, при нажатии, вызывает окно, показанное на рисунке 4.3, имеющее две вкладки: «Настройки» и «Analysis».

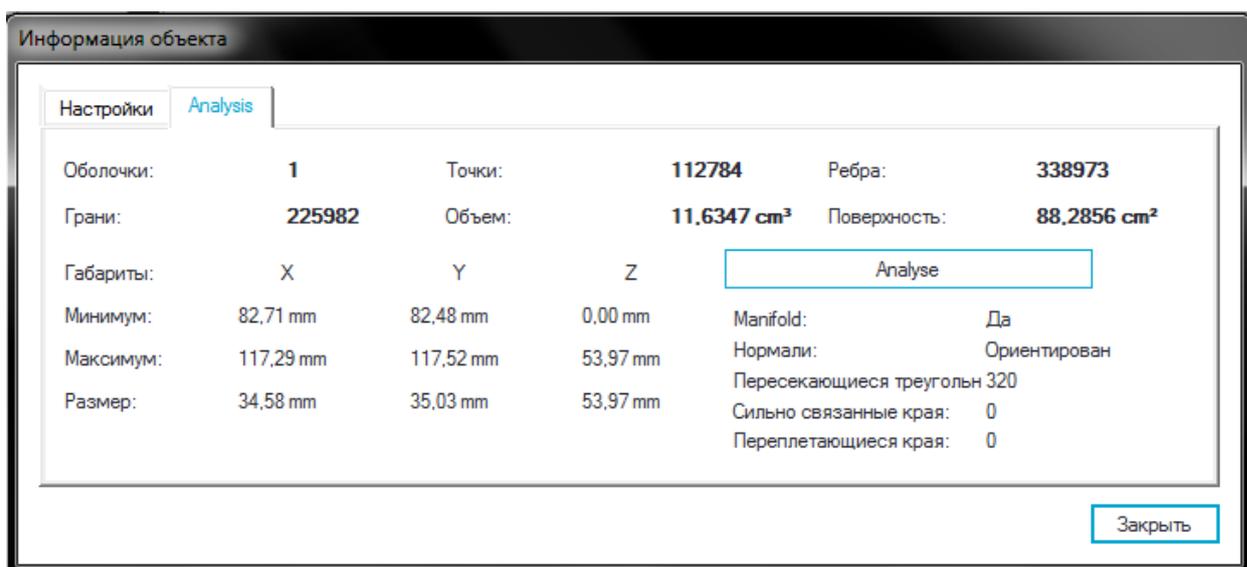
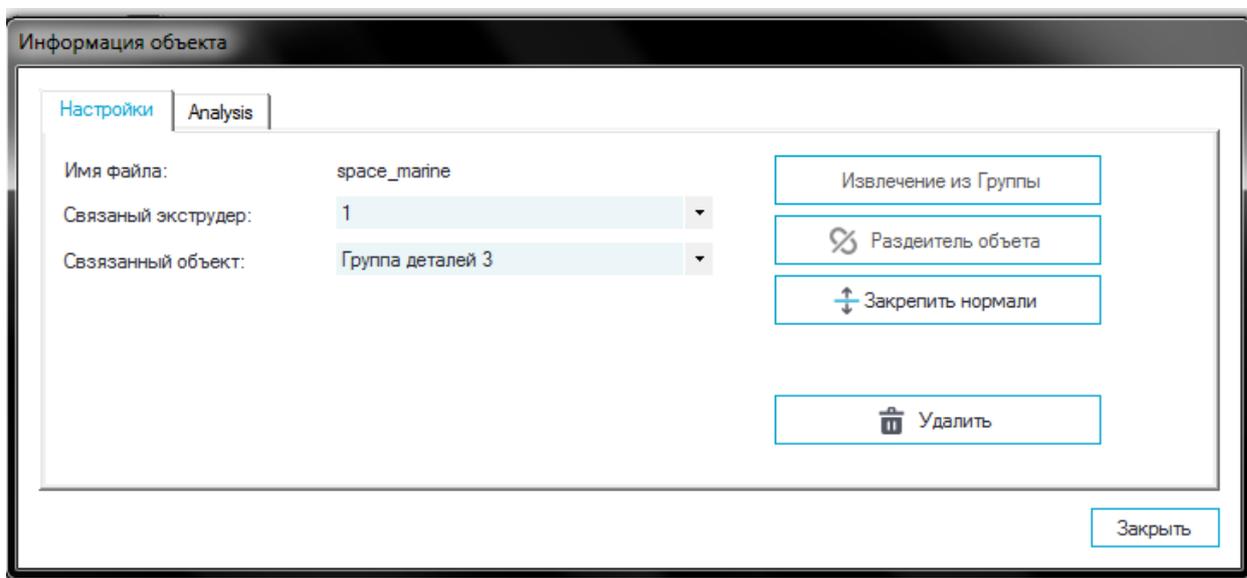


Рисунок 4.3 – Настройки и Analysis

Иконка в виде корзины удаляет соответствующий объект.

Кнопка «Копировать объекты» вызывает окно (рисунок 4.4), в котором можно указать количество копий и автоматически разместить их на столе.

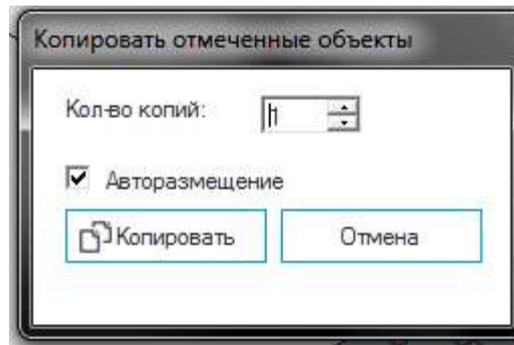


Рисунок 4.4 – Копировать объекты

Кнопка «Масштабировать объект» позволяет менять масштаб детали для каждой оси (рис. 4.5). Также можно заблокировать оси «Y» и «Z» кнопкой с иконкой замка, для того чтобы менять масштаб сразу по трём осям. Кнопка «Масштаб на максимум» максимально масштабирует модель в область печати 3D принтера.

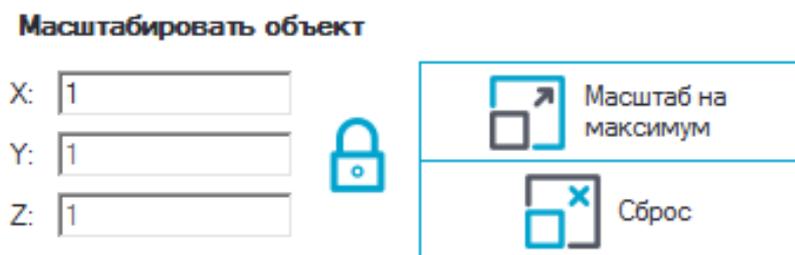


Рисунок 4.5 – Масштабирование объекта

Кнопка «Повернуть объект» позволяет вращать модель также по трём осям (рисунок 4.6). Кнопка «Lay Flat» располагает модель на ближайший плоский бок.

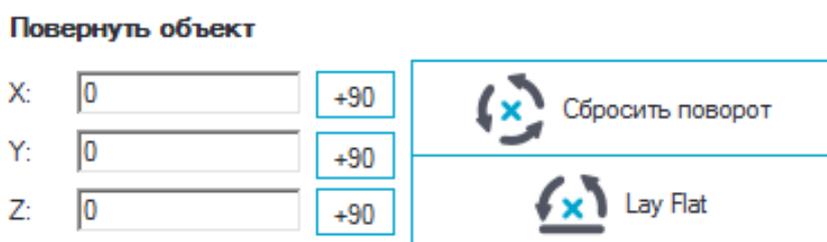


Рисунок 4.6 – Вращение модели

Вкладка «Слайсер»

В этой вкладке можно выбрать слайсер и настроить его (рис. 4.7). Слайсинг-процесс «нарезания» модели на слои и последующего формирования g-code для 3D принтера. В данной лабораторной работе будет использоваться слайсер CuraEngine.

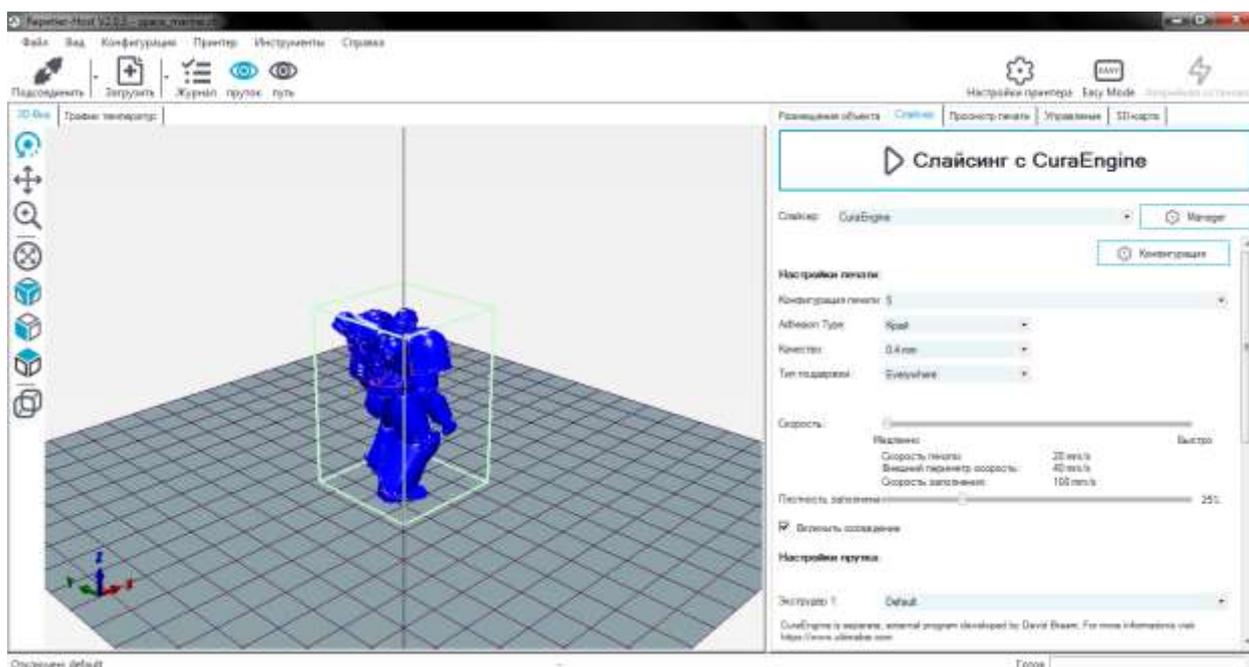


Рисунок 4.7 – Вкладка «Слайсер»

В выпадающем меню «Конфигурация печати» можно выбрать профиль печати. Также можно эти профили редактировать, нажав на кнопку «Конфигурация». Следующее меню «Adhesion Type» позволяет выбрать тип прилипающей юбки. «Край» повторяет контур, соприкасающегося со столом, слоя. «Плот» создаёт сплошную площадку. Рекомендуется использовать «Край», т.к. прилипающую юбку удобней удалять после печати.

Меню «Качество» позволяет выбрать толщину одного слоя. Меньше толщина слоя-выше качество модели, но требуется больше времени, в сравнении с большей толщиной.

В меню «Тип поддержки» имеется несколько типов поддержки: «Everywhere» и «Touching bed». Первая будет формировать поддержки абсолютно везде, а вторая будет формировать только те, которые будут расти от стола.

Бегунок «Скорость» регулирует сразу три параметра, они отображены ниже. При выставлении скорости следует помнить, что чем выше скорость, тем больше вероятность получить дефект в печатаемой модели.

Бегунок «Плотность заполнения» позволяет настроить в процентном соотношении заполняющую сетку. Пример показан на рисунке 4.8. Выше 70-80% поднимать не имеет смысла, т.к. экструдер будет плавить заполняющую сетку.

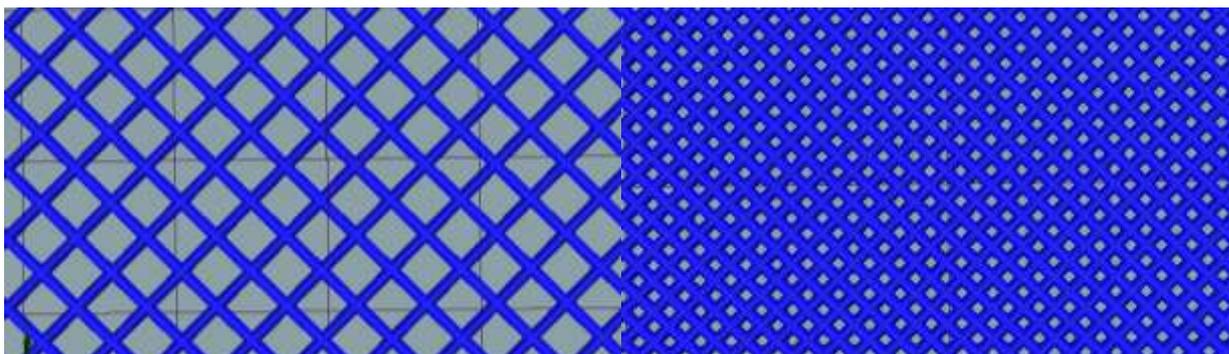


Рисунок 4.8 – Тип поддержки

Конфигурация профиля слайсера

После нажатия кнопки «Конфигурация» в левой зоне программы появится третья вкладка с названием «Cura» (рисунок 4.9). В свою очередь эта вкладка имеет пять своих вкладок:

«Скорость и качество» - позволяет настроить диапазоны скоростей для бегунка «Скорость» и профили качества для меню «Качество» рассмотренные ранее.

«Структуры» - позволяет настроить параметры заполнения, поддержки, прилипающей юбки.

«Выдавливание» - позволяет настроить параметры экструдера и мультиэкструдера.

«G-коды» - позволяет добавить пользовательские строки в отправляемый G-код.

«Расширенные»

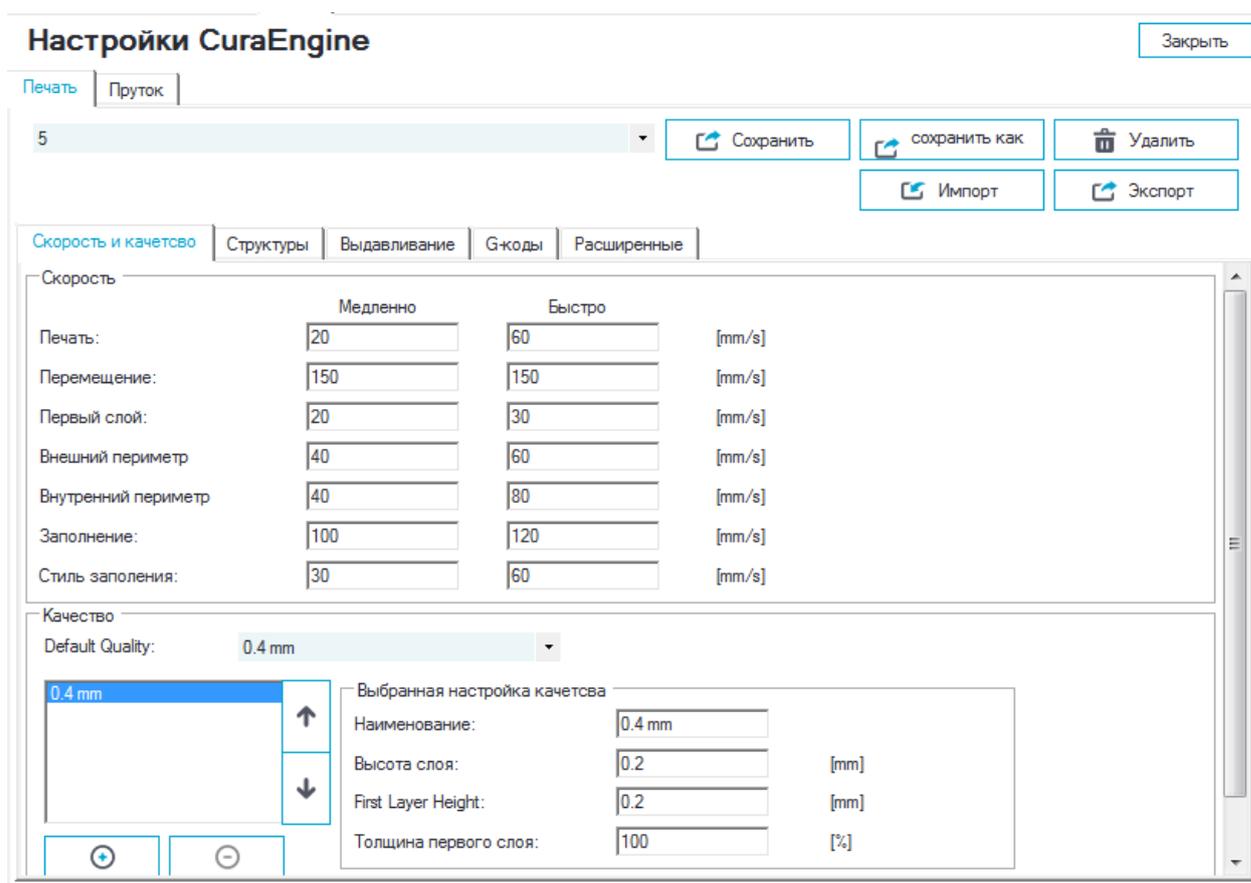


Рисунок 4.9 – Конфигурация профиля слайсера

Вкладка «Скорость и качество»

Перемещение – определяет перемещение экструдера в момент, когда не производится печать

Первый слой – рекомендуется ставить минимальные значения, т.к. первый слой самый важный. Чем медленнее он будет наноситься, тем меньше вероятность деламации (отслаивания).

Внешний и внутренний периметр – рекомендуется ставить значение, немного выше, чем значение первого слоя.

Заполнение – скорость печати заполняющей сетки. Рекомендуется ставить значение на 20-40% больше внутреннего/внешнего периметра.

Вкладка «Структуры» изображена на (рисунке 4.10).

Заполнение			
Shell Thickness:	<input type="text" value="0.8"/>	[mm]	
Верх/Низ толщина:	<input type="text" value="1"/>	[mm]	
Заполнение перекрытие:	<input type="text" value="15"/>	[%]	
Рисунок заполнения:	Сетка ▾		
<input checked="" type="checkbox"/> Solid Top Infill	<input checked="" type="checkbox"/> Solid Bottom Infill		
Поддержка			
Support Pattern:	Сетка ▾		
Угол навеса:	<input type="text" value="60"/>	[°]	
Fill Amount:	<input type="text" value="15"/>	[%]	
Distance XY:	<input type="text" value="0.8"/>	[mm]	
Distance Z:	<input type="text" value="0.15"/>	[mm]	
Поля и края			
Количество линий в юбке:	<input type="text" value="1"/>	Ширина поля:	<input type="text" value="20"/> [mm]
Ширина юбки:	<input type="text" value="20"/>	[mm]	
Мин. длина края:	<input type="text" value="100"/>	[mm]	
Плот			
Дополнительное поле:	<input type="text" value="5"/>	[mm]	Интервал между линиями: <input type="text" value="1"/> [mm]
Толщина основной линии:	<input type="text" value="0.3"/>	[mm]	Ширина основной линии: <input type="text" value="0.7"/> [mm]
толщина интерфейса:	<input type="text" value="0.2"/>	[mm]	Ширина линии интерфейса: <input type="text" value="0.2"/> [mm]
Air Gap Layer 0:	<input type="text" value="0"/>	[mm]	Num. Surface Layer: <input type="text" value="1"/>
Воздушный зазор:	<input type="text" value="0"/>		
Общие			
G-Code Flavour:	RepRap (Repetier/Marlin/Sprinter) ▾		

Рисунок 4.10 – Вкладка «Структуры»

Shell Thickness – толщина стенок, рекомендуется ставить число, кратное диаметру сопла экструдера.

Верх/низ толщина – толщина верхней и нижней стенок.

Рисунок заполнения – рекомендуется сетка (выше скорость печати, наибольшая прочность).

Галочки ниже необходимо поставить для того чтобы верх и низ имели сплошной рисунок заполнения.

Support Pattern – выбирается рисунок заполнения поддержки. Также рекомендуется сетка.

Угол навеса – угол, при котором под свисаемой деталью будет печататься поддержка.

Fill Amount – процент заполнения сетки. Рекомендуется не ставить большие значения из-за того что после печати поддержки уйдут в утиль.

Distance XY – дистанция, на которой будет формироваться поддержка

Distance Z – расстояние между поддержкой и объектом по оси Z.

Количество линий в юбке – определяет кол-во линий когда в меню «Adhesion Type» выбран пункт «ничего».

- Мин. длина края - ПЕРЕВЕСТИ;
- Ширина юбки – ПЕРЕВЕСТИ;
- Ширина поля – ширина юбки.

Для начала слайсинга необходимо нажать кнопку «Слайсинг с CuraEngine». После того как слайсер разрежет модель на слои программа автоматически перейдет во вкладку «Просмотр печати».

Вкладка «Просмотр печати» изображена на (рисунке 4.11).

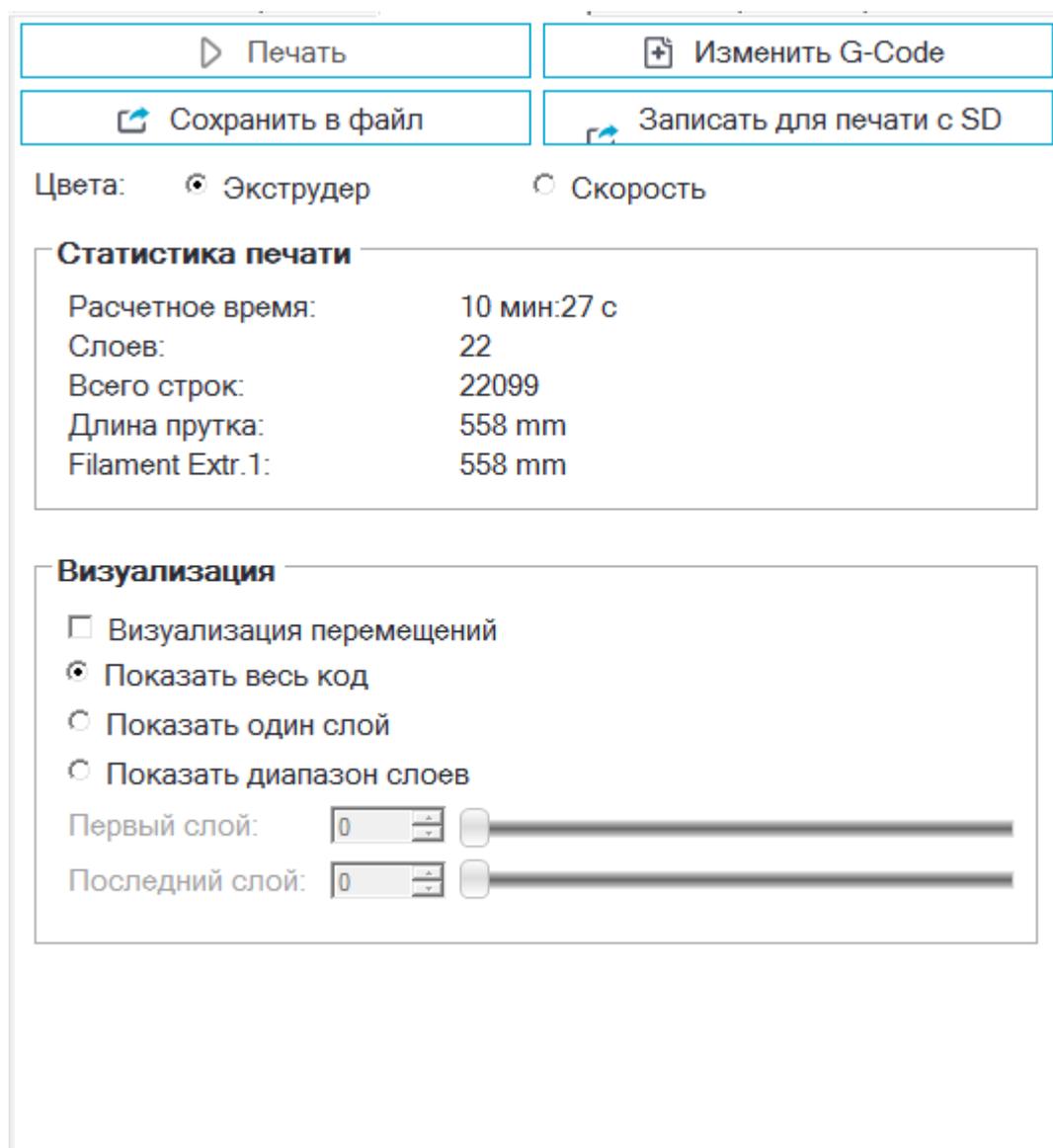


Рисунок 4.11 – Вкладка «Просмотр печати»

Здесь отображается сколько времени будет печататься модель, сколько слоёв в модели и какая длинна прутка будет израсходована. Следует помнить что рассчитанная длинна относится к прутку диаметром, равным диаметру сопла экструдера.

Также имеется возможность посмотреть как отдельные слои подробно, так и группы слоёв. Делается это при помощи выбора позиций «Показать весь код», «Показать один слой», «Показать диапазон слоёв».

Для того чтобы отправить g-code в принтер для печати, необходимо нажать кнопку «Печать». Также тут имеется возможность сохранить процесс слайсинга в файл, записать его на внешний носитель информации и отредактировать g-code. Если кнопка «Печать» неактивна, то необходимо подключить 3д-принтер. Делается это кнопкой «Подключить», расположенной в левом верхнем углу под меню «Файл».

После отправки на печать автоматически откроется вкладка «Управление».

Вкладка «Управление»

Тут имеются навигационные кнопки для ручного позиционирования рабочих элементов 3д-принтера. Отображается температура стола и экструдера. Имеется возможность закрепить за кнопками 1-5 свои g-code команды. Также имеется возможность изменить в процентах скорость подачи пластика и обороты вентилятора на экструдере. Во время печати навигационные кнопки неактивны. После отправки модели на печать экструдер и стол 3D-принтера переместятся в нулевое положение и начнётся их прогрев.

4.3 3D-принтер «Hercules New»

В работе используется 3D принтер «Hercules New» (рис. 4.12). «Hercules New» - обновленная модель Hercules от российской компании IMPRINTA. Модель имеет габаритные размеры рабочего поля 180x180x180 мм³, закрытый корпус и приятный внешний вид. Экструдер принтера абсолютно всеяден, ABS, PLA, Flex, Rubber. Поддержка USB накопителей, съемный подогреваемый стол.



Рисунок 4.12 – Принтер «Hercules New»

Технические характеристики принтера приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Технические характеристики принтера «Hercules New»

Технология печати	Моделирование методом наплавления (FDM/FFF)
Количество печатающих головок	1
Диаметр сопла, мм	0,4
Область построения, мм ³	180x180x180

Толщина слоя, мм	0,05-0,8
Скорость печати, см ³ /час	40
Платформа	С подогревом
Интерфейсы	USB, Card Reader
Дисплей	Да
Типы материалов	Пластик
Материалы	<u>ABS-пластик</u> , <u>PLA-пластик</u> , <u>HIPS</u> , <u>FLEX</u>
Диаметр нити, мм	1,75
Габаритные размеры, мм ³	365x355x430
Вес, кг	18

4.4 Ход работы

1. В любой САПР, имеющей возможность создания 3D модели и экспортирования их в файлы с расширениями: «*.stl», «*.obj», «*.3ds», «*.ast», создать 3D модель с габаритными размерами, не превышающими 40x40x40 мм³.
2. Экспортировать 3D модель в файл, имеющий одно из перечисленных выше расширений.
3. Открыть программу Repitier host и загрузить в неё файл 3D модели.
4. Настроить (при необходимости) слайсер и выполнить слайсинг 3D модели.
5. По окончании слайсинга подключить 3D принтер, нажав на кнопку «Подключить», расположенную в верхнем левом углу окна программы.
6. Начать печать, нажав кнопку «Печать» во вкладке «Просмотр печати».

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автор выражает благодарность студентам кафедры радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга ТУСУР Решетову Д., Денисенко Р., Суханову А., Суханову П., Кудрявцеву Р. За помощь в оформлении разделов методического пособия.

Список использованных источников

1. Технологии 3D-печати. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://www.ixbt.com/printer/3d/3d_tech.shtml (дата обращения 02.05.2018).
2. Расходные материалы для моделирования методом послойного наплавления (FDM/FFF) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://3dtoday.ru/wiki/FDM_materials/ (дата обращения: 02.05.2018).
3. Экструдер для 3D-принтера – принцип работы экструдера, важные характеристики и виды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://3dwiki.ru/ekstruder-dlya-3d-printera-princip-raboty-ekstrudera-vazhnye-harakteristiki-i-vidy/>(дата обращения: 02.05.2018).
4. 3D-принтер «Hercules New» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://imprinta.ru/hercules-new/> (дата обращения: 02.05.2018).