

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Тульский государственный университет»

Политехнический институт
Кафедра «Технология машиностроения»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ
«Подготовка 3D модели к печати на FDM 3D-
принтере»**

Тула 2019 г.

Методические указания к практическим работам составлены доц.,
к.т.н., А.В. Анцевым и обсуждены на заседании кафедры ТМС ПТИ
протокол №1 от "30" августа 2019 г.
Зав. кафедрой _____ А.А. Маликов

Методические указания к практическим работам пересмотрены и
утверждены на заседании кафедры ТМС ПТИ
протокол №_ от "___" _____ 201_ г.
Зав. кафедрой _____ А.А. Маликов

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель и задачи работы	4
2. Теоретические положения	4
2.1. Общие правила и принципы подготовки 3D модели к печати по технологии FDM	5
2.2. Подготовка изделия к печати на примере KISSlicer	6
3. Объекты исследования	17
4. Задание на работу (рабочее задание)	17
5. Ход работы (порядок выполнения работы).....	17
6. Содержание отчета.....	17
7. Список использованных источников	18

1. Цель и задачи работы

Цель работы: Научиться подготавливать 3D модель для печати и настраивать программу слайсер.

Задание на работу:

- 1) Ознакомиться с правилами подготовки 3D модели.
- 2) Ознакомиться с программой слайсером.
- 3) Подготовить и порезать модель на слои программой слайсером.
- 4) Подготовить отчёт о проделанной работе.

2. Теоретические положения

Технологии быстрого прототипирования – это производство физической модели (прототипа) изделия непосредственно по его объемной модели без использования станков с ЧПУ. Наиболее распространенными процессами быстрого прототипирования являются стереолитография, трехмерная печать и ламинирование.

Одной из самых доступных технологий быстрого прототипирования, широко используемой при создании трехмерных моделей, при прототипировании и в промышленном производстве, в настоящий момент является моделирование методом послойного наплавления (Fused deposition modeling (FDM)).

Технология FDM подразумевает создание трехмерных объектов за счет нанесения последовательных слоев материала, повторяющих контуры цифровой модели. Как правило, в качестве материалов для печати выступают термопластики, поставляемые в виде катушек нитей или прутков.

Технология FDM была разработана С. Скоттом Трампом в конце 1980-х и вышла на коммерческий рынок в 1990 году.

Оригинальный термин «Fused Deposition Modeling» и аббревиатура FDM являются торговыми марками компании Stratasys. Энтузиасты 3D-печати, участники проекта RepRap, придумали аналогичный термин «Fused Filament Fabrication» («Производство методом наплавления нитей») или FFF для использования в обход юридических ограничений. Термины FDM и FFF эквивалентны по смыслу и назначению.

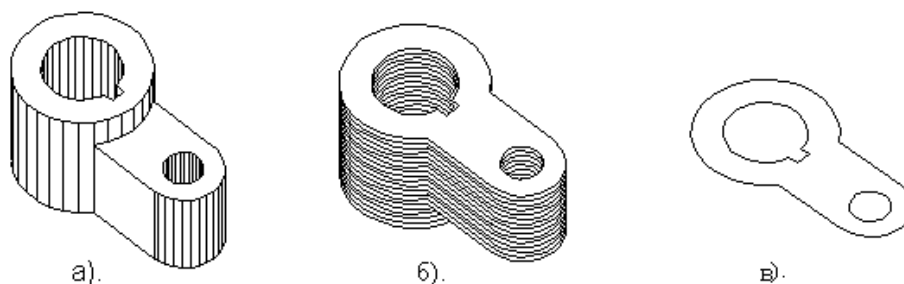


Рис. 2.1. Технология послойного синтеза:

а) 3D модель; б) образование сечений; в) одно сечение

Все существующие системы быстрого прототипирования работают по послойному принципу построения физической модели, который заключается в следующем:

- считывание трехмерной геометрии из 3D-модели CAD-систем в формате STL (обычно это твердотельные модели, или модели с замкнутыми поверхностными контурами). Все CAD-системы твердотельного моделирования могут генерировать файлы формата STL;
- разбиение трехмерной модели на поперечные сечения (слои);
- изготовление сечений детали слой за слоем снизу вверх, до тех пор, пока не будет получен физический прототип модели (рис. 2.1). Слои располагаются снизу вверх, один над другим, физически связываются между собой. Построение прототипа продолжается до тех пор, пока поступают данные о сечениях 3D-модели.

Разбиение 3D-модели на отдельные слои осуществляется с помощью специальных программ, называемых слайсерами.

2.1. Общие правила и принципы подготовки 3D модели к печати по технологии FDM

Большинство программ-слайсеров работают с моделями в формате STL, поэтому модель для последующей обработки в слайсере, стоит сохранять именно в этом формате (рис. 2.2).

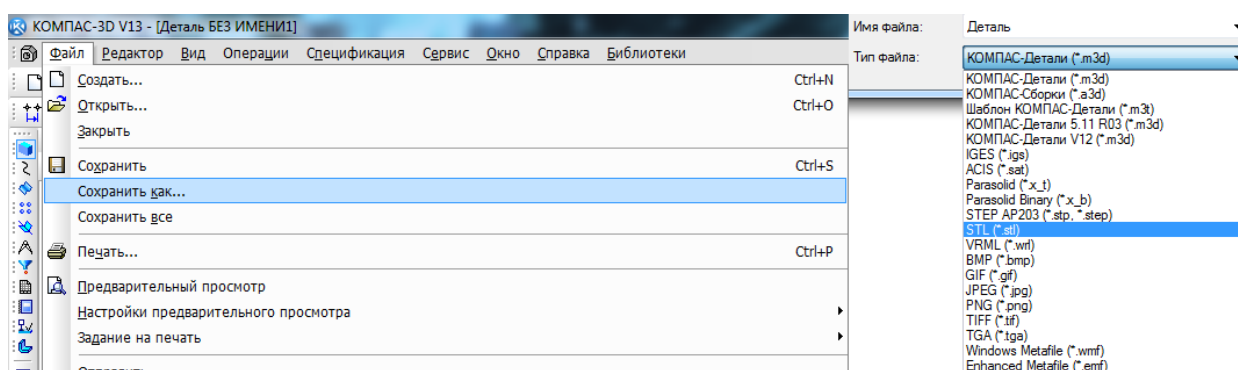


Рис. 2.2. Сохранение в формате STL на примере "КОМПАС-3D"

Модель, состоящую из нескольких пересекающихся объектов, стоит сводить к единому объекту, иначе пересекающие ребра и грани могут привести к порче модели при резке слайсером.

Подготавливаемая к FDM печати модель должна иметь плоское основание или заранее подготовленную подложку, иначе есть шанс нарушить геометрию модели при печати, что может привести к смещению координат.

Минимальная толщина стенок и элементов модели не должна быть меньше диаметра сопла печатающей головки принтера.

При FDM печати моделей с нависающими элементами необходима поддерживающая конструкция. При низких углах наклона допускается печать без поддержек. Максимальный угол самих поддержек для данного способа печати 30 градусов (рис. 2.3).

Так же при моделировании необходимо учитывать максимально возможные габариты печати. Если модель больше возможных габаритов для печати, то её следует разрезать, чтобы напечатать по частям. Эти части будут склеиваться, поэтому нужно предусмотреть подходящие для них соединения.

Возможные нагрузки на модель должны действовать поперёк слоёв печати, поэтому стоит грамотно располагать модель при печати.

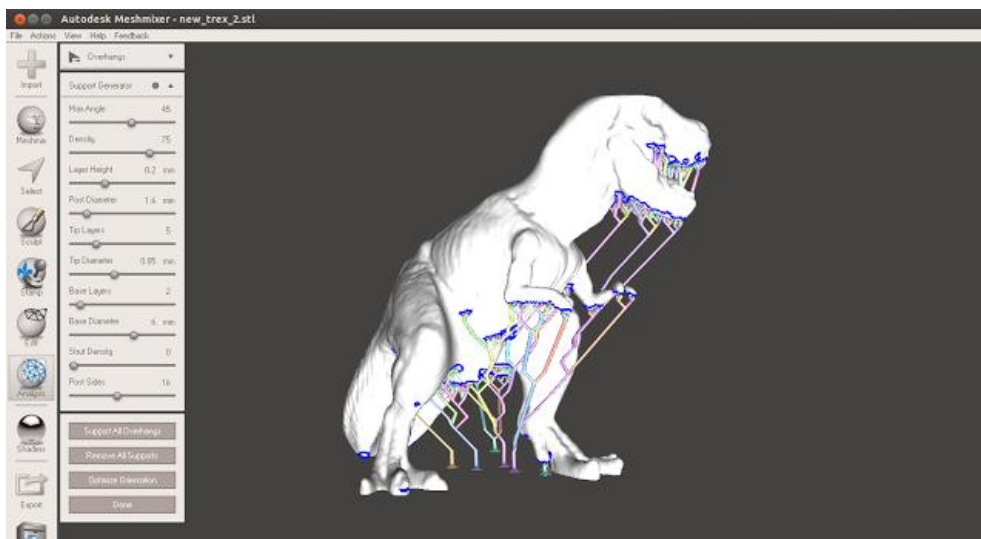


Рис. 2.3. Поддержки для 3D модели выполненные в Autodesk Meshmixer

2.2. Подготовка изделия к печати на примере KISSlicer

KISSlicer – программа для перевода 3D модели в управляющий код для 3D принтера. Ее можно бесплатно скачать на официальном сайте <http://www.kisslicer.com>.

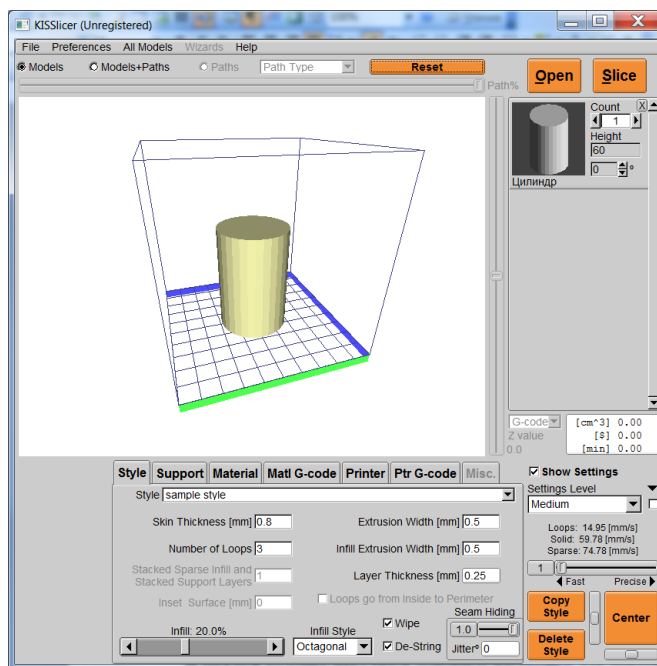


Рис. 2.4. Программа KISSlicer

Программа работает с моделями в формате STL.

При первом запуске программа сообщит что файлы настроек отсутствуют и будут созданы заново со значениями по умолчанию:

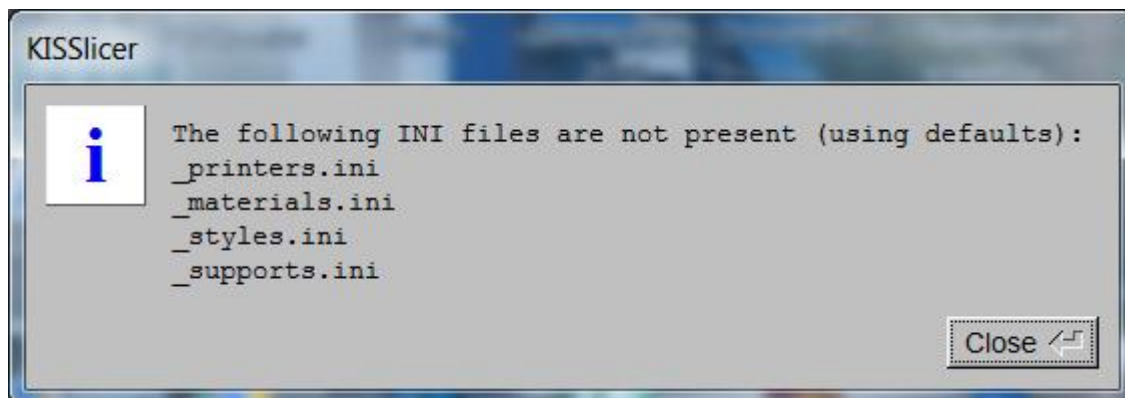


Рис. 2.5. Генерация настроек по умолчанию при первом запуске программы

При этом если в пути к файлу программы будут русские символы, то при выходе из программы из-за проблем с кодировкой имен файлов она не сможет сохранить настройки и выведет сообщение об ошибке:

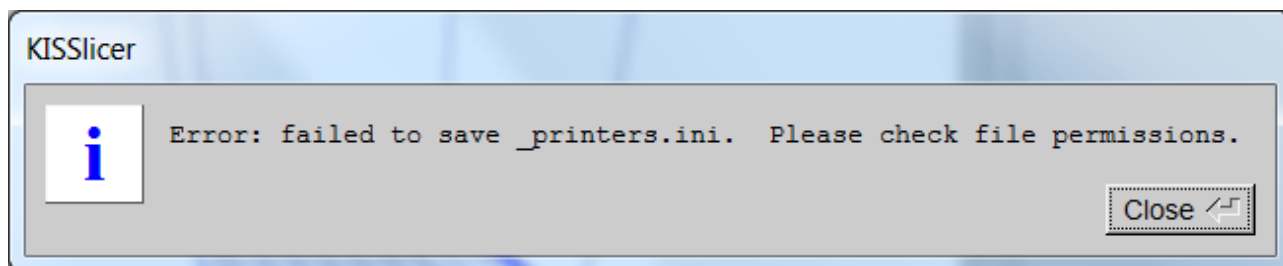


Рис. 2.6. Сообщение об ошибке при сохранении файла настроек

Чтобы такой проблемы не было, нужно поместить исполняемый файл программы с папку, полный путь к которой не содержит русских букв, например, C:\KISSlicer.

На официальном сайте программы можно найти файл для перевода интерфейса на русский язык – KISSlicer_RU.po. Для применения файла перевода надо выбрать пункт меню Preferences – Languages – Load a Language File. В появившемся диалоге необходимо выбрать файл перевода KISSlicer_RU.po. При успешном применении перевода будет показано сообщение:

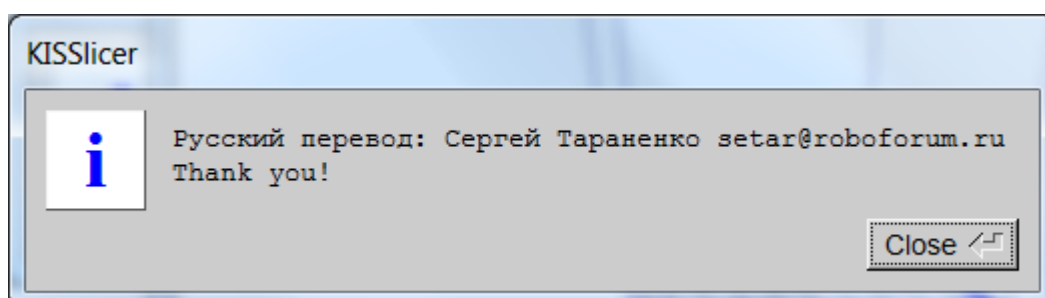


Рис. 2.7. Сообщение об успешном применении русского перевода

Первым делом импортируем 3D-модель в формате STL. Для этого нужно нажать кнопку  в верхнем правом углу приложения и выбрать нужный файл на диске.

После открытия файла в правой колонке (рис. 2.8) отображается миниатюра модели, параметр количество копий, параметр масштаб по высоте, и угол поворота в градусах по оси Z. Параметр масштаб по высоте позволяет изменить размер 3D-модели в случае, если она не уместится в рабочую область принтера. Рабочая область принтера по умолчанию равна 10x10x10 см, показывается с помощью синего куба, изображаемого вокруг 3D-модели (рис. 2.4) и может быть изменена на вкладке настроек принтера Printer (рис. 2.15). Если 3D-модель не помещается в рабочую область, то грани куба рабочей области становятся красными, сигнализируя об ошибке.

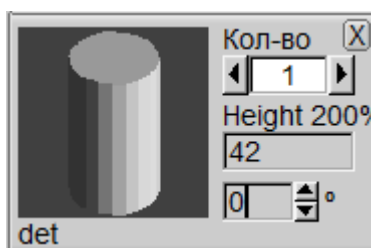


Рис. 2.8. Область изображения миниатюры модели

Щелкая правой кнопкой мыши по миниатюре можно вызвать контекстное меню с настройками расположения 3D-модели при печати (рис. 2.9).

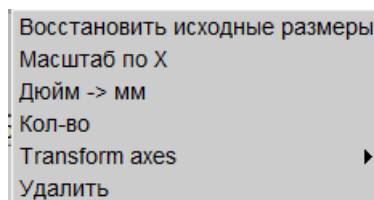


Рис. 2.9. Контекстное меню миниатюры модели

Наибольший интерес в данном меню представляет пункт Transform axes (Преобразовать оси). С его помощью можно менять ориентацию 3D-модели в самой программе без участия CAD-системы, в которой данная модель была создана. От правильной ориентации 3D-модели будет зависеть время печати и количество затрачиваемого материала. Доступные варианты для преобразования осей следующие:

- X => Up – перевернуть 3D-модель осью X вверх. По умолчанию модель развернута вверх осью Z.
- Y => Up – перевернуть 3D-модель осью Y вверх
- Mirror X axis – отразить зеркально по оси X.
- Mirror Y axis – отразить зеркально по оси Y.
- Mirror Z axis – отразить зеркально по оси Z.
- Flip upside-down – перевернуть вверх ногами.

- Restore original orientation – восстановить исходную ориентацию 3D-модели.

Внизу правой колонки после расчёта траектории будут отображаться время и стоимость печати, а так же количество израсходованного пластика (рис. 2.10).

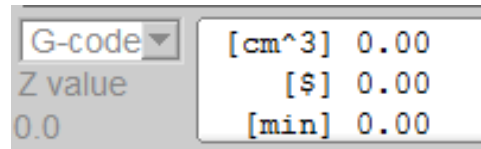


Рис. 2.10. Область отображения статистики печати

По периметру главного окна находятся полосы прокрутки, вертикальная для выбора слоя, горизонтальная для выбора точки пути по траектории прохождения экструдера. Вверху выбираются типы отображения модели и слоёв (рис. 2.11). Данные настройки становятся активными после

разрезки 3D-модели на слои и генерации траектории перемещения печатающей головки с помощью кнопки **Slice**.

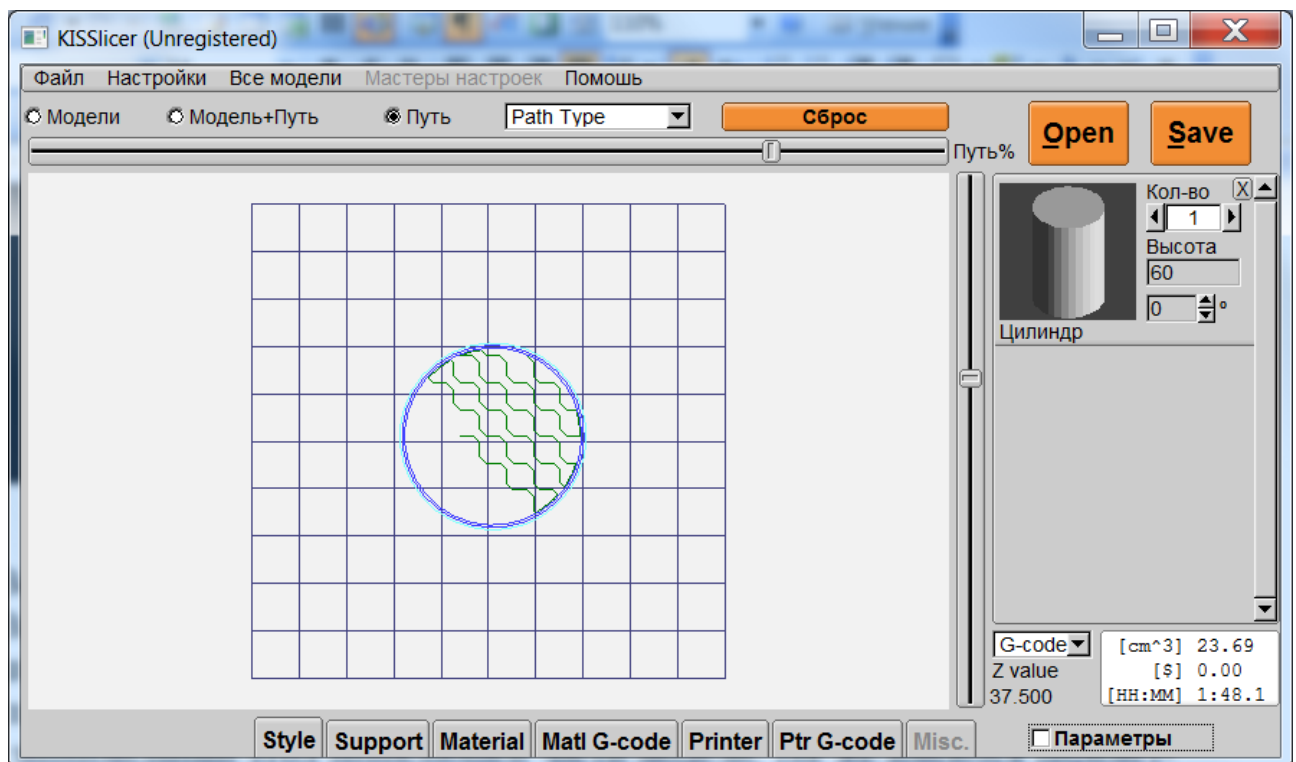


Рис. 2.11. Траектория пути экструдера

В нижней колонке находятся основные настройки для печати модели разбитые на вкладки.

Во вкладке Style (рис. 2.12) указываются ширина экструдера, толщина дна и крышки модели (параметр "Толщина стенок" в мм, он должен быть кратным параметру "Высота слоя", и не меньше четырёх слоёв), толщина стенок модели в витках (количество витков которое сделает экструдер по периметру слоя), плотность заполнения, ширина и высота слоя, выбор

направления печати периметра, угол для разброса старта пути (для скрытия шва).

Все настройки можно сохранять и загружать.

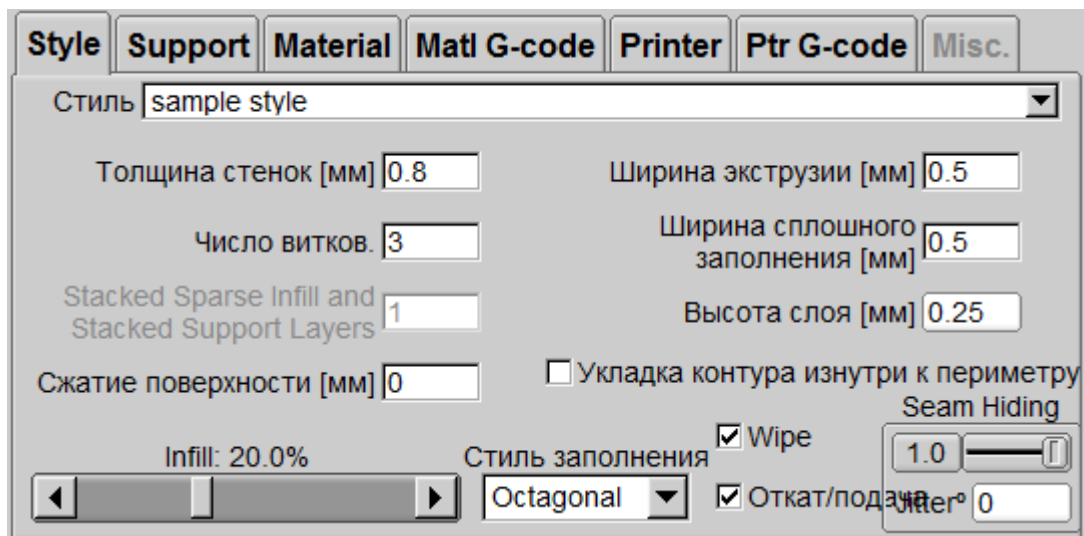


Рис. 2.12. Параметры во вкладке Style

Вкладка Support (рис. 2.13) отвечает за генерацию поддерживающих конструкций, в ней настраивается качество этих конструкций (параметр используется для экономии материала, и увеличения скорости печати модели), настраивается минимальный угол нависающей части модели, так же имеются параметры для более тонкой настройки поддерживающих конструкций, чтобы в дальнейшем они не сказались на качестве печатаемой модели.

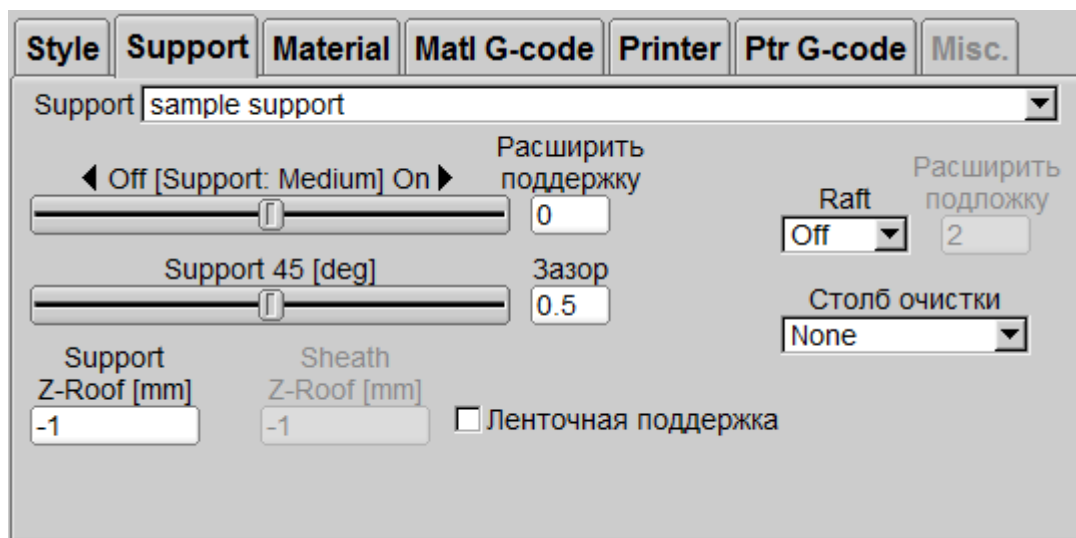


Рис. 2.13. Параметры во вкладке Support

Во вкладке Material (рис. 2.14) выбирается материал для печати, и делаются соответствующие для него настройки. Это такие параметры как диаметр нити, настройки температуры разных частей принтера, стола, печатающей головки, стоимость кубического сантиметра материала и т.д. Сюда входят настройки по управлению охлаждением и вентиляторами

(Fan/Cool), параметры обозначенные в Destrting отвечают за отсутствие образования нитей при перемещении экструдера с одного периметра на другой. Flow Adjust отвечает за калибровку подачи пластика в принтере.

Рис. 2.14. Параметры во вкладке Material

Во вкладке Printer (рис. 2.15) производятся настройки непосредственно под конкретный 3D-принтер (число и материалы экструдеров, прошивка, скорости, стоимость часа работы принтера).

Рис. 2.15. Параметры во вкладке Printer

Во вкладках с G-code (Matl G-code и Prt G-code) присутствуют поля для ввода G-кода для специфичных настроек материала и ручных настроек позиционирования экструдера для начала и окончания печати и т.д.

После настройки параметров печати и ориентации 3D-модели ее надо разрезать на слои и рассчитать траекторию перемещения печатающей головки. Делается это с помощью кнопки **Slice**. После разрезки модели на слои можно проверять получившиеся слои и модель (рис. 2.11) и сохранить

сгенерированный для 3D-принтера G-code кнопкой **Save** слева вверху, которая заменит собой кнопку **Slice** (рис. 2.16).

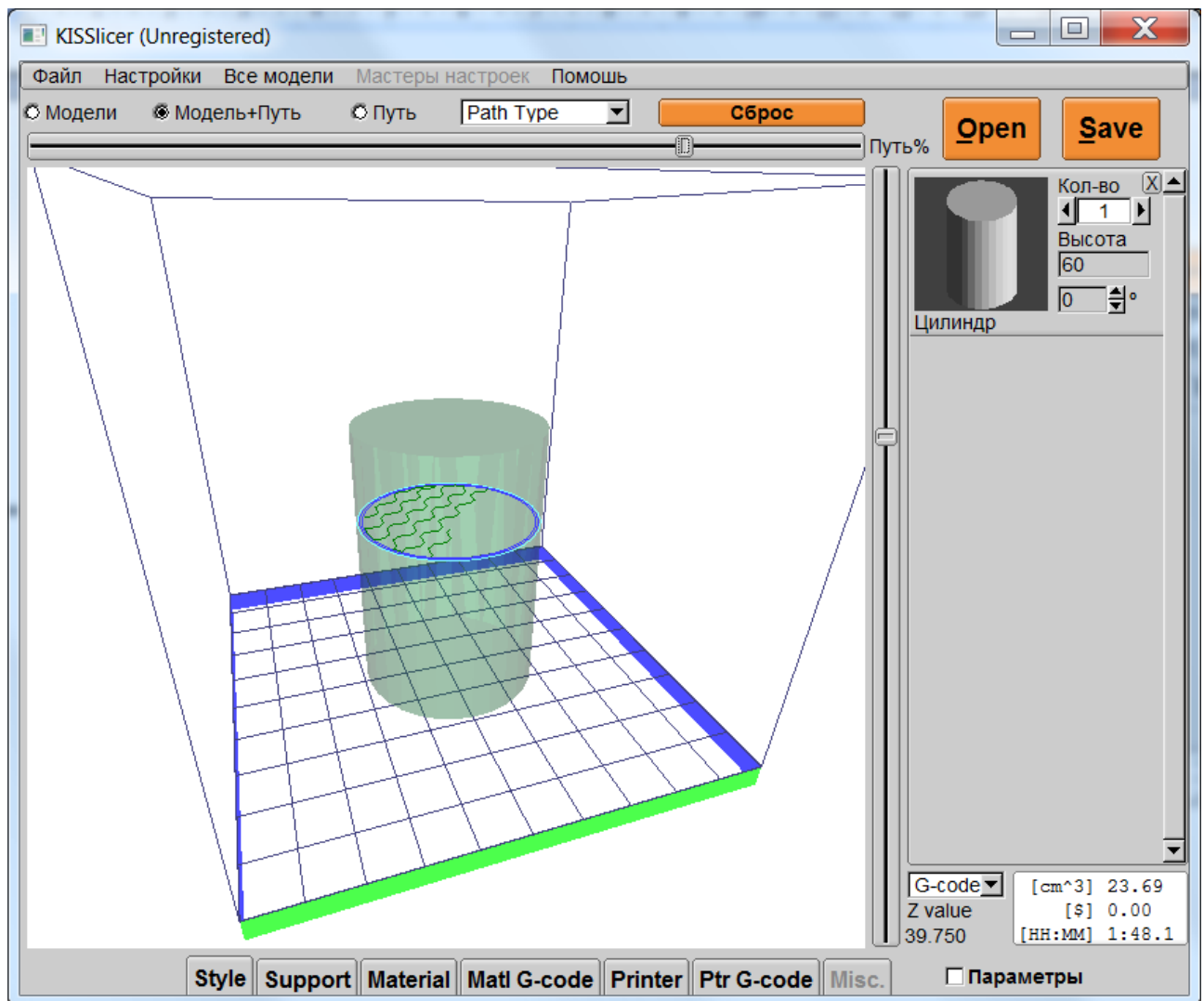


Рис. 2.16. Модель, готовая для сохранения в G-code

После нажатия кнопки **Save** появляется диалог сохранения, в котором можно выбрать имя файла для полученной программы. В имени программы также лучше не использовать русских букв.

Полученная программа для печати на 3D-принтере представляет собой обычный текстовый файл. В начале данного файла располагаются комментарии, в которых указываются параметры материала и принтера при которых данный файл был сгенерирован (комментарием считаются строки, начинающиеся с символа «;»):

```
; KISSlicer - FREE
; Windows
; version 1.1.0.14
; Built: May 8 2013, 11:26:16
```

```

; Running on 4 cores
;
; Saved: Tue Jun 28 17:09:08 2016
; 'Цилиндр.gcode'
;
; *** Printer Settings ***
;
; printer_name = sample printer
; bed_STL_filename =
; extension = gcode
; cost_per_hour = 0
; post_process = NULL
; every_N_layers = 0
; num_extruders = 1
; firmware_type = 1
; add_comments = 1
; fan_on = M106
; fan_off = M107
; fan_pwm = 1
; add_m101_g10 = 0
; z_speed_mm_per_s = 3.5
; z_settle_mm = 0.25
; bed_size_x_mm = 100
; bed_size_y_mm = 100
; bed_size_z_mm = 100
.....

```

После блока комментариев располагается непосредственно сам G-код для формирования 3D-модели:

```

.....
; *** Main G-code ***
;
; BEGIN_LAYER_OBJECT z=0.50
;
; *** Warming Extruder 1 to 255 C ***
; Select extruder, warm, purge
; BfB-style
M104 S255
M542
M551 P32000 S900
M543
; 5D-style
T0
M109 S255

```

```

;
;
; fan on
M106
;
; 'Perimeter', 0.4 [feed mm/s], 10.0 [head mm/s]
G1 X14.46 Y15 Z0.75 E0 F30000
G1 X14.46 Y15 Z0.5 E0 F210
G1 E1.25 F900
G1 X14.56 Y15.27 E0.0101 F600
G1 X11.38 Y17.74 E0.1426
G1 X7.81 Y19.49 E0.1406
G1 X3.91 Y20.5 E0.1424
G1 X-0.01 Y20.7 E0.1389
G1 X-0.44 Y20.64 E0.0152
.....

```

В конце файла в комментариях приводится статистика процесса печати с помощью сгенерированной программы:

```

.....
; Estimated Build Time:    108.11 minutes
; Estimated Build Volume: 23.686 cm^3
; Estimated Build Cost:    $0.00
;
; *** Extrusion Time Breakdown ***
; * estimated time in [s]
; * before possibly slowing down for 'cool'
; * not including Z-travel
;
; +-----+-----+-----+-----+
; | Extruder #1 | Extruder #2 | Extruder #3 | Path Type |
; +-----+-----+-----+-----+
; | 106.612     | 0           | 0           | Move      |
; | 0           | 0           | 0           | Pillar    |
; | 0           | 0           | 0           | Raft      |
; | 0           | > 0         | > 0         | Support Interface |
; | 0           | 0           | 0           | Support (may Stack) |
; | 2006.72     | 0           | 0           | Perimeter |
; | 1021.98     | 0           | 0           | Loop      |
; | 417.641     | > 0         | > 0         | Solid     |
; | 54.1778     | 0           | 0           | Sparse Infill |
; | 2727.47     | 0           | 0           | Stacked Sparse Infill |
; | 100.761     | 0           | 0           | Wipe (and De-string) |
; | 0           | > 0         | > 0         | Crown     |
; | 0           | 0           | 0           | Prime Pillar |
; | 0           | 0           | 0           | Skirt     |
; | 0           | 0           | 0           | Pause     |
; | 0           | > 0         | > 0         | Extruder Warm-Up |
; +-----+-----+-----+-----+
; Total estimated (pre-cool) minutes: 107.26

```

Полученный файл можно передать на 3D-принтер через интерфейс USB с помощью специализированного программного обеспечения или воспользоваться SD-картой.

Попробуем подготовить к печати 3D-модель детали, представленной на рис. 2.17. При этом настройки программы оставим по умолчанию, только на вкладке Material установим стоимость одного кубического сантиметра пластика равным 0,03\$, а на вкладке Printer установим стоимость часа работы принтера равным 1\$.

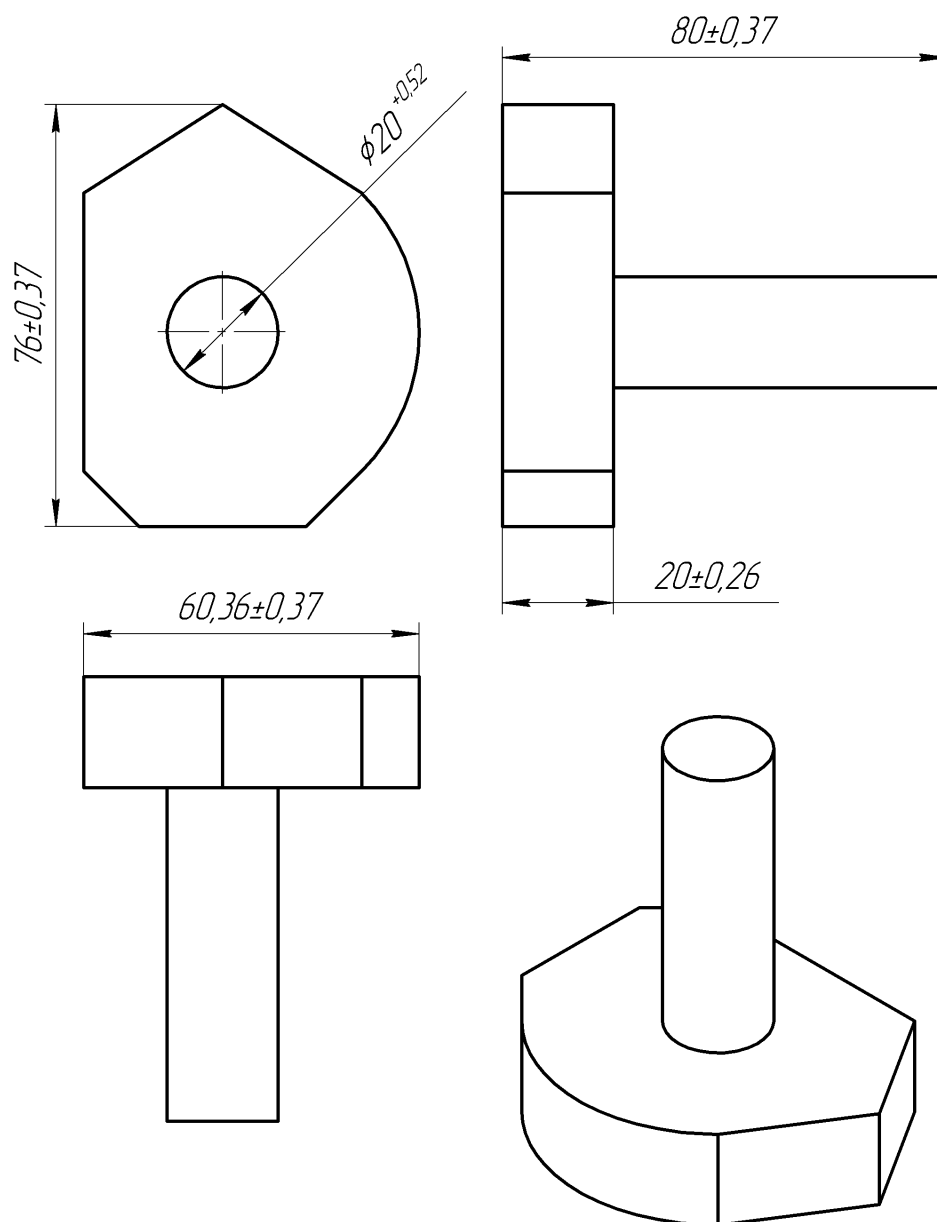


Рис. 2.17. Тестовая деталь

С помощью функции преобразования осей Transform axes расположим исходную модель 6 разными способами при печати на 3D-принтере:

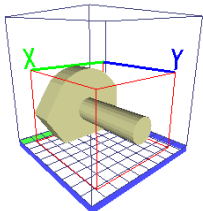
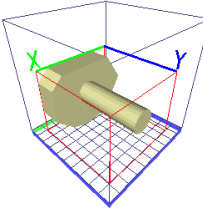
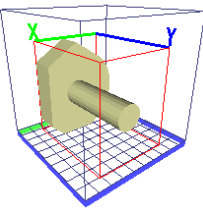
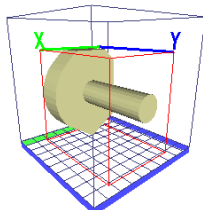
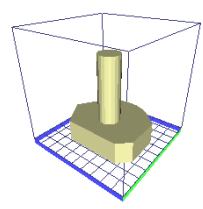
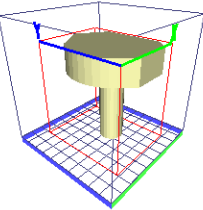
- ось X вверх (X => Up);
- ось X вниз (X => Up + Flip upside-down);
- ось Y вверх (Y => Up);

- ось Y вниз (Y => Up + Flip upside-down);
- ось Z вверх (исходная ориентация);
- ось Z вниз (Flip upside-down).

Сгенерируем программу обработки для каждого положения, получим время печати, стоимость печати и затраченный объем материала и сведем полученные результаты в табл. 2.1.

Табл. 2.1

Сравнение стоимости печати при разной ориентации 3D-модели

Положение	Вид	Объем материала, см ³	Стоимость печати, \$	Время печати
ось X вверх		37,17	14,09	2 ч 56,4 мин
ось X вниз		40,50	15,25	3 ч 5,7 мин
ось Y вверх		38,65	14,65	3 ч 3,4 мин
ось Y вниз		41,28	15,57	3 ч 11 мин
ось Z вверх		31	11,62	2 ч 19,4 мин
ось Z вниз		63,58	22,87	3 ч 47,6 мин

Как видно из анализа табл. 2.1, в зависимости от ориентации модели время и стоимость печати меняются в достаточно широких пределах. Правильная ориентация модели позволит сократить затраты на печать. Для достижения оптимального результата модель должна быть сориентирована таким образом, чтобы у нее было как можно меньше частей висящих в воздухе без какой-либо опоры, так как в этом случае приходится создавать дополнительные поддерживающие структуры при печати.

3. Объекты исследования

Объектом исследования данной лабораторной работы являются основные параметры программы слайсера KISSlicer.

Для выполнения работы необходимы ПК и соответствующее программное обеспечение:

- MS WINDOWS;
- КОМПАС 3D;
- MS Office;
- KISSlicer.

4. Задание на работу (рабочее задание)

- 1) Создать в КОМПАС 3D модель по заданию преподавателя;
- 2) Сохранить и загрузить данную модель в KISSlicer;
- 3) Подготовить модель к печати при разной ориентации модели в принтере;
- 4) Проанализировать полученные варианты и выбрать оптимальный.

5. Ход работы (порядок выполнения работы)

Для выполнения лабораторной работы необходимо:

- 1) Ознакомиться с теоретической справкой;
- 2) Разработать 3D модель;
- 3) Сформировать G-code для 3D-принтера для разных вариантов ориентации модели;
- 4) Провести анализ полученных вариантов и выбрать оптимальное расположение детали в принтере.
- 5) Представить 3D модель и G-code для оптимального варианта преподавателю и получить допуск к защите работы;
- 6) Оформить отчет по лабораторной работе;
- 7) Защитить работу преподавателю, ответив на вопросы по ее содержанию и выполнению.

6. Содержание отчета

В отчете должны присутствовать следующие пункты:

- 1) задание;
- 2) описание проделанной работы;
- 3) распечатка результатов работы программы;

