КАФЕДРА «Компьтерно-интегрированная ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ* ЯРОСЛАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Ярославль 2019

1



Методические указания

ПРИМЕНЕНИЕ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет» Кафедра «Компьютерно-интегрированная технология машиностроения»

Министерство науки и высшего образования РФ

Рекомендовано научно-методическим советом $MC\Phi$

УДК 621.9.014.001.24:631.3

МУ 23-19. Применение быстрого прототипирования в машиностроительном проектировании

/ Сост.: О.Н.Калачев, Е.И.Елисейкин – Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2019. - 31 с.

Содержит описание методики печати на 3D-принтере файлов, созданных в CAD-системах: конвертация векторного файла, загрузка в программу «слайсер», настройка параметров печати, калибровка и настройка принтера, загрузка файла с G-кодом в принтер и собственно печать.

Предназначены для студентов бакалавриата и магистрантов направления «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профиль подготовки «Компьютерноинтегрированное машиностроение» по дисциплинам «Цифровое прототипирование в машиностроении» и «Быстрое прототипирование функциональных моделей».

Могут быть использованы при обучении студентов других машиностроительных направлений цифровому прототипированию с использованием CAD/CAM-систем.

Ил. 53. Библиогр. 2.

Рецензенты: Епархин О.М., д.т.н., профессор, директор Ярославского филиала Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I; А.В.Комиссаров, к.т.н., начальник управления ИТ ОАО «АГАТ».

© Ярославский государственный технический университет, 2019 КАФЕДРА «Компьтерно-интегрированная технология машиностроения» Дрославский государственный Технический университет технический университет

1 ЦЕЛИ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Получить практические навыки по предпечатной подготовке 3Dмодели детали в слайсере Cura 15.04.6 RU и ее печати на FDM 3Dпринтере MZ3d-256.

Работа выполняется в соответствии со следующими этапами:

- создание 3D-модели;
- конвертация модели в файл формата .stl;
- загрузка .stl-файла модели в слайсер Cura;
- настройка параметров печати в Cura;
- отправка файла с настройками на печать;
- подготовка принтера и запуск печати;
- снятие со стола готовой детали.

2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Модель, ранее подготовленная в AutoCAD (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид исходной модели в AutoCAD – detal.dwg

З КОНВЕРТАЦИЯ ЗД-МОДЕЛИ В .STL-ФАЙЛ

Подготовка модели к печати начинается с ее конвертации в формат для работы с 3D-принтером – .stl.

Выделим левой кнопкой мыши модель, открытую в AutoCAD. Не отменяя выделение, в командной строке введем _*stl*. В появившемся списке выбираем *STLOUT* (рис. 2). Клавишей *Enter* подтвердим создание .*stl-файла*. Дополнительно нажмем «Y/<Д> (рис. 3). После выполнения команды сохраняем файл в формате *Литография* (**stl*) (рис. 4).

```
КАФЕДРА
«Компьтерно-интегрированная
технология машиностроения»
Ярославский государственный
технический университет
```



Рис. 2. Выделение модели и ввод команды STLOUT



Рис. 3. Подтверждение создания .stl-файла



Рис. 4. Сохранение .stl-файла

4 НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ ПЕЧАТИ В СЛАЙСЕРЕ CURA

Слайсер (от англ. *slice* – «резать послойно») – программа для предпечатной обработки .stl-моделей – нарезания на отдельные слои заданной толщины и получения G-кода (англ. *G-code*) для управления перемещения печатающей головки 3D-принтера. Сига – один из наиболее популярных слайсеров, который отличается простотой использования и обладает набором необходимых функций.

4.1 Запуск слайсера и настройка соединения с принтером

Запускаем Cura 15.04.6 RU (рис. 5) – открывается рабочее окно слайсера (рис. 6), в котором по умолчанию присутствует какая-либо 3D-модель (рис. 6). Удалим ее, выделив левой кнопкой мыши, а затем

```
КАФЕДРА
«Кимпьтерно-интегрированная
технология машиностроения»
Ярославский государственный
технический университет
```

правой вызовем контекстное меню с командой Удалить модель (рис. 7).



Рис. 5. Запуск слайсера



Рис. 6. Рабочее окно с моделью «по умолчанию»



Рис. 7. Удаление модели

КАФЕДРА «Компьтерно-интегрированная технология машиностроения» Ярославский государственный технический университет Далее выполним привязку слайсера к принтеру. Заходим во вкладку Принтер > Добавить новый принтер... (рис. 8). Появится Мастер настройки (рис. 9), в котором находим кафедральный принтер MZ3d-256.



Рис. 8. Добавление принтера



КАФЕДРА Рис. 9. Работа с Мастером настройки «Кимпьтерно-интегрированная» технология машиностроения» Ярославский государственный технический университет После выбора принтера проверим автоматически установленные настройки MZ3d-256 и его USB-соединение с ПК. Вновь открываем *Принтер* и переходим в *Настройки принтера* (рис. 10). Значения параметров *Настроек принтера*, *Размера головы принтера* и *Настроек связи* должны соответствовать представленным на рис. 11.

Теперь загрузим в Cura .stl-файл 3D-модели, полученный нами ранее.



Рис. 10. Переход к настройкам принтера

Настройки принтера			×		
Anycubic I3 Mega Mz3D-256	Reprap				
Настройки принтера	-	Размер головы принтера			
Шагов на 1 мм нити	0	Размер головы в направлении нуля X (мм)	0		
Максимальная ширина (мм)	163	Размер головы в направлении нуля Y (мм)	0		
Максимальная глубина (мм)	163	Размер головы в направлении максимума Х (мм)	0		
Максимальная высота (мм)	149	Размер головы в направлении максимума Ү (мм)	0		
Количество экструдеров	1 ~	Высота сопла (мм)	0		
Подогреваемый стол Центр машины (0,0)		Настройки связи			
Форма области печати	Square \vee	Последовательный порт	AUTO ~		
Тип G-кода	RepRap (Marlin/Sprinter) 🗸 🗸	Скорость передачи	250000 ~		
ОК Мастер добавления принтера Удалить принтер Изменить имя принтера					

Рис. 11. Настройки принтера

4.2 Загрузка .stl-файла 3D-модели в слайсер

В предыдущем пункте мы запустили слайсер Cura и настроили соединение с принтером.

Чтобы начать работу с .stl-файлом, загрузим его в слайсер. Нажимаем либо на иконку в верхнем левом углу, либо на вкладку Файл > Загрузить файл модели (рис. 12) и выбираем ранее подготовленный нами файл (рис. 13). Модель появится в центре виртуального стола (рис. 14).



Рис. 12. Способы загрузки

МЕТОДИЧГА Рабочий стол				
🝊 OneDrive				
💻 Этот компьютер	Деталь на	Чертеж1.bmp		
💣 Сеть 🗸 🗸 🗸 🖌 🗸 🖌	печать.stl			~
Имя фа	йла: Деталь на печ	ать.stl	~ All (*	.stl;*.obj;*.dae;*.amf;*.bmţ 〜 ткрыть Отмена

Рис. 13. Выбор .stl-файла модели



КАФЕДРА «Кимпьтерно-интегрированная Рис. 14. Модель в окне слайсера технология машиностроения» технология машиностроения» арославский государственный рославский университет технический университет

4.3 Выбор положения и масштаба модели на столе принтера

Не всегда модель загружется в слайсер в таком положении, в котором ее печать будет наиболее качественной и без поддержек – опор под выступающими боковыми элементами. Чтобы изменить положение, в левом нижнем углу найдем три иконки и нажмем на первую – *Поворот* (рис. 15). Вокруг модели появится система плоскостей. Как показано на рис. 16, выделим левой кнопкой мыши одну из плоскостей и повернем модель на нужный угол, а затем так же – во второй плоскости. Повернуть деталь только на 90⁰ в каждой плоскости можно командой *Отразить* (рис. 17).



Рис. 15. Иконка поворота



Рис. 16. Поворот модели в двух плоскостях

КАФЕДРА «Кимпьтерно-интегрированная ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ» ПРОСЛАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Рис. 17. Отражение модели по оси Z

Если модель требуется увеличить или уменьшить, воспользуемся функцией *Масштаб*. Ее иконка также находится в левом нижнем углу стола. При нажатии на иконку появляются система координат и размеры детали (рис. 18, 19). Для их изменения перемещаем курсором систему координат.

Итак, выбрав правильное положение модели на столе принтера, мы выполнили первый шаг в ее подготовке к печати. Второй шаг заключается в настройке параметров печати, речь о которых пойдет в следующем пункте.



Рис. 18. Функция изменения масштаба

КАФЕДРА «Компьтерно-интегрированная технология машиностроения» Ярославский государственный технический университет



Рис. 19. Увеличение и уменьшение детали

4.4 Настройка параметров печати

При первом запуске слайсера может открыться *Режим готовых профилей* (рис. 20, слева), где доступны только тип материала, выбор поддержки, тип прилипания к столу и 3 параметра качества печати:

- Высокое и Максимальное качество программа автоматически настраивает процесс и обеспечивает высокую и максимальную детализацию;
- Нормальное качество более быстрый вариант при удовлетворительном качестве воспроизведения;
- Высокая скорость малые затраты времени с низким качеством печати для черновых моделей.

Однако для последующей работы нам будет недостаточно только *Режима готовых профилей* и потребуется открыть набор расширенной настройки с возможностью его изменения – *Режим ручных настроек*.

Для перехода к набору расширенной настройки открываем вкладку Эксперт и выбираем Режим ручных настроек (рис. 20, справа). При этом появится окно Копия профиля – перенос автоматически установленных настроек печати из Режима готовых профилей в Режим ручных настроек. В этом окне мы нажимаем Да (рис. 21).

После нажатия Да произойдет переключение из Режима готовых профилей в Режим ручных настроек (рис. 22). В этом режиме нам понадобятся две вкладки с параметрами – Простой и Расширенный (рис. 22).

КАФЕДРА «Компьтерно-интегрированная технология машиностроения» Ярославский государственный технический университет



Рис. 20. Переход к набору ручных настроек



Рис. 21. Окно Копии профиля

айл Инструменты	Принтер	Эксперт	Помощь	Файл	Инструменты	Принтер	Эксперт	П
ростой Расширенный	Модули	Start/End-G	Code	Простой	Расширенный	Модули	Start/End-G	Cod
Качество				Откат	филамента			
Высота слоя (мм)	0.20]	Скорос	ть (мм/с)	-	40.0	
Толщина стенки (мм)	0.6			Расстоя	яние (мм)	[1.5	
Включить откат	\checkmark			Качес	тво			
Заполнение				Высота	первого слоя (м	1) [0.2	
Толщина Низ/Верх (мм)	0.6			Началь	ная толщина лин	ии (%)	100	
л потно заголчение	292	NMNI	1 may	PSpera	ль оде них	and long	mm	مبر

Рис. 22. Вкладки Простой и Расширенный в Режиме ручных настроек

Теперь перенастраиваем некоторые из параметров во вкладках Простой (рис. 23, слева) и Расширенный (рис. 23, справа):

- Высота слоя. Определяет высоту каждого наносимого слоя (например, 0,1 мм)
- Толщина стенки задает толщину стенок изделия. Чем выше зна-

• Заполнение модель • Заполнение модели и Толщина Низ/Верх – это толщина основа-КАФЕДРА, и сраники изделия. От выбора параметра Плотность запол-«Кимпьтерно-интегрировния» ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ* ЯРОСЛАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ 12 ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

нения (%) зависит, какой будет модель – например, цельной (100%) или полой (0%)

- Скорость и температура напрямую влияют на качество объекта. В зависимости от конструкции принтера, удовлетворительные результаты достигаются при скорости 50-100 мм/с, а более точные данные можно получить опытным путем
- Для печати сложных изделий используется поддержка. В параметре *Тип поддержки* можно либо отказаться от поддержек при выборе *Hem* (рис. 24) или установить только под выступающими элементами – *Снизу*
- В поле Доп. сцеплении со столом можно установить Кайму (рис. 25) для лучшей фиксации детали
- Подложка добавляет толстую прослойку из материала между столом и моделью
- Диаметр нити равен диаметру используемого пластика.

Необходимые Расширенные параметры (см. рис. 23, справа):

- Перемещение или скорость движения экструдера вне области печати. Лучше выбрать в пределах значения параметра Скорость печати, чтобы избежать вибраций при резких ускорениях стола и печатающей головки;
- от *Печати первого слоя* зависит скорость печати основания детали, и значение от 20 до 40 мм/с считается оптимальным для большинства принтеров;
- Заполнение регулирует плотность внутреннего каркаса;
- Внутренняя граница и внешняя граница регулируют скорость печати внешней и внутренней стенки;
- Охлаждение опция, управляющая временем охлаждения каждого слоя пластика. В ней можно включить обдув слоев модели при печати PLA-пластиком.

Для печати мы будем использовать PLA-пластик. Данный вид пластика для 3D-печати удовлетворительно прилипает к рабочему столу 3D-принтера без дополнительных средств, поэтому подогрев стола, кайму или подложку мы не добавляем.

КАФЕДРА «Кимпьтерно-интегрированная ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ* ПРОСЛАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Іростой Расширенный I	Модули	Start/End-GC
ство		
та слоя (мм)	0.1	
Голщина стенки (мм)	0.6	
Зключить откат	\checkmark	
Заполнение		
Голщина Низ/Верх (мм)	0.6	
Плотность заполнения (%	6) 30	
Скорость и температ	гура	
Скорость печати (мм/с)	40	
Гемпература печати <mark>(</mark> С)	220	
Температура стола (C)	0	
Поддержка		
Тип поддержки	Нет	~
Доп. сцепление со столом	Нет	~
	1 75	
дианстр (нн) Поток (%)	100	
H010K (%)	100	
Принтер		
Диаметр сопла (мм)	0.3	

Рис. 23. Настроенные параметры печати

Поддержка			
Тип поддержки	Снизу 🗸 …		
Доп. сцепление со столом	Экспертные настройки		×
Нить	Поддержка		
Диаметр (мм)	Тип поддержки	Линии 🗸	
Поток (%)	Угол нависания для поддержки (градусы)	60	
Принтер	Заполнение (%)	18	
Диаметр сопла (мм)	Расстояние Х/Ү (мм)	0.8	
	Расстояние Z (мм)	0.2	
	Ok		

Рис. 24. Установка поддержки

КАФЕДРА «**К**ОМПЬТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ* ЯРОСЛАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Поддержка		
Тип поддержки	Снизу 🗸 …	
Доп. сцепление со столом	Кайма 🗸 📖	
Нить	Экспертные настройки	×
Диаметр (мм)	Кайма	
Поток (%)	Количество линий каймы 20	
Принтер	Ok	
Диаметр сопла (мм)	UN	

Рис. 25. Установка каймы

4.5 Предпечатный просмотр модели

Если 3D-модель в своей верхней части имеет выступы или отверстия, то установим под ними поддержки *Везде* или *Снизу* (см. рис. 24). Чтобы посмотреть поддержки на модели, находим функцию *Просмотр* в правом верхнем углу виртуального стола и выбираем *Слои* (рис. 26). При этом слайсер покажет виртуальную печать всех слоев детали, включая поддержки (рис. 27, 28).

Перед печатью построение каждого слоя можно динамически посмотреть, перемещая флажок в правой части экрана (рис. 29).



Рис. 26. Раздел просмотра модели по слоям

КАФЕДРА «КОМПЬТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ* ЯРОСЛАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Рис. 27. Поддержки под левой частью модели



Рис. 28. Поддержки верхней выступающей части модели



КАФЕДРА «Компьтерно-интегрированная Рис. 29. Просмотр каждого слоя технология машиностроения» технология посударственный 16 Ярославский государственный 16 технический университет К этому моменту автоматически сформирован файл с G-кодом. Чтобы посмотреть начало и конец G-кода, полностью сформированного слайсером по завершению настройки параметров и выбора положения модели, в *Режиме ручных настроек* находим вкладку *Start/End-GCode*, в которой расположено два окна (рис. 30). В верхнем окне находятся кнопки – *Start.gcode* и *End.gcode*. Переключая их левой кнопкой мыши, мы можем увидеть начало и конец G-кода, которые отображаются в нижнем окне (рис. 30, справа).

Таким образом, мы выполнили настройку параметров печати. Теперь, до заключительного этапа работы со слайсером – отправки файла G-кодом на печать, необходимо настроить 3D-принтер.

Простой Расширенный Модули Start/End-GCode	Простой Расширенный Модули Start/End-GCode
Start.gcode end.gcode	start.gcode end.gcode
<pre>;Balced at: (day) (date; (time); ;Basic settings: Layer height: [layer_heig; ;Print time: (print_time); ;Filament used: {filament_amount)m {filame; ;Filament cost: {filament_cost}; ;M190 S{print_bed_temperature}; Uncomment ;M109 S{print_temperature}; Uncomment to & G21 ;metric values G90 ;absolute positioning M107 ;start with the fan off</pre>	M104 S0 ;extruder heat M140 S0 ;heated bed ht G91 ;relative pos: G1 E-1 F300 ;retract the ; G1 Z+15 E-3 Y130 F{travel_speed} ;move Z v ;move Z v/Y to r M84 ;steppers off G90 ;absolute pos: ;[profile string] ;
G28 X0 Y0 ;move X/Y to min endstops G28 Z0 ;move Z to min endstops G1 Z15.0 F200 ;move the platform down 15mr G92 E0 ;zero the extrude G1 F200 E5 ;extrude 3mm of fe G92 E0 ;zero the extrude G1 F(travel_speed) ;Put printing message on LCD screen ;M117 Printing	

Рис. 30. Просмотр начала и конца G-кода модели

5 ПЕЧАТЬ НА 3D-ПРИНТЕРЕ

Ранее мы сохранили нашу модель в формате .stl и загрузили ее в слайсер Cura, где нами были установлены некоторые простые и расширенные параметры печати, а затем сформирован файл G-кода.

Теперь нам необходимо подготовить кафедральный 3D-принтер, побывапустить нечать.

```
конструкти и почина и почина
```

5.1 Общий вид 3D-принтера и его характеристики

3D-принтер MZ3d-256 (рис. 31) имеет следующие основные части: печатающая головка 1, рама 2, рабочий стол 3, блок питания 4, катушка с пластиком 5, контроллер 6, дисплей 7, USB-разъем 8, тумблер 9, разъем под SD-карту. Технические характеристики принтера представлены в таблице 1.



Рис. 31. Общий вид 3D-принтера MZ3d-256

$1 a_{0,1} M = 1 c_{1,1} + 1 $
--

Назначение	Персональный
Габариты (мм)	274x209x355
Диаметр сопла (мм)	0,25/0,3/0,35/0,4/0,45
Толщина слоя (мм)	0,04
Рабочее поле (мм)	160x160x150 (x y z)
Шаг позиционирования (мм)	х, у=0.01 мм, z=0.00625 мм
Интерфейсы	USB, CardReader
Материалы	ABS-пластик, PLA-пластик
Диаметр нити (мм)	1,75

КАФЕДРА «Компьтерно-интегрированная технология машиностроения» Ярославский государственный технический университет

5.2 Подключение 3D-принтера к электрической сети и ПК

Первым шагом в работе с принтером является его подключение к электросети и ПК (рис. 32). После этого кнопкой на задней панели рамы (рис. 32), включаем моторы и нагрев экструдера. Одновременно включится дисплей (рис. 33). На нем отобразится автоматический подогрев стола до 70°С. Отключим его (рис. 34, позиции 1-4): нажмем на находящийся справа от дисплея тумблер (рис. 32) и попадем в *Контроль*. Далее выберем раздел *Параметры* > *Температура* > *t Стол*. Вращая тумблер влево, понижаем температуру стола до комнатной или 0°С. Если затем подождать несколько секунд, дисплей вновь покажет основное меню *Контроль*. Наблюдаем на дисплее понижение температуры стола.



Рис. 32. Подключение принтера



Рис. 33. Включенный дисплей и отображение подогрева стола

КАФЕДРА «Кимпьтерно-интегрированная ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ* ПРОСЛАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Рис. 34. Отключение подогрева стола

5.3 Загрузка пластика в принтер

Следующий шаг – это установка катушки с пластиком (в нашем случае это PLA) и заправка нити в экструдер печатающей головки. Для начала необходимо нагреть сопло экструдера, чтобы удалить расплавившийся предыдущий пластик, а затем вставить новую нить.

Снова заходим в Контроль (рис. 35), выбираем Подготовка > Преднагрев PLA» > Преднагрев PLA 1. Теперь в верхней части дисплея отображена температура экструдера (180 °C.) и стола, для которого нагрев необходимо вновь отключить, как было описано ранее, так как нашу деталь будем печатать PLA-пластиком на холодном столе.

Если в экструдере находится пластик ABS, то выбираем вместо Преднагрев PLA > Преднагрев ABS, далее Преднагрев ABS 1 (рис. 36). Это необходимо, поскольку температуры нагрева PLA недостаточно для размягчения и удаления ABS.]



ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ* ЯРОСЛАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Рис. 36. Запуск преднагрева сопла для АВЅ-пластика

После того, как сопло экструдера нагрелось до температуры $180 \,^{\circ}$ C для PLA и $240 \,^{\circ}$ C для ABS, вручную отжимаем губки прижима (рис. 37, позиция 1) и вынимаем остатки предыдущей нити. Конец новой нужно подравнять кусачками, особенно, если он был ранее оплавлен (рис. 37, позиция 2). Отжав губки, проталкиваем новую нить в экструдер, пока из сопла не удалятся остатки другого пластика и не появится новый (рис. 37, позиция 3). Аккуратно уберем пинцетом застывшие остатки вытекшей нити.

Чтобы пластик не продолжал вытекать до начала собственно печати, временно отключим нагрев сопла, зайдя в меню *Контроль* и выбрав *Подготовка > Отключить нагрев* (рис. 35, позиции 1-2). На этом процесс загрузки пластика закончен.



Рис. 37. Этапы загрузки пластика в экструдер

КАФЕДРА «Компьтерно-интегрированная технология машиностроения» Прославский государственный технический университет

5.4 Калибровка рабочего стола принтера

Последний и наиболее важный этап в подготовке принтера к печати – выравнивание (калибровка) его рабочего стола. От него зависит, не отлипнет ли деталь в процессе печати и насколько качественно она будет напечатана.

Перед выравниванием сначала выполним «зануление» стола. Проверим, подключен ли принтер к сети, и нажмем Контроль > Подготовка > Парковка (рис. 38). Стол и печатающая головка должны переместиться в «нулевую точку» (рис. 39-41). После этого следует обязательно отключить моторы, вновь зайдя в Контроль > Подготовка > Отключить моторы.



Рис. 38. Команда «Парковка»



Рис. 39. Стол и печатающая головка перемещены в нулевую точку

КАФЕДРА «Кимпьтерно-интегрированная ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ* ЯРОСЛАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Рис. 40. Схема «зануления» стола принтера



Рис. 41. Вид сверху на перемещенные стол и печатающую головку

Сначала вручную с небольшим усилием передвигая стол, совместим печатающую головку с пластиной на столе так, чтобы сопло находилось в точке 2 (см. рис. 40) переднего правого угла (рис. 42). Далее дод сопло подкладываем бумажный лист и вращаем винт под углом стола (рис. 43, позиция 1). Вращая винт, прижимаем лист таким «Компьтерно-интегроения» технология машиностроения» Технология машиностроения технология машиностроения технология университет технический университет образом, чтобы его можно было убрать из-под сопла, но с небольшим усилием. Выполним данную операцию и на остальных трех углах пластины (см. рис. 40), вручную перемещая стол и печатающую головку (рис. 44).

Важно учесть, что при выверке зазора на одном углу, на других он может несколько изменяться. Поэтому калибровку стола, возможно, потребуется выполнить несколько раз.

На этом процесс подготовки принтера к печати завершается, возвращаемся в программу Сига для отправки файла G-кода на печать.



Рис. 42. Сопло вручную подведено к пластине



Рис. 43. Калибровка зазора по между соплом и пластиной

КАФЕДРА «Компьтерно-интегрированная технология машиностроения» Прославский государственный технический университет



Рис. 44. Калибровка зазора на других углах пластин

6 ПЕЧАТЬ ДЕТАЛИ

6.1 Выполнение виртуальной печати

Вернемся в слайсер Cura и отправим на печать подготовленный файл с созданным G-кодом. Это можно сделать двумя способами:

a) нажатием иконки с принтером *Печатать* с USB в левом верхнем углу виртуального стола;

б) открыть Файл > Печать... (рис. 45).

Если G-код будет печататься с файла на SD-карте, то сохраним его через команду *Сохранить G-код*... (см. рис. 45, 46). Далее откроется порт COM (№3, 5...) с окном статуса печати (рис. 47).

В случае печати с ноутбука его нужно подключить к розетке электросети, о чем предупредит окно (см. рис. 47). Когда USBсоединение с ПК будет установлено, нажмем *Печать* для начала работы принтера. Начинается прогрев до заданной температуры, а затем – печать. По мере изготовления принтером детали, индикатор в нижней части окна будет заполняться зеленым цветом (рис. 48). В ином случае окно выдаст ошибку соединения (рис. 49). Для экстренного прерывания работы принтера есть кнопка *Отменить печать* (рис. 49).



КАФЕДРА «Кимпьтерно-интегрированная. Способы отправки модели на печать технология машиностроения» технология машиностроения» технология машиностроения технология машиностроения технология машиностроения технология машиностроения технология машиностроения технический университет

— Рабочий стол	1			2018		
Разное			36	3A	5.	
ConeDrive				T	雇	
📃 Этот компьюте	₂p					
🔿 Сеть	~	МЕТОДИЧГА	НИП за 2й	НИР за 1й	НИР за Зй	~
Имя файла:	Деталь	на печать.gcode				~
Тип файла:	Toolpat	h (*.gcode)				~
	Toolpat	h (*.gcode)		_		
🛧 Скрыть папки				Сохранит	ъ Отмена	

Рис. 46. Сохранение G-кода модели в окне «Сохранить G-код»

Печать СОМЗ	x				
Ваш компьютер работает от батарей. Подключите его к сети, иначе ваша печать может не завершиться.					
Соединиться Печатать Отменить печать					

Рис. 47. Необходимо подключить ПК к сети

Печать СОМ5	Нагрев сопла	×
Печать Температура: 235 Ст	ол: 25 Нагре	в стола
Соединиться	чатать	Отменить печать

Рис. 48. Статус выполнения печати

Печать СОМЗ		×
Error: Failed to autodetect serial port.	Кнопка	
Соединиться Печатать	Отменить печать	Журнал ошибок
		-

КАФЕДРА Рис. 49. Ошибка соединения ПК с принтером «Компьтерно-интегрированная технология машиностроения» технология машиностроения» прославский государственный 26 кристерситет

6.2 Примеры некоторых вариантов печати

Процесс печати детали с поддержками и подложкой PLAпластиком представлен на рис. 50. Деталь без удаленных поддержек изображена на рис. 51. Второй вариант печати без каких-либо поддержек и подложки изображен на рис. 52, 53.

По окончанию печати снимаем пластину со стола, и с небольшим усилием отделяем деталь при помощи шпателя или пинцета, аккуратно подцепляя края, подложку или кайму, чтобы не допустить повреждений.



Рис. 50. Печать детали с поддержками и подложкой



Рис. 51. Общий вид детали по завершению печати



Рис. 52. Печать детали без поддержек и подложки

КАФЕДРА «Компьтерно-интегрированная ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ* ЯРОСЛАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Рис. 53. Готовая деталь, напечатанная без поддержек

выводы

В ходе выполнения данной лабораторной работы были освоены основные этапы подготовки цифровой модели детали (прототипа) для реализации на кафедральном 3D-принтере. Получены навыки по работе с моделью в слайсере Cura, включая настройку параметров печати, выбор положения модели на столе принтера и предпечатный просмотр.

Навыки технической подготовки и калибровки принтера, приобретённые во время лабораторной работы, в дальнейшем будут способствовать быстрому освоению других моделей оборудования, работающего по технологии FDM/FFF.

КАФЕДРА «Кимпьтерно-интегрированная ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ» ЯРОСЛАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Цифровое прототипирование. Создание в CAD/CAM Cimatron 3Dмоделей путем выдавливания и вращения. Методические указания / Сост.: О.Н.Калачев. – Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2016. – 29 с.
- 2. Антонова В.С., Осовская И.И. Аддитивные технологии: учебное пособие / ВШТЭ СПБГУПТД. СПБ., 2017.
- Гибсон, Я., Розен Д., Стакер Б. Технологии аддитивного производства. Трехмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016.
- Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015.
- 5. Print Quality Troubleshooting Guide [Электронный ресурс]. Режим доступа: <u>https://www.simplify3d.com</u>.
- 6. Материалы WEB-страницы кафедры Компьютерноинтегрированная технология машиностроения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <u>http://tms.ystu.ru/</u>.
- 7. Подводные камни 3D-печати [Электронный ресурс]. Режим доступа: <u>https://habr.com/ru/company/mvideo/blog/405897/</u>.
- Скачать ПО Cura 15.4.6 RU [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://mz3d.ru/support/software/.
- 9. Елисейкин Е.И., Крыцков А.В., Калачев О.Н. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ FDM/FFF 3D-ПРИНТЕРА В БЫСТРОМ ПРОТОТИПИРОВАНИИ // 72 Всероссийская н-т конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием, посвященная 75летию ЯГТУ. Ярославль. - Издательский дом ЯГТУ, 2019, Ч. 2, С. 212-215. Сборник материалов конференции. Электронное издание

КАФЕДРА «Кимпьтерно-интегрированная ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ* ПРОСЛАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

СОДЕРЖАНИЕ

1 ЦЕЛИ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ	3
2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	3
3 КОНВЕРТАЦИЯ 3D-МОЛЕЛИ В .STL-ФАЙЛ	3
4 НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ ПЕЧАТИ В СЛАЙСЕРЕ CURA	4
4.1 Запуск слайсера и настройка соединения с принтером	4
4.2 Загрузка .stl-файла модели в слайсер	8
4.3 Выбор положения и масштаба модели на столе принтера	9
4.4 Настройка параметров печати	11
4.5 Предпечатный просмотр модели	15
5 ПЕЧАТЬ НА 3D-ПРИНТЕРЕ	17
5.1 Общий вид 3D-принтера и его характеристики	18
5.2 Подключение 3D-принтера к электрической сети и ПК	19
5.3 Загрузка пластика в принтер	20
5.4 Калибровка рабочего стола принтера	22
6 ПЕЧАТЬ ДЕТАЛИ.	25
6.1 Выполнение виртуальной печати	25
6.2 Примеры некоторых вариантов печати PLA-пластиком	27
выводы	28
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	29