

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ

УДК 62-1/-9

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДГОТОВКИ 3D-МОДЕЛЕЙ К 3D-ПЕЧАТИ

© 2019 С. Ю. Попов, А. Н. Зеленина, Н. М. Токарева

*Воронежский институт высоких технологий (г. Воронеж, Россия)
ООО «3Д комплекс» (г. Воронеж, Россия)*

Обозначена актуальность разработки программного обеспечения для 3D-печати, а также проблемы, связанные с аддитивными технологиями и 3D-печатью. Предметная область – программное обеспечение подготовки 3D-модели к 3D-печати для учебных заведений или школ с аддитивным уклоном. Проведен краткий анализ функционала программного обеспечения, а также даны советы по настройке программ-слайсеров при подготовке модели для 3D-печати.

Ключевые слова: САПР, аддитивные технологии, 3D-печать, 3D-моделирование, слайсер.

Вместе с 3D принтером поставляется специальная программа (слайсер), имеющая первичные настройки. Однако, этого не всегда достаточно для решения задач, связанных с аддитивными технологиями. Программное обеспечение для 3D принтеров поставляется производителем пока ещё без учёта пользовательских потребностей. Программы, используемые для работы с 3D принтером в основном бесплатные и только некоторые из них, имеют платные версии или расширения. Все бесплатные программы, предоставляемые для 3D принтера разработчиками, пока поддерживаются и обновляются тоже на свободной основе. Многие из них имеют открытый код. Софт, используемый для 3D принтеров, с интерфейсом на русском языке пока довольно мало числен. Но отечественный рынок быстро растёт, а также увеличивается и количество адаптированного софта.

Слайсер – изначально это утилита, которая умеет из поверхностного массива сделать нарезку параллельными плоскостями и перевести полученную информацию в G-код. Головки экструдера работают таким образом, что объект строится последова-

тельным наращиванием «срезов» поверхностей в параллельных плоскостях.

Поэтому, при выходе на рынок трёхмерных принтеров появились утилиты, которые нарезают эти плоскости и, затем, управляют драйверами шаговых двигателей и соплами принтера. С развитием печатного дела в этой области, слайсеры стали оснащать и простыми инструментами построения трёхмерных объектов.

Средства, изначально предназначенные для трёхмерного моделирования намного мощнее. В них можно строить объекты любой сложности и детализации. Работа с ними требует определённых навыков. Тем не менее, инструменты САПР (CAD или CADD) тоже получили значительное развитие с появлением трёхмерной печати. Сегодня все мощные программы моделирования имеют встроенные возможности по компиляции своих моделей в файл формата *.stl.

Развитие печати твёрдыми материалами происходит несколькими путями. Разработчики слайсеров и другого полезного прикладного софта не стоят на месте. К примеру, появились попытки представления конечного изделия со всеми возможными его изгибами и ограничениями. Мощные САПР пока не могут похвастаться такими полезными возможностями, хотя в некоторых из них реализованы подобные вещи для литья и механической обработки (рис. 1).

Кроме того, интерфейсы слайсеров сделаны интуитивно понятными и очень про-

Попов Сергей Юрьевич – Воронежский институт высоких технологий, студент.

Зеленина Анна Николаевна – Воронежский институт высоких технологий, к. т. н., доцент, snakeans@gmail.com.

Токарева Наталия Михайловна – ООО «3Д комплекс», генеральный директор, tokkarnewwa_561@mail.ru.

стыми для пользователя. Простые предметы в слайсере построить намного легче даже и опытному пользователю САПР. Значительное преимущество слайсеров, кроме простоты и доступности – фактор стоимости.

Большинство из них бесплатные и свободные к распространению, к примеру, Ultimaker Cura [5] (рис. 2).

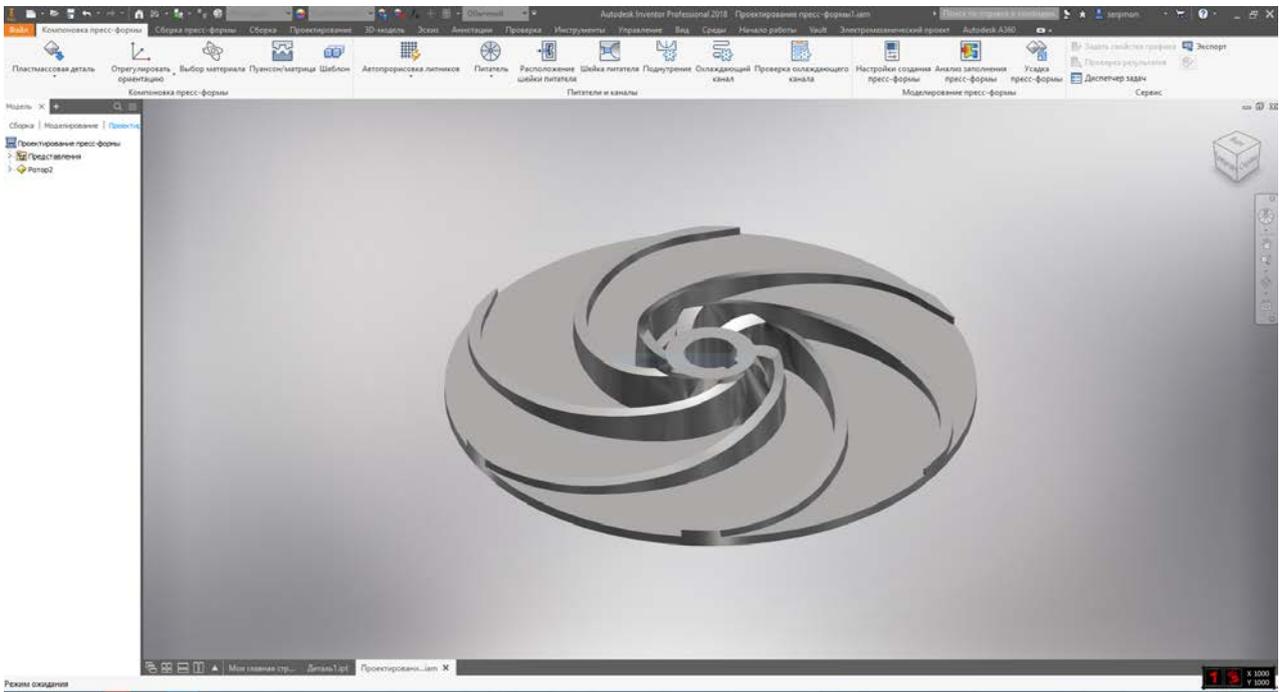


Рисунок 1. Autodesk Inventor. Вкладка «компоновка пресс-формы» с инструментами для литейного производства.

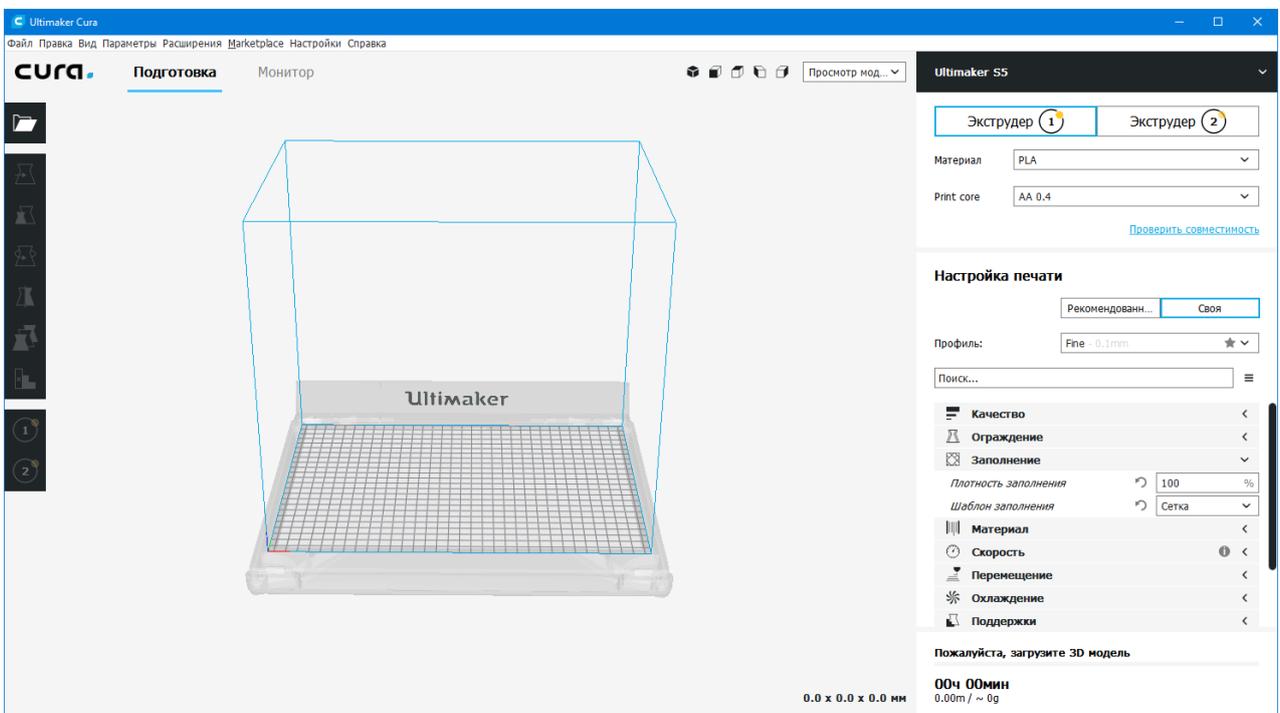


Рисунок 2. Программа слайсер Ultimaker Cura.

Есть и платные инструменты, но их стоимость не так велика по сравнению со стоимостью САПР. Стоит также отметить, что все хорошие слайсеры и оболочки имеют инструменты редактирования и построения простых объектов.

Предпечатная подготовка 3D-модели является важной процедурой для печати по технологии FDM [1]. Создание качественного прототипа по FDM технологии из 3D-модели является не простой задачей, ввиду ряда ограничений данной технологии. Для преодоления этих ограничений проводится предпечатная подготовка, которая доводит модель до вида, удовлетворяющего критериям печати по технологии FDM. При подготовке приходится решать проблему точного повторения геометрической формы, собираемости, внешнего вида и поиска материалов. Проведение правильной подготовки 3D-модели позволяет избежать нарушения геометрии и различных дефектов при печати прототипа.

Общие рекомендации подготовки модели к 3D-печати и работы в программах-слайсерах:

- На этапе создания 3D-модели для печати по FDM-технологии стоит учитывать размеры её отдельных элементов и её общие габариты. FDM-принтер не сможет напечатать деталь меньшего размера, чем диаметр используемого сопла. Если габариты 3D-модели превышают максимальные размеры области печати принтера, то такую модель стоит разделить на части для последующей склейки. Для таких частей стоит предусмотреть подходящие способы соединения и воспроизвести их элементы на частях 3D-модели.

- На модели необходимо выделить плоское основание, которое будет приклеиваться к столу для фиксации и с которого начнётся печать прототипа. Это необходимо для сохранения геометрии модели и во избежание смещений модели по осям координат. Если на модели сложно выделить такое основание или его площадь мала, то для такой модели необходимо подготовить подложку (рафт), напечатанную из отличного материала от материала будущего прототипа, для последующего растворения в воде или спирте.

- 3D-модель, состоящую из нескольких пересекающихся объектов, следует сводить к единому объекту, иначе пересекающиеся рёбра и грани могут привести к порче модели при резке программой слайсером (программа для перевода 3D-модели в управляющий код для 3D-принтера.).

- При FDM-печати следует стараться избегать нависающих элементов в 3D-модели, так как печать таких элементов требует печати поддержек, которые впоследствии придётся удалять. Иногда лучше разбить 3D-модель на несколько элементов и напечатать их отдельно с последующей склейкой.

- Сохранять модель для последующей обработки в программе слайсере требуется в формате, поддерживаемом в этой программе, чаще всего это формат STL.

- После экспорта 3D-модели в слайсер необходимо расположить модель на виртуальном столе подходящим образом, повернуть по мере необходимости для размещения других моделей и отмасштабировать.

- Далее следует перейти к настройкам печати, сначала указать характеристики принтера и материала, из которого будет выполняться печать, задать соответствующие параметры, затем перейти к настройкам самой 3D-модели: выбрать толщину стенок и основания, высоту слоя, уровень и метод заполнения, и другие настройки. От этих настроек будут зависеть характеристики прототипа, скорость печати, расход материала.

- Для полых 3D-моделей или 3D-моделей с нависающими элементами необходимо сгенерировать поддерживающие конструкции (поддержки) и настроить их соответствующим образом для экономии материала и простоты последующего удаления с прототипа.

- После выполнения всех настроек модель разрезают. По завершении процесса можно визуальным образом оценить полученные слои и траекторию экструдера. При возникновении ошибок или "хрупких" мест следует устранить их более точными настройками. На выходе программа сохраняет G-code для 3D-принтера.

Для нарезки 3D-моделей можно использовать слайсер slic3r (рис. 3). В нём достаточно много тонких настроек, которые при правильном использовании помогут опытному пользователю получить на выходе достаточно-качественную, распечатанную 3D-модель. У этих параметров по умолчанию уже включен или выключен нужный режим. Поэтому, без определенного опыта и множества проб и ошибок, лучше не пытаться настраивать данный слайсер.

В таблице содержится описание настроек Slic3r с рекомендациями по их применению на практике [2].

Преимущества и недостатки данного слайсера:

- Интерфейс slic3r логичен и нагляден;
- Распространяется как бесплатное ПО и имеет лицензию открытого программного обеспечения, что является большим плюсом

для дальнейшей его доработки под какие-либо задачи;

- Имеет большое количество настроек, которые могут потребоваться в редких случаях при 3D-печати, а также это позволяет тонко настроить 3D-печать. Однако большое количество настроек иногда может стать минусом для неопытных пользователей;

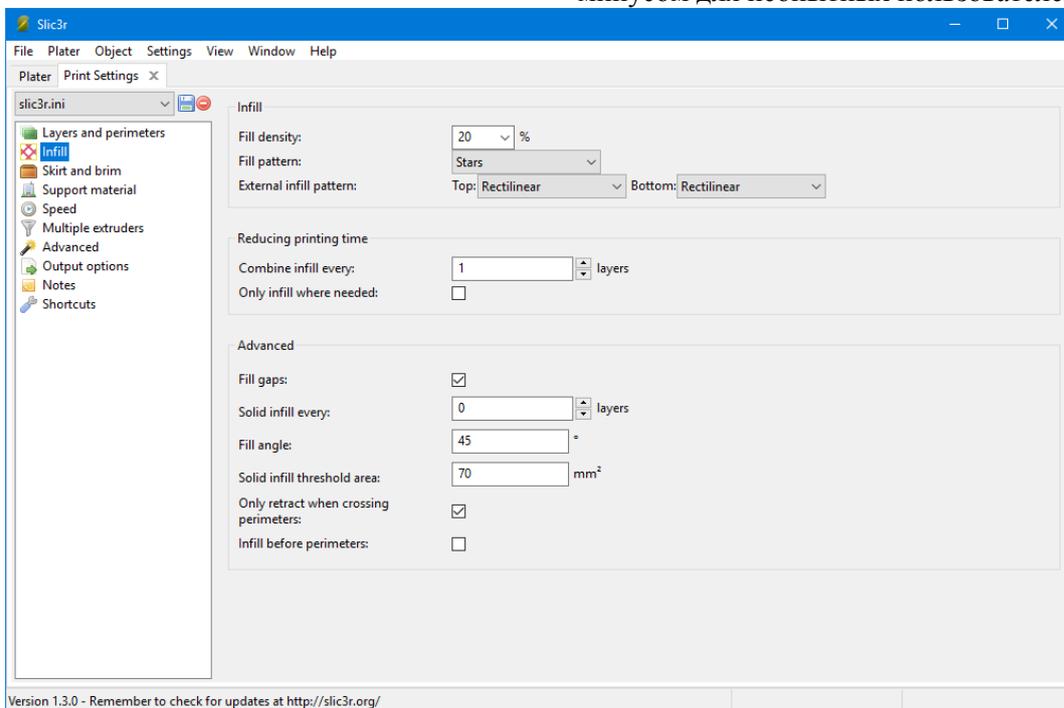


Рисунок 3. Окно настроек Slic3r.

- Важным фактором является настройка скоростей печати во вкладке speed на панели Print Settings (рисунок3), которая так широко развернута только в slic3r;

- Возможность работы с двумя и более экструдерами;
- Невозможность редактирования поддержек вручную;

Рекомендации по настройке Slic3r

Параметр	Описание
Print Settings/ Layers and Perimeters	
Layer height	Основная высота слоя. От этого параметра прямо пропорционально зависит время печати, и сильно зависит итоговое качество.
First layer height	Высота первого слоя. Обычно, ставиться больше основной для лучшей адгезии материала к столу (материал “вмазывается” в стекло)
Perimeters	Количество проходов печатной головы (экструдера) вдоль периметров модели
Spiral Vase	Режим “Вазы”. модель печатается с нулевым заполнением, в одну стенку и без верхней плоскости “крышки”
Solid layers	Количество сплошных слоев сверху и снизу. При малых заполнениях увеличение слоев сверху помогает улучшить каче-

	ство верхней поверхности
Extra perimeters if needed	Добавляет периметры чтобы избежать дырок в стенках с обратными углами наклона
Avoid crossing perimeters	Заставляет экструдер не выходить за стенки печатаемой модели при свободных перемещениях. Увеличивает время печати за счет увеличения пустого пробега но может сильно увеличить качество итоговой поверхности
Detect thin walls	Печать тонких стенок в 1 проход
Detect bridging perimeters	Печать нависающих элементов настройками для мостов (bridges)
Seam position	Точка начала печати периметра. Random – случайная, Aligned – друг над другом, Nearest – начало в ближайшей к текущему расположению головы точке.
External perimeters first	Печать периметров от внешних к внутренним, а не наоборот. Вроде как точнее, но для стенок

	с обратными углами наклона – хуже
Print Settings/ Infill	
Fill density	Очевидно, процент заполнения
Fill pattern	Тип рисунка заполнения. Настройка хорошо видна в режиме просмотра печати.
Combine infill every	Толстые заполнения при тонких периметрах. Например, за 2 слоя периметра будет напечатан один, но толстый слой заполнения
Only infill where needed	Печатать заполнения только там, где этого требуют дальнейшие нависающие элементы. Эти параметры очень влияют на прочность модели, пользоваться ими надо с осторожностью
Solid infill every	Печать сплошного заполнения каждые n слоев
Fill angle	Угол заполнения
Solid infill threshold area	Заполнение небольших площадей сплошной заливкой
Only retract when crossing perimeters	Откат пластика только при пересечении периметров
Infill before perimeters	Печать заполнения перед периметрами.
Print Settings/ Skirt and Brim	
Loops	Количество периметров вокруг модели
Distance from object	Расстояние от модели
Skirt height	Количество слоев юбки
Minimum extrusion length	Выдавить как минимум n пластика для прочистки сопла от предыдущего цвета/материала
Brim width	Ширина поля вокруг модели. Чем шире, тем больше материала потратится и лучше прилипнет модель (в теории)
Print Settings/ Support material	
Generate support material	Активация печати поддержек
Overhang threshold	Значение обратного угла наклона, при котором (или более крутом) требуется поддержка. Выбирается в зависимости от материала, толщины сопла, высоты слоя, обдува. Подбирается исключительно опытным путем.
Enforce support for the first	Поддержка для первых n слоев вне зависимости от угла наклона. Помогает удерживать на столе предметы с круглыми доньшками с маленькой площадью основания
Contact Z distance	Высота от поддержки до модели. Поддержки легче отделяются, но нижние слои модели “провисают”
Pattern	Тип поддержек

Pattern spacing	Расстояние между поддержками
Pattern angle	Угол печати поддержек
Interface layers	Количество переходных слоев между объектом и поддержкой
Interface pattern spacing	Расстояние от переходных слоев до модели
Print Settings/ Speed	
Perimeters	Скорость на периметрах. Очень зависит от конструкции принтера и типа кинематики
Small perimeters	Скорость на маленьких периметрах (в основном, отверстия). Ставится в % соотношении от первого значения или в абсолютной скорости
External perimeters	Скорость на наружных видимых периметрах, наиболее влияет на качество поверхности детали
Infill	Скорость заполнения
Solid infill	Скорость печати сплошных горизонтальных заполнений, в том числе сплошные нижние слои
Top solid infill	Скорость печати сплошных верхних слоев. Снижение позволяет добиться лучшего качества верхней поверхности. Особенно актуально при малых заполнениях
Support material	Скорость печати поддержек
Support material interface	Скорость печати переходных слоев
Bridges	Скорость печати мостов. Быстрее – лучше.
Gap fill	Скорость заполнения небольших поверхностей, на которых возможно возникновение сильных вибраций принтера. Особенно актуально для тяжелых экструдеров с Direct подачей пластика
Travel	Скорость холостого перемещения головы.
First layer speed	Скорость первого слоя. Чем медленнее, тем лучше (крепче прилипнет)
Print Settings/ Speed/Acceleration control	
Perimeters	Ускорение на периметрах
Infill	Ускорение на заполнениях
Bridge	Ускорение на мостах
First layer	Ускорение на первом слое
Default	Основное ускорение
Max print speed	Максимальная скорость печати
Max volumetric speed	Максимальный объем подаваемого пластика в экструдере
Print Settings/ Multiple Extruders	
Perimeter extruder	Периметры

Infill extruder	Заполнения
Solid Infill extruder	Сплошные заполнения (включая нижние, верхние слои)
Support material/raft/skirt extruder	Поддержки, рафт, юбка (оболочка)
Support material/raft interface extruder	Переходные слои
Enable	Разрешить защиту
Temperature variation	Охладить экструдер на определенное количество градусов
Interface shells	Создает замкнутые оболочки между смежными материалами. Используется для мультиэкструдерных распечаток полупрозрачными материалами или растворимыми поддержками. Помогает избежать диффузии материалов
Print Settings/ Advanced	
Default extrusion width	Ширина печати в мм. Если стоит "0", то слайсер выберет исходя из толщины сопла в настройках принтера
First layer	Ширина первого слоя. Для первого слоя желательно использовать 200-300 %
Perimeters	Ширина печати внешних слоев модели. Широкие слои - проще печатать поверхности с обратным уклоном, если тонкие, то возможно получать лучшее качество поверхности
Infill	Ширина печати заполнения. Жирнее – меньше движений принтером. То есть печать происходит быстрее
Solid Infill	Ширина печати сплошных заполнений
Top solid infill	Ширина печати верхних поверхностей. Позволяет избежать отверстий в верхних слоях при малых заполнениях
Support material	Ширина поддержек
Infill / perimeters overlap	Процент заполнения, попадающего в периметр
Bridge flow ratio	Уменьшение потока при печати мостов, чтобы пластик не успевал провисать
XY Size Compensation	Компенсация искажений размеров при печати
Threads	Расчет в несколько потоков (для многоядерных процессоров)
Resolution	Отсечь детали менее чем n. Разрешение принтера ограничено, если модель изобилует мелкими деталями – проще их отсечь вручную, чем их отсечет слайсер потратив на это большое

	количество времени
Print Settings/ Output options	
Complete individual objects	Печатать объекты по очереди один за другим, а не все вместе слой за слоем. Позволяет минимизировать потери материала при срыве одновременной печати 20 деталей – часть будет непечатана, одна забракована. Обязательно установить расстояние безопасности для экструдера, чтобы он не повредил предыдущие распечатки или принтер
Verbose G-code	Пояснение к G-коду в слайсере
Filament settings (настройки материала)/Filament	
Color	Цвет материала. Complex3D отобразит объект именно этого цвета.
Diameter	Диаметр филамента. Лучше померить штангенциркулем
Extrusion multiplier	Коэффициент подачи пластика. Лучше один раз откалибровать в прошивке. Изменять только для корректировки под конкретный материал не более 7-10% (0,9-1,1)
Extruder	Температура для печати первого слоя и остальных. Первый слой обычно горячее для лучшей адгезии
Bed	Температура стола при печати первого слоя и остальных. Аналогично
Filament settings/Cooling	
Keep fan always on	Вентилятор всегда включен. Полезно при печати PLA-пластиком
Enable auto cooling	Автоохлаждение. Если время печати слоя менее 15 секунд, скорость печати будет снижена чтобы достичь этого времени (но не ниже 10мм/с). Если это не удалось – начнется дополнительное охлаждение вентилятором. Это важный параметр при печати мелких деталей из любых пластиков
Fan speed	Скорости обдува
Bridges fan speed	Обдув мостов
Disable fan for the first layers	Отключить вентилятор для n первых слоев для усиления адгезии
Enable fan in layer print time is below	Обдув, если печать слоя быстрее указанного времени
Slow down if layer print time is below	Замедлиться, если печать слоя быстрее указанного времени
Min print speed	Минимальная скорость печати

Printer settings/General	
Bed shape	Размеры и форма стола. Наглядно, есть даже возможность задать стол произвольной формы
Z offset	Корректировка координаты Z
Extruders	Количество экструдеров
Octoprint upload	Настройки под Octoprint
G-code flavor	Тип прошивки принтера
Printer settings/Extruder 1	
Nozzle diameter	Диаметр сопла. Как правило написан на сопле
Extruder offset	Смещение экструдера 1 от оси
Length	Длина отката
Lift Z	Приподнять сопло при откате чтобы не цеплять напечатанное
Speed	Скорость отката
Extra length on restart	Длина подачи пластика перед возобновлением печати. Могут стоять отрицательные значения для исключения “пупырышек”
Minimum travel after retraction	Минимальное расстояние перемещения для отката. Много мелких откатов занимает много времени
Retraction on layer change	Выполнить откат при переходе на новый слой
Wipe while retracting	“Разглаживает” место ретракта для исключения “пупырышек” на поверхности

В настоящее время у всё большего количества населения возрастает интерес к 3D-технологиям, а в особенности к 3D-печати. На первый план выходят сферы применения, а не технологии, также возрастает популяр-

ность полимерных материалов и программного обеспечения для 3D-печати. 3D-печать появилась три десятилетия назад как технология быстрого прототипирования, позже стала технологией кастомизации, а теперь используется и для серийного производства. Поскольку разные промышленные отрасли внедряют 3D-печать в производство, их задачи в меньшей степени касаются технологий, а в большей – экономики. Цель – сократить расходы и повысить производительность. Программное обеспечение slic3r позволит автоматизировать выполнение задач на протяжении всего процесса 3D-печати. Автоматизация ручного труда на этапе подготовки, а также в ходе и по окончании производства, является большим подспорьем в создании масштабируемой 3D-печати и уменьшении затрат. Это не только сокращает трудозатраты, но и повышает эффективность всего процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев, В. К. 3D-принтеры. Статья. 3DNews, 2004. [Электронный ресурс] URL: <http://www.3dnews.ru/peripheral/3d-print/>.
2. Slic3r. Спецификация, 2012. 18 с.
3. <https://make-3d.ru/articles/programmy-dlya-3d-pechati-i-3d-printera/> - Новости аддитивных технологий.
4. <https://3dtoday.ru> - портал для любителей и профессионалов, заинтересованных в 3D-печати и сопутствующих технологиях.
5. <https://ultimaker.com> – Официальный сайт Ultimaker.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR PREPARING 3D MODELS FOR 3D PRINTING

© 2019 S. Yu. Popov, A. N. Zelenina, N. M. Tokareva

Voronezh Institute of High Technologies (Voronezh, Russia)
LLC «3D complex» (Voronezh, Russia)

Indicates the relevance of developing software for 3D printing, as well as problems associated with additive technologies and 3D printing. Subject area - 3D-model preparation software for 3D printing for educational institutions or schools with additive bias. A brief analysis of the software functionality was carried out, and tips were given on how to set up slicer programs when preparing a model for 3D printing.

Keywords: additive technologies, 3D printing, 3D modeling.