

# ИНФОРМАТИКА ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 004.3

## Обзор оборудования, программного обеспечения, возможностей и этапов трехмерной печати

**В. Ю. Митин**

Пермский государственный национальный исследовательский университет  
Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15  
victormitin@ya.ru; 8(342) 229-15-35

Описаны основные возможности и сферы применения 3D-печати. Сопоставлены характеристики различных 3D-принтеров. Приведено описание основных этапов подготовки модели к печати. Указаны возможности программного обеспечения для 3D-моделирования и печати.

**Ключевые слова:** *трехмерная печать; трехмерное моделирование; 3D-принтеры; слайсинг.*

DOI: 10.17072/1993-0550-2018-2-67-74

### 1. Возможности трехмерной печати и основные характеристики 3D-принтеров

Трехмерная печать – создание трехмерных объектов по их цифровой модели с помощью специальных станков с программным управлением, которые называются 3D-принтерами. Все методы трехмерной печати основаны на последовательном послойном построении нужного объекта (аддитивное производство), в противоположность классическим методам производства (резка, фрезеровка), основанных на удалении ненужных частей.

В настоящее время область применения 3D-печати интенсивно расширяется и включает в себя литейное производство, машиностроение, архитектурные сооружения, производство электроники, потребительских товаров, ювелирную отрасль, медицину и многие другие отрасли производства [1]. В каждой сфере применения трехмерной печати можно выделить ее существенные преимущества по сравнению с традиционным производством. В архитектуре – высокая скорость изготовления, высокое качество печати и низкая стоимость,

в машиностроении – возможность создавать уникальные детали, улучшение параметров изделий, устранение человеческого фактора, возможность управлять физическими свойствами изделий; в медицине – хранение всех данных в цифровом виде, точность изготовления, увеличение объемов производства.

В качестве материалов для трехмерной печати могут использоваться пластик, акрил, бетон, гидрогель, бумага, гипс, деревянное волокно, металлический порошок, нейлон, поликарбонат, полипропилен, а также редкие виды материалов: глиняные смеси, известь, лед, продукты питания (например, шоколад), живые клетки.

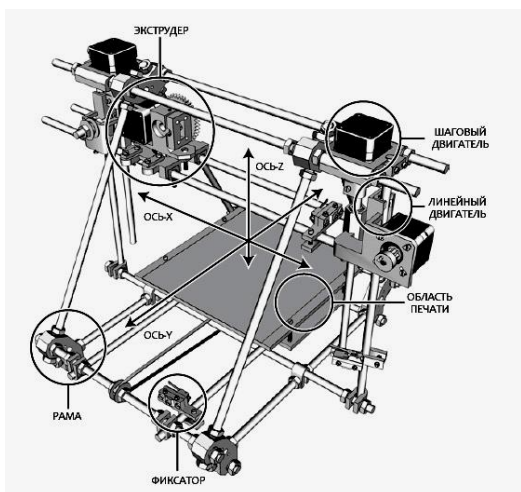
С помощью 3D-технологий были, в частности, напечатаны:

- автомобиль компании Local Motors (из термопластичных материалов, ABS-пластика, углеводородных волокон);
- велосипед с экологически чистой рамой из PLA – пластика;
- отдельные человеческие органы, например челюсть, с помощью которой удалось полностью реконструировать лицо пациента;

- сложные архитектурные конструкции, например, стальной мост;
- продукты питания (необычные макаронные и кондитерские изделия);
- наноскульптуры;
- искусственные пчелиные ульи;
- отдельные запчасти для новых 3D-принтеров [2].

Технологии 3D-печати базируются на различных методах: экструзионном (послойное наплавление), проволочном (электронно-лучевая плавка), порошковом (лазерная и тепловая плавка, тепловое спекание), струйном (струйная печать), методах ламинирования и полимеризации [3].

Основные элементы простейшей конструкции 3D-принтера изображены на рисунке. Отметим, что некоторые детали устройства могут зависеть от конкретной модели.



Устройство 3D-принтера

Принтер состоит из экструдера, разогревающего и выдавливающего полужидкий пластик, линейных двигателей, приводящих в движение подвижные части в трех направлениях осей координат, рабочей поверхности, на которой выполняется печать, фиксаторов – специальных датчиков, ограничивающих движения подвижных частей и рамы.

Существуют домашние и промышленные модели 3D-принтеров. Различные модели могут существенно отличаться по техническим характеристикам. К основным характеристикам 3D-принтера относятся [4]:

– Размеры области печати (показывают то, какого максимального размера можно напечатать деталь, при этом деталь может быть больше одного из размеров; как правило, максимальный размер ограничен длиной диа-

гонали стола). Существуют принтеры для печати деталей на наноуровне.

– Точность позиционирования осей X, Y. Этот параметр характеризует то, насколько точно принтер задает позицию экструдера над заданной областью.

– Точность позиционирования оси Z.

– Диаметр нити.

– Диаметр сопла. Характеризует точность и время печати (чем меньше диаметр, тем выше точность, но при этом время печати также увеличивается).

Оптимальным диаметром считается 0,3–0,4 мм, при больших областях печати используются сопла с большим диаметром.

– Скорость печати. Средняя скорость печати у многих принтеров составляет 50–100 мм/с. Она зависит от сложности модели и используемого материала. С ростом скорости может ухудшаться качество печати.

– Максимальная скорость печатающей головки. Характеризует предел скорости, с которой может перемещаться экструдер при работе вхолостую.

– Количество печатающих головок. При наличии нескольких головок можно печатать одновременно несколькими материалами или несколькими цветами, снизить время печати (такими возможностями обладает, например, принтер Picaso). На практике это встречается нечасто и применяется чаще всего для очень сложных моделей.

– Программное обеспечение, прилагаемое к 3D-принтеру. Следует отметить, что как правило, 3D-принтеры могут работать с универсальным программным обеспечением.

Среди популярных моделей 3D-принтеров высоким качеством поверхности обладают Object24/Object 30, Freeform Pico, Projet; высокой скоростью печати – Freeform Pico, Creatr, ZPrinter 150; дешевые материалы используются в принтерах Replicator, Xeed.

Технические характеристики распространенных моделей представлены в описании [5].

Как правило, персональные принтеры используют технологию термопластической экструзии. К другим технологиям относятся деформируемые зеркала (Freeform Pico), перенос фотополимерной пленки (Projet). Большая часть принтеров может печатать только одним материалом, дополнительные экструдеры имеются у принтеров Replicator, InspireS200, Creatr.

В табл. 1 приведены преимущества и недостатки некоторых моделей трехмерных принтеров.

Таблица 1. *Преимущества и недостатки 3D-принтеров*

Модель	Преимущества	Недостатки
Mendel	Дешевый принтер, простая модификация	Медленный, собирается пользователем, низкое качество печати
SD 1001-A	Дешевый готовый принтер, дешёвые материалы, дешёвые дополнительные модули	Медленный, только один экструдер (печатать одним материалом), сложная модификация
Cube	Дешевый принтер, простая модификация	Медленный, довольно низкое разрешение, только один экструдер, нельзя модифицировать
UP!Persona I Portable 3D Printer	Дешевый принтер, дешёвые материалы, малошумный	Медленный
Ultimaker	Улучшенная пост-обработка, замена материалов во время печати, низкая цена, большие возможности для модификации, хороший выбор материалов, дешёвые материалы, малошумный	Медленный, самостоятельная сборка, нет подогрева рабочего объема, ручная пост-обработка изделия, один экструдер
Replicator	Дешевый принтер, дешёвые материалы, печать двумя материалами, хорошие возможности для модификации, подогрев рабочего объема	Медленный
Freeform Pico	Дешевый принтер высокого разрешения, быстрая работы, малошумный	Очень маленький рабочий объем, дорогие материалы
Mojo	Дешевый "профессиональный" принтер "под ключ"	Медленный, только один материал
Inspire S200	Прочные изделия, надёжная технология, малошумный, двойной экструдер	Ограниченный выбор материалов, механические свойства материала, высокая стоимость
V-Flash	Дешевый принтер с качеством сравнимым с STL-машинами, хорошая точность, разрешение и постобработка, скорость	Ограниченный выбор материалов, механические свойства материала, высокая стоимость материала
uPrint SE	Прочные изделия, надёжная технология, малошумный	Медленный, сравнительно высокая стоимость материала

## 2. Основные этапы использования технологий трехмерной печати

### 2.1. Подготовка цифровой модели

Подготовка цифровой модели может осуществляться с помощью моделирования в CAD-системах либо с помощью 3D-сканирования.

Трехмерное сканирование осуществляется с помощью специального оборудования – 3D-сканеров, которые воссоздают цифровые модели реальных объектов путем измерения расстояния до объекта с разных ракурсов и анализа полученных данных. 3D-сканеры бывают мобильными или стационарными, в качестве подсветки используется лампа или лазерный луч.

Имеется два основных метода сканирования – контактный и бесконтактный. В первом случае прибор зондирует объект, находящийся на проверочной плите. Этот метод позволяет достигать очень высокой точности. В бесконтактном варианте предмет сканируется путем отражения светового потока. Основными технологиями сканирования являются лазерная и оптическая. Лазерное сканирование позволяет достигать высокой точности, однако непригодно для сканирования движущихся предметов. Оптическое сканирование характеризуется высокой скоростью, может использоваться для движущихся объектов, однако непригодно для зеркальных и блестящих поверхностей.

3D-сканеры широко используются в производстве, медицине, инженерии, дизайне и других сферах применения.

Для 3D-сканирования и обработки данных используется специальное программное обеспечение, например, Artec Studio 10. Имеются программы, позволяющие получать трехмерные модели на основе обычных фотографий (3DAround, Photomodeler Scanner).

Для непосредственного создания 3D-моделей используются программы трехмерной графики (CAD-системы). Примерами таких систем являются Blender 3D, AutoDesk 3Ds Max, Google SketchUp, AutoCad, Meshlab. Выбор оптимального программного пакета зависит от объекта моделирования. Например, для моделирования различных механизмов удобно использовать пакет Compass 3D.

Для фрактальной графики можно использовать специализированные пакеты (MandelBulb3D, MandelBulber и т.п.). Разработаны программные оболочки, позволяющие

строить простые объекты фрактальной графики непосредственно в CAD- системах (например, Fractal Maker для AutoDesk 3Ds Max).

Для того чтобы не возникало дополнительных проблем при печати, при моделировании желательно придерживаться следующих общих правил.

1. Избегать пересекающихся граней и ребер, которые могут приводить к искажениям при слайсинге.

2. Желательно наличие плоского основания у модели.

3. Стенки не должны быть тоньше диаметра сопла принтера, иначе он не сможет их напечатать.

4. Модель должна содержать минимальное количество нависающих элементов, для таких элементов необходимо устанавливать поддерживающие конструкции.

5. Желательно избегать мелких деталей, трудно поддающихся печати.

6. Желательно избегать узких мест.

7. Следует учитывать максимально возможные габариты печати.

8. Большие модели необходимо разрезать по частям. Размеры должны соответствовать габаритным размерам.

9. Модель на рабочем столе должна быть установлена так, чтобы нагрузка распределялась не вдоль слоев печати, а поперек.

Существует большое количество сайтов, содержащих множество готовых 3D-моделей самых разнообразных объектов. При выборе готовой модели можно переходить к третьему этапу.

## 2.2. Запись моделей в требуемый формат файла

Для подготовки к печати полученная трехмерная модель должна быть представлена в надлежащем формате, например \*.stl или \*.obj. В stl-формате вся информация об объекте хранится как список треугольных граней и их нормалей. Формат \*.obj также содержит только трехмерную геометрию объекта: координаты вершин, нормали вершин, параметры полигонов.

Для большинства программ 3d-моделирования (например, Autodesk 3Ds-Max) достаточно просто сохранить файл в требуемом формате. Однако если модель была создана в некоторых узкоспециальных программах, может потребоваться дополнительная последовательность действий. Например, для представления в формате \*.obj фракталов, постро-

енных в пакетах фрактальной графики (MandelBulb3D, MandelBulber и т.п.), необходимо выполнить следующие шаги:

1. Создать трехмерный фрактал в пакете фрактальной графики.

2. Экспортировать куб вокселей (объемные аналоги пикселей, элементы объемного изображения) в формат \*.png, указав разрешение куба (количество разрезов).

3. Обработка в программе Fiji для сохранения в формате \*.obj.

4. Для разрисовки или доработки модели можно использовать программу ZBrush.

## 2.3. Создание G-кода

На данном этапе трехмерная модель объекта (в формате \*.stl, \*.obj или некоторых других) нарезается на слои (каждый слой состоит из периметра и заливки, процент заполнения заливкой может варьироваться, возможно, отсутствие заливки – пустотелая модель) и представляется в виде совокупности команд, передаваемых непосредственно принтеру (G-код). Это своеобразный язык программирования для устройств с числовым программным обеспечением. Каждая команда представляет собой последовательность буквы и числа. Команды объединяются в кадры (разделителем кадров является переход на новую строку).

Основные команды обозначаются буквой G (этим обусловлено название кода), они разделяются на несколько групп: позиционирование инструмента, переключение рабочих плоскостей, изменение систем координат и др. К числу команд данной группы относятся: ускоренное перемещение инструмента без выдавливания пластика (холостой ход), линейная и круговая интерполяция с выдавливанием пластика, выбор рабочей плоскости, выбор единиц измерения, поворот координат, компенсация радиуса/длины, задержка выполнения программы. Вспомогательные (технологические) команды обозначаются буквой M. К ним относятся: оформление подпрограмм, нагрев и охлаждение экструдера, управление температурой стола, включение/выключение вентилятора обдува детали, замена инструмента (экструдера), считывание параметров, экстренная остановка, включение/выключение питания, управление током на двигателях, работа с SD-картой (открытие, запись и удаление файлов, печать).

Команды могут иметь параметры, обозначения которых также содержат букву

(символ параметра) и число (конкретное значение параметра). Используются следующие параметры команд: X, Y, Z – координаты для позиционирования в пространстве, E – количество пластика, H – номер нагревателя, F – скорость движения печатающей головки, R – радиус дуги, D – диаметр нити, S – температура, напряжение, время (в зависимости от основной команды, имеющей данный параметр).

Для создания G-кода по заданной модели в нужном формате используются специальные программы-слайсеры (от англ. slice – "кусочек, часть"). Различные принтеры поставляются со своим программным обеспечением, но обычно совместимы и с другими слайсерами. Большинство из них распространяются бесплатно. Примерами распространенных слайсеров являются Cura, Slic3r, Repetier, Blender, CraftWare, MeshLab, SketchUp. Создание модели может осуществляться в интерактивном или в командном режиме, либо может использоваться их комбинация. Например, в AutoDesk 3Ds Max встроенным языком является MaxScript, в AutoCad используется язык AutoLisp, можно также использовать более распространенные языки программирования: VBA, Visual C++, Delphi и др.

#### 2.4. Печать

Для подготовки 3D-принтера (работающего по технологии FDM) необходимо наклеить на рабочую платформу самоклеющуюся пленку (можно использовать специальную защитную пленку), в специальный отсек загрузить бобину с полимерными нитями нужных цветов. Бобина устанавливается на подставку, конец нити подрезается, направляется в отверстие для подачи и продвигается вперед, пока не достигнет экструдера. Когда из экструдера появится мягкая нить расплавленного пластика, можно приступить к печати.

Процесс печати осуществляется следующим образом. Печатающая головка выдавливает на рабочую платформу расплавленную полимерную нить. Вначале печатается первый слой пластика, затем платформа опускается вниз на толщину слоя и начинается печать нового слоя. Каждый новый слой накладывается поверх предыдущего. Описанная процедура повторяется вплоть до готовности изделия.

#### 2.5. Окончательная обработка изделия

Если печатаемый объект имеет нависающие элементы, выступы, то для его печати используются поддерживающие конструкции.

Обычно они печатаются из дополнительных восковых материалов. В процессе окончательной обработки изделия эти конструкции удаляются.

Для некоторых напечатанных объектов с целью придания гладкости и избавления от линий в местах наложения слоев используют механическую или химическую постобработку, ее вид зависит от геометрии и материала детали. В большинстве случаев используется ошкуживание – вручную или на шлифовальном станке. Менее распространенными методами являются пескоструйная и паровая обработка.

### 3. Основные возможности пакетов 3D-моделирования

В настоящее время существует большое количество пакетов 3D-моделирования. К числу наиболее популярных относятся Autodesk 3ds Max, CAD – программы, Maya, ZBrush, Rhino, Blender. Некоторые пакеты в большей степени ориентированы на создание моделей определенного класса объектов, другие носят универсальный характер.

Программа Autodesk 3ds max широко используется архитекторами, дизайнерами и инженерами. Она обладает огромным множеством функциональных возможностей, включая взаимозависимые системы координат, адаптируемые меню и кнопки, средства навигации (видовой куб и штурвал). Функциональные возможности программы позволяют: создавать сложные объекты и преобразовывать их в базовые элементы геометрии, использовать более 100 инструментов проектирования произвольных форм, накладывать текстуры, использовать модификаторы для создания изгибов, искосов, поперечных сечений, для раскрашивания вершин, создавать всевозможные реалистичные визуальные эффекты (объемного света, тумана, огня), моделировать материалы различных типов, моделировать источники света и рассчитывать освещенность, использовать различные виды анимации и т.д.

Программа имеет полнофункциональную бесплатную студенческую версию.

Достаточно подробное описание возможностей пакетов 3ds Max, AutoCad, Mudbox, Navisworks, Showcase, Sketchbook Pro приведено на сайте [6].

Сравнительная характеристика возможностей различных пакетов моделирования приведена в работе [7]. Отмечено, что во всех

сопоставляемых пакетах имеются: документация и DVD-обучение, поддержка всех популярных форматов импорта и экспорта файлов, в частности \*.stl, инструменты анимации и моделирования, модификаторы, имеется возможность моделирования твердотельных и мягкотельных объектов, частиц, одежды, волос; есть поддержка скриптов. В табл. 2 отмечены некоторые позиции, по которым возможности пакетов трехмерного моделирования различаются.

Таблица 2. Сопоставление возможностей пакетов трехмерного моделирования

Пакет трехмерной графики	3Ds Max 2014	Maya 2014	Blender 3D 2.70
Инструменты рисования	-	+	-
NURBS*	-	+	-
Наложение изображений	-	-	+
Моделирование жидкостей	-	+	+

\*NURBS – неоднородный рациональный В-сплайн, математическая форма для создания и визуализации кривых и поверхностей.

#### 4. Описание возможностей некоторых слайсеров для 3D-печати

В настоящее время существует большое количество разнообразных программ-слайсеров, предназначенных для подготовки трехмерной модели к печати (нарезка по слоям, создание G-кода), например, Cura, 3DPrinterOS, Astroprint, CraftWare, KISSlicer, IceSL, MatterControl, MakerBot Print, OctoPrint, Netfabb Standard, Repetier, Slic3r, SliceCrafter, Tinkerine Suite, Z-Suite. Многие из них имеют бесплатные версии и могут использоваться как новичками, так и профессиональными пользователями. В последующих разделах приведены описания наиболее распространенных программ-слайсеров: Cura и Slic3r.

##### 4.1. Cura

Программа Cura [8], разработана на основе слайсера Repetier-Host, предназначена в первую очередь для работы с принтерами Ultimaker, PrintBot, Lulzbot, однако ее можно успешно использовать для многих других моделей принтеров.

В программе имеется режим быстрой печати с параметрами по умолчанию. Доступно 3 параметра качества печати: High (автоматическая настройка, высокая детализация, но

продолжительное время прототипирования), Normal (оптимальный баланс качества и скорости печати) и Fast (для черновых моделей). В программе Cura имеется большое число настроек: качества печати, скорости печати, материала, заполнения, подпорок, соединения с платформой. Изменяемые параметры программы содержатся на двух основных вкладках: Basic (основные) и Advanced (для опытных пользователей). Трехмерная печать осуществляется в пространственной декартовой системе координат.

На вкладке основных параметров (Basic) можно задавать: высоту каждого наносимого слоя в мм (в большинстве случаев достаточно значений в диапазоне 0,04–0,06 мм), толщину стенок (достаточно 0,06 мм), толщину основания и крышки изделия, плотность заполнения в процентах (для поллой модели – 0 %, для цельной – 100 %), скорость (обычно достаточно 50–100 мм/с), качество, материалы и температуру печати.

Для сложных моделей необходимо использовать структуры поддержки. В программе имеется возможность отказаться от структур поддержки либо использовать их только для выступающих элементов или для всего объекта; выбрать тип поддержки с учетом адгезии к рабочему столу.

На вкладке Advanced можно изменять диаметр сопла экструдера (только для отдельных моделей принтеров), высоту первого печатного слоя, от которой зависит статичность модели, ширину экструзии первого слоя, скорость движения экструдера вне области печати, скорость печати основания объекта, внешней и внутренней оболочек, скорость заливки изделия пластиком и другие параметры печати.

При загрузке модели в формате \*.stl или \*.obj в Cura программа выполняет тестирование возможности печати данного объекта. При наличии проблемных участков в модели изменяется цвет подсветки.

Перед печатью необходимо проверить, помещается ли объект на рабочем столе (платформе печати). В программе предусмотрены различные режимы навигации: перемещение рабочего стола, вращение вокруг рабочего стола, изменение размеров рабочего стола.

Имеется три основных режима просмотра модели: сплошной (Solid), рентгеновский (X-Ray), послойный (Layers). Сплошной режим показывает, каким образом модель будет

выглядеть в итоге с учетом размеров и формы модели и рабочего стола. Рентгеновский режим используется, когда необходимо увидеть внутреннюю структуру объекта (например, при наличии пересекающихся ребер). Послойный режим используется для обнаружения ошибок, для изменения G-кода на отдельных слоях.

В программе имеется возможность создания нескольких копий печатаемого объекта, которые автоматически распределяются по рабочему столу.

После окончания настроек модель либо экспортируется на SD-карту, либо передается непосредственно на принтер, при этом автоматически формируется G-код и определяется примерное время печати и количество используемого материала.

#### 4.2. Slic3r

Программа Slic3r обладает большим количеством настроек [9], которые распределены на 3 группы: настройки печати, настройки пластиковой нити, настройки принтера. Настройки печати включают пункты: "Слои и обводки", "Заполнение", "Окантовки", "Поддерживающий материал", "Скорость", "Для работы с несколькими экструдерами", "Для опытных пользователей".

В пункте "Слои и обводки" имеется возможность установить высоту слоя (не более  $\frac{3}{4}$  от толщины сопла), высоту первого слоя, количество слоев контура (стенки) модели, количество слоев с верхней и нижней закрывающих плоскостей модели. Можно выбрать опции: запрета на пересечение слоев, печати внешних слоев в первую очередь, печати без заливки и поддержек (для пустотелых и тонкостенных моделей). На вкладке "Заполнение" устанавливается процент заполнения модели сеткой, тип заливки (в том числе, отдельно для верхних и нижних слоев), определяются слои, для которых выполняется заливка. Можно изменять угол печати сетки заполнения по сравнению с вертикальной осью.

Параметры скорости печати устанавливаются отдельно для внутреннего и наружного слоя контура, для заполнения, для горизонтальных плоскостей, для поддерживающих материалов. Устанавливается скорость перемещения печатающей головки с одного слоя на другой (без печати), скорость печати первого слоя.

К параметрам окантовки относятся: расстояние от объекта, количество слоев окан-

товки, ширина, минимальное количество материала.

Настройки для опытных пользователей (Advanced) включают количество выдавливаемого пластика для различных участков модели: для первого слоя, для внешних слоев, для заполнения и т.д.

В группе настроек пластиковой нити определяются диаметр нити в мм, температура экструдера для первого и последующих слоев, температура стола для различных слоев, параметры и опции для управления вентилятора, а также параметры замедления печати.

В группе "Параметры принтера" содержатся настройки, которые задаются один раз и не зависят от печатаемой модели. К ним относятся: размер и центральная точка платформы, тип принтера, количество экструдеров, смещение экструдеров (если их несколько), длина пластиковой нити при ретракции (т.е. при движении в сторону, обратную стороне подачи), скорость ретракции, приподнимание сопла при переходе на новый слой.

#### Заключение

На основе анализа литературы по аппаратной части и программному обеспечению 3D-принтеров можно сделать следующие выводы.

1. В настоящее время 3D-моделирование и 3D-печать получают все более широкое распространение как в быту, так и в различных областях науки; с использованием 3D-принтеров связаны некоторые удивительные передовые достижения (например, биопечать [10]).

2. Подготовка к печати трехмерного объекта состоит из трех этапов: 3D-моделирование, сохранение графического файла в подходящем формате, слайсинг. Альтернативой 3D-моделированию может являться использование готовой модели или 3D-сканирование реального объекта.

3. Существует множество программ-слайсеров, близких по основным функциональным возможностям, большинство 3D-принтеров могут работать с различным программным обеспечением. Программы 3D-моделирования обладают широким диапазоном возможностей и бывают универсальными либо ориентированными на определенные классы трехмерных объектов. Использование

скриптов существенно расширяют возможности 3D-моделирования.

### Список литературы

1. URL: [www.orgprint.com/wiki/3d-pechat/sfery-primeneniya-3D-pechat/](http://www.orgprint.com/wiki/3d-pechat/sfery-primeneniya-3D-pechat/) (дата обращения: 19.04.2018).
2. URL: <https://make-3d.ru/articles/chto-mozhet-byt-napечатano-na-3d-printere> (дата обращения: 23.04.2018).
3. URL: [https://www.ixbt.com/printer/3d/3d\\_tech.shtml](https://www.ixbt.com/printer/3d/3d_tech.shtml) (дата обращения: 16.04.2018).
4. URL: <http://3dtoday.ru/blogs/daymon/what-are-the-characteristics-of-a-3d-printer> (дата обращения: 20.04.2018).
5. URL: <http://www.interface.ru/home.asp?artId=32469> (дата обращения: 26.04.2018).
6. URL: <http://www.interface.ru/autodesk/max-vozm.html> (дата обращения: 23.04.2018).
7. URL: <https://sibac.info/studconf/tech/xx/38225>.
8. URL: <https://3dpt.ru/blogs/support/cura> (дата обращения: 26.04.2018).
9. URL: <http://www.zenit3d.ru/userfiles/Support%20Files/instrukciya-po-slajseru-slic.pdf> (дата обращения: 25.04.2018).
10. URL: <https://make-3d.ru/articles/biopechat-organov-na-3d-printere/> (дата обращения: 26.04.2018).

## Overview of hardware, software, capabilities and stages of three-dimensional printing

**V. Yu. Mitin**

Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia  
victormitin@ya.ru; 8(342) 229-15-35

The article describes basic capabilities and spheres of use for 3D-printing and compares different models of 3D-printers, discusses general stages of preparing models for printing and software for 3D-printing and modelling.

**Keywords:** *3D-printing; 3D-modelling; 3D-printers; slicing.*