

49. Kas'yanov A.O., Obukhovets V.A. Sumatokhin K.V. Upravlyaemye tvist-reflektory na osnove rekonfiguriruemyykh mikropoloskovyykh reshetok [Controlled twist reflectors based on reconfigurable microstrip arrays], *Antenny* [Antennas], 2013, Issue 10 (197), pp. 29-36.
50. Kas'yanov A.O., Sumatokhin K.V., Il'in I.V. Rekonfiguriruemyy mikrovolnovyy modul' tsifrovogo upravlyaemogo radioelektronnogo pokrytiya s prostranstvenno-vremennoy adresatsiey na osnove mikropoloskovoy otrazhatel'noy antennoy reshetki [Reconfigurable microwave module of a digital controlled radioelectronic coating with spatio-temporal addressing based on a microstrip reflective antenna array], *Uspekhi sovremennoy radioelektroniki* [Successes of modern radio electronics], 2013, No. 8, pp. 101-109.
51. Kas'yanov A.O. Chislennoe issledovanie metallodielektricheskikh chastotno-izbiratel'nykh reshetok s pechatnymi i aperturnymi elementami [Numerical study of metal-dielectric frequency-selective gratings with printed and aperture elements], *Elektromagnitnye volny i elektronnyye sistemy* [Electromagnetic waves and electronic systems], 2010, Vol. 15, No. 5, pp. 47-55.
52. Obukhovets V.A., Kas'yanov A.O. Potentsial'nye vozmozhnosti i oblasti primeneniya poloskovyykh reshetok [Potential possibilities and applications of strip arrays], *Antenny* [Antennas], 2011, No. 6 (169), pp. 3-15.
53. Kasyanov A.O. The polarizing properties of periodic printed reflectarrays from the elements of the complicated shape, *Proceedings ESA WPP-185 24-th ESTEC Antenna Workshop on Innovative Periodic Antennas: Photonic Bandgap, Fractal and Frequency Selective Structures, 30 May - 1 June 2001, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands*.
54. Chulkov V.I. Matematicheskoe modelirovanie mnogosloynnykh polyarizatorov na meandrovyykh liniyakh [Mathematical modeling of multilayer polarizers on meander lines], *Radiotekhnika* [Radio Engineering], 1994, No. 9, pp. 71-75.
55. Kas'yanov A.O., Obukhovets V.A. Raschet i eksperimental'noe issledovanie mnogofunktsional'nogo obtekatel'ya sudovoy anteny [Calculation and experimental study of a multifunctional fairing of a ship antenna], *Nauchno-tekhnicheskyy zhurnal NTORES im. A.S. Popova «Radiotekhnika»* [Scientific and technical journal of the A.S. Popov NTORES "Radio Engineering"], 2004, No. 4, pp. 51-56.
56. Kas'yanov A.O., Obukhovets V.A. Razrabotka mikropoloskovyykh otrazhatel'nykh antennoykh reshetok dlya fokusirovki i polyarizatsionnoy fil'tratsii na SVCh [Development of microstrip reflective antenna arrays for focusing and polarization filtering on microwave], *Uspekhi sovremennoy radioelektroniki* [Successes of modern radio electronics], 2006, No. 4, pp. 27-33.
57. Obukhovets V.A., Kas'yanov A.O., Zagorovskiy V.I. Elektrodinamicheskyy analiz mnogosloynnykh mikropoloskovyykh otrazhatel'nykh antennoykh reshetok [Electrodynamic analysis of multilayer microstrip reflective antenna arrays], *Antenny* [Antennas], 2002, Issue 4 (59), pp. 4-11.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Д.Д. Габриэлян.

Касьянов Александр Олегович – Южный федеральный университет; e-mail: kasyanovao@sfedu.ru; г. Ростов-на-Дону, Россия; кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; д.т.н.; профессор.

Kasyanov Alexander Olegovich – Southern Federal University; e-mail: kasyanovao@sfedu.ru; Rostov-on-Don, Russia; the department of radio engineering and telecommunication systems; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 658.512.2.011.5

DOI 10.18522/2311-3103-2022-3-60-74

В.В. Лисяк

ОБЗОР СЛАЙСЕРОВ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

Представлен обзор программного обеспечения (ПО) для подготовки трёхмерных моделей (3D-моделей) объектов различного назначения к передаче на 3D-принтер для печати. Отмечается, что в последнее время 3D-печать является неотъемлемой частью аддитивного производственного процесса. Указывается, что для выполнения процесса 3D-печати, созданные или загруженные 3D-модели, хранящиеся в STL-файлах, должны быть транслированы в язык управления принтером. Такой язык называется G-кодом, а программы, позволяющие его получить, называются слайсерами. Отмечается, что основной функцией

слайсера является нарезка модели объекта на отдельные слои. В статье рассматривается обзор программ-слайсеров различных производителей. Для каждого слайсера приводятся характеристики, отражающие его функциональную наполненность, ориентацию на определённую категорию пользователей, ценовую доступность, поддержку другого ПО и другие характеристики. Отмечается, что известны два вида слайсеров – универсальные и специализированные. Специализированные слайсеры ориентированы, обычно, на одну технологию или на одну модельную линейку принтеров, а универсальные слайсеры ориентированы на широкую номенклатуру принтеров. Указывается, что в последние годы производители стали создавать ПО, которое совмещает процессы разработки модели и его трансляцию в G-код. Отмечается, что процесс 3D-печати требует предварительного задания многих настроек параметров, участвующих в процессе печати программно-аппаратных средств. Приведённый обзор показывает, что практически все слайсеры, кроме ядра программы, реализующего расчёты геометрических форм и конвертацию модели в G-код, имеют шесть стандартных блоков настроек: для слайсера, модели, принтера, материала, дополнительных сервисов и нарезки. Приводятся параметры настройки для каждого из блоков настройки. Рассмотренные в статье программы-слайсеры отобраны с учётом ориентации на разные группы пользователей, их современной функциональной наполненности, популярности и доступности на российском рынке.

3D-моделирование; 3D-графика; STL-файлы; экструдер; профиль печати; G-код; 3D-принтер; прототипирование; слайсер.

V.V. Lisyak

OVERVIEW OF 3D PRINTING SLICERS

The article presents an overview of software for preparing three-dimensional models (3D models) of objects for various purposes for transfer to a 3D printer for printing. It is noted that recently 3D printing is an integral part of the additive manufacturing process. Specifies that in order to perform the 3D printing process, created or downloaded 3D models stored in STL files must be translated into the printer control language. Such a language is called G-code, and the programs that make it possible are called slicers. It is noted that the main function of the slicer is cutting the object model into separate layers. The article discusses an overview of slicer programs from various manufacturers. For each slicer, characteristics are given that reflect its functional content, focus on a certain category of users, affordability, support for other software, and other characteristics. It is noted that two types of slicers are known - universal and specialized. Specialized slicers are usually focused on one technology or one model line of printers, while universal slicers are focused on a wide range of printers. It is indicated that in recent years, manufacturers have begun to create software that combines the processes of model development and its translation into G-code. It is noted that the 3D printing process requires the preliminary setting of many parameter settings involved in the process of printing software and hardware. The above review shows that almost all slicers, except for the core of the program that calculates geometric shapes and converts the model to G-code, have six standard settings blocks: for slicer, model, printer, material, additional services and cutting. The tuning parameters for each of the tuning blocks are given. The slicer programs considered in the article are selected taking into account the orientation towards different user groups, their modern functional content, popularity and availability on the Russian market.

3D modeling; 3D graphics; STL files; extruder; print profile; G-code; 3D printer; prototyping; slicer.

Введение. При подготовке материала статьи авторы пользовались источниками информации [1–20].

Слайсер (англ. Slice – срез) – компьютерная программа, которая преобразует виртуальную 3D-модель объекта в машинный код (G-код) для управления печатью, в частности, 3D-принтером.

При формировании объекта (детали) применяется послойная или поверхностная технология. С учётом этого G-код должен содержать информацию о способах создания слоёв, которая, как правило, включает данные о векторных линиях, растровых плашек, путей перемещения и другие управляющие данные.

Любую поверхность можно представить множеством многоугольников без их пересечений и, так называемых, «дыр». Применительно к 3D-печати это эквивалентно утверждению, что любую модель можно напечатать, представив её множеством слоёв.

Далее будет рассмотрено несколько известных слайсеров, с помощью которых выполняется печать объектов, используя наиболее распространённую в настоящее время технологию печати методом послойного наплавления (англ. fused deposition modeling, FDM).

Известны два вида слайсеров – универсальные и специализированные. Специализированные слайсеры ориентированы, обычно, на одну технологию или одну модельную линейку принтеров. Соответственно для универсальных слайсеров характерна ориентация на применение широкой номенклатуры совместимых устройств. Одни производители выбирают универсальные слайсеры и дополняют их профилями своего оборудования. Другие – предпочитают специализированное ПО под своё оборудование. Если производитель продаёт принтер вместе со слайсером – значит, что он содержит необходимые профили и настройки.

Для пользователей нового 3D-оборудования лучше не торопиться использовать сторонние слайсеры, несмотря на их популярность. Это объясняется несколькими причинами.

Придётся для корректной работы принтера с программой прописать ряд специфических параметров, что не совсем просто.

Приобретённые вместе со слайсером «плюсы» могут оказаться ненужными для ваших задач.

Принципы работы и результаты работы слайсеров у всех программ нарезки во многом похожи.

Поэтому эффективней сначала научиться уверенно пользоваться штатным слайсером, после чего начинать тестировать сторонние программы.

Для пользователя важной характеристикой слайсера является его ценовая доступность, что делит слайсеры на платные и бесплатные. В настоящее время в FDM технологии универсальной платной программой возможно осталась только Simplify3D.

Обзор программ-слайсеров. Процесс 3D-печати требует предварительного задания многих настроек параметров, участвующих в процессе печати программно-аппаратных средств. Поэтому практически все разработчики предпринимают попытки наиболее удобным и понятным образом для пользователей их структурировать и выстроить взаимосвязи между основными блоками настроек, которые связаны с 3D-принтером, моделью объекта, используемого при печати материала, экструдерами, профилями печати и с дополнительными опциями. При этом разные разработчики в процессе структурирования настроек видят разные отправные точки.

Вместе с тем практически все слайсеры, кроме ядра программы, реализующего расчёты геометрических форм и конвертацию модели в G-код, имеют шесть стандартных блоков настроек.

1. Блок настройки слайсера. Настройка параметров слайсера – процедура творческого характера разработчика, дизайнера и специалиста по графическим интерфейсам. Однако, как правило, в интерфейсе программы при должном терпении можно всегда найти:

- ◆ выбор языка программы;
- ◆ выбор необходимых и достаточных настроек;
- ◆ выбор цветовой гаммы оформления;
- ◆ выбор предпочтительных действий
- ◆ и другие параметры настройки.

Перечисленные настройки на качество печати практически не оказывают влияние, но способствуют пользователю правильно указывать единицы измерения, отображение модели, скорости соединения портов и другие полезные опции.

2. Блок настройки принтера. Такие настройки параметров относятся не только к «железу» принтера, но и к его электронике.

Штатные версии слайсеров позволяют выбрать только модель принтера, а универсальные версии – указать язык G-code, который понимает принтер, настроить скорости перемещения, jerk-эффектов, откатов нити, что позволяет более точно рассчитывать время печати.

При настройке механики принтера необходимо будет указать тип механической системы перемещения, размеры зоны печати, отступы от краёв, количество экструдеров, диаметр сопла, максимальную температуру наконечника.

3. Блок настройки материала. Настраивается диаметр используемой нити, температура, при которой нить плавится, плотность материала, производитель и цена материала и некоторые другие настройки.

4. Блок настройки модели. В этом блоке указываются инструменты масштабирования и позиционирования модели в рабочей зоне, а также её «ремонта» и модификации.

5. Блок настройки нарезки регламентирует и основные инструменты и параметры при создании детали из модели, а также дополнительные инструменты (поддержки, стены, башни, плиты и сервисные операции).

6. Блок настройки дополнительных сервисов предназначен для настройки последовательности команд (скрипты, макросы).

Таким образом, для понимания основных особенностей программного обеспечения всех слайсеров, в том числе рассмотренных в предлагаемом обзоре, указано, что кроме ядра программы, реализующего расчёты геометрических форм и конвертацию модели в G-код, имеется шесть стандартных блоков настроек. Фактически от того какой функционал заложен в каждый из перечисленных блоков во многом зависит ориентация программы на ту или иную категорию пользователей, её доступность и популярность.

Перейдём непосредственно к обзору программ-слайсеров, среди которых отсутствуют программные продукты России, так как являются предметом отдельной публикации.

ASTROPRINT.

Производитель: 3DAGoGo Inc., США, Сан-Диего,

Сайт: astroprint.com/

Приложение AstroPrint – облачная платформа 3D-печати, разработанное частной компанией из Сан-Диего (США), которая создаёт ПО для управления 3D-принтерами с любого веб-устройства без каких-либо технических знаний.

При использовании программы Astroprint передача G-кода в 3D-принтер выполняется специальной программой – Astrobox, которая может контролировать принтер с любого устройства, подключенного к сети Интернет.

При отсутствии у пользователя своей 3D-модели или отсутствует необходимость её создания, то он может загрузить модель из какого либо сервиса, например из Yeggi или из репозитория CGTrader и Thingiverse. При разработке собственной трёхмерной модели можно воспользоваться средствами моделирования 3DSlash и Leopoly. При этом распечатать свои файлы можно с помощью i.materialise, где компания Shanghai DM 3D Technology Co., Ltd предоставляет свои услуги по 3d-печати. Компания имеет десятки промышленных 3D-принтеров SLA, сотни настольных 3D-принтеров FDM и несколько металлических 3D-принтеров с возможностью выполнения печати разнообразными пластиками, смолами и металлическими сплавами.

ПО приложения достаточно простое. В наиболее лёгком варианте пользователь может задать только материал и требуемое качество печати, а для сложных случаев в приложении имеется ряд инструментов для более профессиональных действий пользователя.

Положительным моментом приложения является возможность его интеграции с другими сервисами, упрощающими пользователю 3D-моделирование и печать.

Среди недостатков можно отметить, что наряду с удобной нарезкой на слои, пользователи отмечают недостаточность контроля процесса печати, предоставляемого другими слайсерами. Вместе с тем AstroPrint хорошее приложение для начинающих пользователей.

Программа бесплатная/платная с поддержкой Raspberry Pi, pcDuino, браузер.

CRAFTWARE.

*Производитель: Craftware Sp., Польша, Warszawa,
Сайт: craftware.com/*

Craftware Sp. – предприятие, с центральным офисом в Варшаве. Работает в сфере проектирования компьютерных систем и услуг. Основано в 2009 г.

Слайсер CraftWare является бесплатной программой, конкурирующей с функционально похожими слайсерами со стоимостью 120–150 долларов. Программа имеет дружелюбный интерфейс, обеспечивающий возможность полного контроля настроек 3D-печати и совместимость практически с любыми 3D-принтерами, работающими по технологиям FDM и FFF.

Функциональная наполненность CraftWare позволяет реализовать:

- ◆ интерактивное управление печатью, сокращающее время печати;
- ◆ контролировать слои под произвольными углами обзора;
- ◆ оптимизацию траектории движения рабочего механизма принтера;
- ◆ редактирование 3D-модели (повороты, масштаб, копирование и другие).

Положительными моментами слайсера являются:

- ◆ продуманный, удобный интерфейс, который, как отмечают пользователи, вполне конкурентно способный с платными программами типа Simplify3D;
- ◆ популярность программы у пользователей, желающих иметь слайсер, аналогичный Simplify3D, но бесплатно.

Недостаток слайсера связан с невысоким качеством печати в сравнении с программами Cura и Simplify3D.

Программа бесплатная с поддержкой Windows, Mac, Linux.

CURA.

*Производитель: Ultimaker, Нидерланды
Сайт: ultimaker.com/software/ultimaker-cura*

Ultimaker – компания по производству 3D-принтеров, ПО и фирменные материалы для 3D-печати. Базируется в Нидерландах с офисами в США.

Программа Cura разработана фирмой Ultimaker, которая имеет свои корни в Open Source. Поэтому ПО для 3D-принтеров получилось, как бесплатный слайсер, который и в настоящее время остаётся бесплатным. В последние годы компания дополнила профили для 3D-принтеров, производимые другими компаниями.

Слайсер Cura предоставляет пользователям следующие возможности:

- ◆ поддержка нескольких основных форматов (STL, 3MF и OBJ);
- ◆ визуализация движения рабочего блока и отражение времени печати.
- ◆ поставка обновлений для программы;
- ◆ предоставление пользователям возможности разработки своих программных модулей (плагинов) для включения их в основную программу

Плагины, обычно, создаются для расширения функциональных возможностей программы и реализуются как библиотеки общего пользования.

Положительными моментами программы являются:

- ◆ ориентация как на новичков, так и на экспертов, при этом новичков доступны только самые важные настройки;
- ◆ многочисленный (около 200) инструментарий настроек;
- ◆ доступность использования в печати нескольких материалов;
- ◆ относительно быстрая обработка слайсером объёмных файлов STL;
- ◆ хорошие (правда не отличные) результаты.

В качестве минуса отмечается относительно большой (10–20)% разброс в оценке времени печати.

Программа бесплатная с поддержкой Windows, Mac, Linux.

ICESL.

Производитель: Нанси, Франция

Сайт: <https://icesl.loria.fr>

IceSL – современная, бесплатная программа с расширенными возможностями, включающая несколько модулей и позволяющая выполнять моделирование как OpenSCAD в Lua, т. е. IceSL является многофункциональной программой. При этом вместе с клиентскими версиями для настольных компьютеров допускается использование некоторых функций онлайн.

Среди особенностей IceSL можно выделить:

- ◆ возможность редактирования полигональных сеток в Lua-коде;
- ◆ просмотр изменений модели в режиме реального времени;
- ◆ возможность предотвращать потёки во время печати;
- ◆ возможность отображения G-кода для каждого слоя.

Для пользователей программы интересной особенностью является доступность изменения настроек для каждого слоя, что позволяет реализовать адаптивный режим нарезки, когда настройки слоя формируются на основе печатаемого объекта. Некоторые слайсеры других производителей тоже допускают возможность послойных настроек, но при этом требуют дополнительных действий в программе CAD, что например реализовано в слайсере Slic3r.

Слайсер рассчитан на продвинутых пользователей, которые отмечают его высокий уровень контроля.

К недостатку программы относится её недоступность для macOS.

Программа бесплатная с поддержкой Windows, Mac, Linux.

IDEAMAKER.

Производитель: Raise3D, Китай, Шанхай с офисом в США и Европе

Сайт: raise3d.ru/news/raise3d-vypustili-novuyu-versiyu-ideamaker-4-0/

Компания Raise3D основана в 2012 г. в Шанхае. Сегодня имеет офисы в США и Европе, производит 3D-принтеры и является разработчиком слайсера ideaMaker. Слайсер разработан под 3D-принтеры Raise3D и является бесплатным. Программа позволяет быстро создать файлы для печати и позволяет работать с продвинутыми функциями настройки. Имеются такие полезные для пользователя функции, как лечение, совмещение, разрезание моделей и их поддержка добавлением (удалением) столбиков.

Слайсер имеет 64-битный движок, что существенно ускоряет расчёт сложных моделей. Кроме этого, программа допускает разделение моделей на группы, что является интересной особенностью слайсера.

Программа поддерживает большинство FDM и FFF-принтеров и фактически является платформой, позволяющей отслеживать несколько профилей печати и удалённо управлять заданием. Сегодня существует облачная версия RaiseCloud, позволяющая управлять и контролировать печать одновременно нескольких принтеров Raise3D.

Положительной стороной слайсера является простота его эксплуатации, что привлекает начинающих пользователей. Однако популярность слайсера не так высока, как у других подобных программ, поэтому он имеет небольшое сообщество пользователей.

Программа бесплатная с поддержкой Windows, Mac, Linux.

KISSLICER.

Производитель: Raise3D, Kumaï

Сайт: 3d-m.ru/programmnoe-obespechenie-kisslicer-pro/

KISSlicer можно прочесть как Keep It Simple Slicer (Будь проще), что, вероятно, и определяет название слайсера. Выпущены платная и бесплатная версии программы. Бесплатная версия отличается возможностью печати только с одним экструдером и невозможностью регулировать параметры из командной строки, но для новичка в ней достаточно функций. В профессиональной версии используются расширенные настройки, допускается использование нескольких экструдеров и возможность объединения нескольких файлов STL в одну печать. Среди особенностей программы можно выделить следующие:

- ◆ высокая скорость нарезки;
- ◆ возможность управления скоростью принтера;
- ◆ наличие интеллектуального контроля температуры;
- ◆ возможность использования адаптивной поддержки;
- ◆ удобный интерфейс и повышенное качество печати.

Преимуществом программы KISSlicer является её мультиплатформенность, обеспечивающая работу с WIN, Linux, MACOS, что придаёт ей универсальность и возможность применения почти для всех моделей 3D-принтеров.

Недостатком программы является ручная адаптация слайсера, если потребуется G-код для принтера, которого нет в списке программы..

Программа бесплатная с поддержкой Windows, Mac, Linux, Raspberry Pi

MAKERBOT PRINT.

Производитель: MakerBot – подразделение Stratasys Ltd., Израиль, Реховот

Сайт: makerbot.com/3d-printers/apps/makerbot-print/

Компания Stratasys, Ltd. представляет американо-израильского производителя 3D-принтеров и систем цифрового производства. Компания зарегистрирована в Израиле, её подразделение MakerBot разрабатывает ПО по профилю компании.

Программа MakerBot Print разработана для линейки 3D-принтеров MakerBot. Отличительной особенностью программы является используемый в ней алгоритм, позволяющий выполнять автоматическую настройку параметров для конкретного режима печати и типа экструдера. Кроме этого, функциональная наполненность слайсера предоставляет:

- ◆ возможность расстановки сеток в автоматическом режиме;
- ◆ обеспечение доступа и распечатки объектов Thingiverse;
- ◆ возможность контролировать 3D-принтер посредством веб-камеры.

Программа ориентирована на начинающих и продвинутых пользователей.

Положительным моментом программы является обеспечение максимального качества печати на принтере MakerBot и простота её использования.

Недостаток программы связан с использованием принтера другого производителя, когда необходимо изучить новое ПО.

Программа бесплатная с поддержкой Windows, Mac, Linux.

MATTERCONTROL.

Производитель: MatterHackers, Inc., США, Калифорния
Сайт: matterhackers.com/store/l/mattercontrol/sk/MKZGTDW6

MatterControl – современная, бесплатная программа с расширенными возможностями, включающая несколько модулей и позволяющая выполнять моделирование. MatterControl является многофункциональной программой, позволяющей выполнить весь процесс 3D-печати от нуля до готовой печатной модели, не выходя из программы. Исходная разработка программы велась как ПО для хост-принтера. Как правило, программа функционирует в паре с принтером, но есть возможность сохранить файл G-кода на SD-карте.

Интерфейс программы, несмотря на внесение многочисленных изменений, имеет для пользователя удобную структуру. На экране панель примитивов с развитым набором инструментов, которые упрощают процесс моделирования.

Можно использовать стандартный или расширенный режим работы с программой. Стандартный режим позволяет настраивать толщину слоя и сохранять её для последующей печати. Расширенный режим позволяет настроить автоматическое восстановление сетки, использование нескольких экструдеров и возможность просмотра каждого слоя в процессе печати.

Программа ориентирована на новичков и опытных пользователей.

Положительной особенностью программы является облачное хранение проектов. Программа бесплатная с поддержкой Windows, Mac, Linux.

PRUSASLICER.

Производитель: Prusa Research, Чехия, Прага
Сайт: 3deshnik.ru/blogs/dark184/prusaslicer-nachalo

Компания Prusa Research была основана в 2012 году как стартап из одного человека Йозефом Прусой. Сегодня компания разрабатывает собственное оборудование и программное обеспечение.

До 2019 г. программа PrusaSlicer называлась Slic3r Prusa Edition, после чего компания внесла много расширенных функций и настроек. После этого слайсер PrusaSlicer завоевал своё место среди лидеров по производству программ для 3D-принтеров FDM и SLA/DLP. Программа имеет открытый исходный код, что открывает возможность создания собственных плагинов и их адаптации к новым функциям.

Слайсер имеет три пользовательских режима, поэтому он подходит для разных категорий пользователей. Для новичков доступны только основные настройки. Для продвинутых пользователей и профессионалов доступен широкий спектр настроек принтеров. Пользовательский интерфейс имеет удобную навигацию и даёт пользователю возможность восстановления моделей и высокую точность в оценке времени печати, особенно для собственных принтеров Prusa.

Положительным моментом программы является наличие многих настроек, улучшающих печать.

Недостаток программы связан с оригинальным принтером Prusa, когда у пользователей появляется необходимость просмотра деталей печати.

Программа бесплатная с поддержкой Windows, Mac, Linux.

REPETIER.

*Производитель: Hot-World GmbH & Co. KG, Германия
Сайт: repetier.com/about-us/*

Копания основана в 2004 г., в 2006 г. стала называться «Hot-World GmbH & Co. KG». Среди основных видов деятельности – разработка и распространение программных продуктов.

Приложение Repetier удовлетворяет как новичков, так и продвинутых пользователей. Поддерживает до 16 экструдеров и фактически все 3D-принтеры FDM. Начало было положено разработкой Repetier-Firmware и Repetier-Host с целью повысить качество печати. Позже появился Repetier-Server для оптимизации возможностей процесса печати и его большей гибкости. Если не использовать настройки, то по умолчанию можно применять нарезки с помощью CuraEngine, Slic3r или Slic3r Prusa Edition.

Для того, чтобы получить доступ и управлять 3D-принтером через браузер компьютера или смартфона необходимо воспользоваться программой Repetier Host, которая через Repetier Server обеспечивает удалённый доступ. Repetier-Server является хорошим дополнением к Repetier-Host и позволяет:

- ◆ наблюдать за работой принтера через веб-камеру;
- ◆ одновременно управлять несколькими принтерами;
- ◆ работать на Windows, Mac и Linux;
- ◆ загрузить новую прошивку принтера.

Плюсы программы – открытый исходный код и популярность.

Минусы программы – качество печати желательно улучшить.

Программа бесплатная с поддержкой Windows, Mac, Linux, Raspberry Pi.

SELF CAD.

*Производитель: SelfCAD, США, Нью-Йорк
Сайт: <https://www.selfcad.com/>*

Программа SelfCAD – это доступное программное обеспечение для 3D-моделирования, выпущенное в 2016 году и которое может соответствовать любому уровню навыков. SelfCAD – это программа проектирования на основе полигональной сетки. Представляет собой онлайн-платформу CAD/CAM на основе браузера, которая позволяет пользователю моделировать, лепить, нарезать и печатать онлайн. Кроме того, пользователям не нужно тратить месяцы на изучение ряда сложных программ. Пользователи могут создавать и печатать объекты за гораздо меньшее время, чем при использовании традиционных программ CAD/CAM.

Программа подготавливает проекты для принтеров FDM и DLP. Имеет инструменты рисования, манифолдинга и нарезки, которые доступны в одном программном обеспечении. Magic Fix SelfCAD автоматически исправляет недостатки в проекте, чтобы избежать ошибок при печати.

Чтобы подготовить форму для 3D-печати, важно проверить каждый слой объекта с помощью инструмента для нарезки. SelfCAD позволяет пользователю делать это с помощью встроенной функции нарезки. Слайсер включает предустановленные профили, поэтому пользователи могут просто выбрать профиль, настроить опорную структуру и заполнение дизайна или выбрать из многих других расширенных настроек приложения.

SelfCAD позволяет пользователям сохранять свои проекты на облачных серверах и легко делиться своими проектами с другими. SelfCAD также снижает затраты, время и усилия, связанные с перемещением больших файлов.

Плюсы программы:

- ◆ после выполнения нарезки допускается предварительный просмотр слоя;
- ◆ указывается время печати и конечный вес модели.

Программа бесплатная с поддержкой Windows, Mac, Linux.

SLIC3R.

Производитель: Prusa Research, Чехия, Прага

Сайт: slic3r.org/

Бесплатная программа Slic3r с открытым исходным кодом впервые вышла в 2011 г. Поддерживает многие 3D-принтеры как недорогие стартовые, так и профессиональные. Многочисленные и разнообразные функции программы удовлетворяют специалистов и профессионалов, но для новичков этот слайсер может показаться сложным.

Среди особенностей программы можно отметить следующие:

- ◆ генерация G-кода выполняется быстро. Не ждите часами, чтобы нарезать детальную модель. Slic3r примерно в 100 раз быстрее, чем Skeinforge. Он также использует многопоточность для параллельных вычислений;
- ◆ множество форматов ввода/вывода. Slic3r читает файлы STL, AMF и OBJ, а также может выводить файлы G-code и SVG;
- ◆ прохладные стратегии охлаждения. Умная логика охлаждения будет регулировать скорость вращения вентилятора и скорость печати, чтобы у каждого слоя было достаточно времени для охлаждения, прежде чем на него будет наложен следующий слой;
- ◆ возможность изменять высоту слоя;
- ◆ использование края для лучшей адгезии. Эта уникальная функция улучшает адгезию встроенной пластины, создавая базовый фланец вокруг ваших объектов, который вы можете легко удалить после печати;
- ◆ все возможности удобного интерфейса также доступны из командной строки. Это позволяет интегрировать Slic3r в вашу пользовательскую цепочку инструментов и пакетные операции по своему усмотрению.

Плюсы программы – высокая скорость работы даже на медленных компьютерах, интеграция с OctoPrint, регулирование давления и другое.

Программа бесплатная с поддержкой Windows, Mac, Linux.

SLICECRAFTER.

Производитель: Craftbot, Венгрия, Будапешт

Сайт: topbestalternatives.com/slicecrafter/

Компания Craftbot (ранее CraftUnique) – разработчик и производитель 3D-принтеров, а также создает прошивку и программное обеспечение для нарезки, чтобы предоставить пользователям полное решение для 3D-печати. Венгерская компания Craftbot базируется в Будапеште и была основана в 2014. Имеет дочерние компании в Канаде и США. Портфолио Craftbot ориентировано на различные потребности клиентов: от компактного настольного принтера до принтеров с двумя головками большого объема печати, предназначенных для промышленного использования.

SliceCrafter является онлайн-программой, основанной на IceSL, поэтому пользователи Mac тоже могут её использовать. Подготовка слоёв в SliceCrafter практически совпадает с IceSL, но некоторых функций IceSL нет в SliceCrafter.

CraftWare Pro идеально подходит для:

- ◆ новичков; которым нужен простой в использовании слайсер с базовыми функциями САПР, и позволяющий делать персонализированную печать хорошего качества всего за несколько щелчков мыши.

- ◆ продвинутых пользователей; которым нужны инновационные настройки, помогающие оптимизировать печать для лучшего качества и эффективности.

- ◆ экспертов, которым нужен оптимизатор печати, который может повысить эффективность за счет сокращения затрат и времени на печать и предоставить возможность поддерживать полный контроль над производственным процессом.

Плюсы программы – генерация G-кода без установки ПО 3D-слайсера.

Минусы программы – недостаток функций из настольного приложения.

Программа бесплатная с поддержкой браузера.

SIMPLIFY3D.

Производитель: Simplify 3D, США, Цинциннати

Сайт: simplify3d.com/

Simplify3D включает в себя всё необходимое для работы с 3D-принтером. Настройка модели и покрытие, нарезка и создание файлов для печати, предварительное моделирование, настраиваемые опорные конструкции, анализ и ремонт сетки, управление и мониторинг машины и многое другое.

Поддержка сотен различных 3D-принтеров. Simplify3D сотрудничает с компаниями, занимающимися 3D-печатью, в более чем 30 странах, чтобы обеспечить совместимость программного обеспечения с новейшим оборудованием для 3D-печати. По данным разработчика Simplify3D поддерживает почти 95% всех современных настольных 3D-принтеров.

Наиболее значимыми особенностями Simplify3D являются следующие.

1. Простое переключение между несколькими принтерами. Вместо того, чтобы изучать разные программы для каждого приобретаемого 3D-принтера, можно использовать одно приложение для всего своего оборудования для 3D-печати. ПО можно быстро переключать между различными конфигурациями принтеров, что позволяет всё контролировать из одного приложения.

2. Реалистичное моделирование. Simplify3D включает в себя реалистичное моделирование перед печатью, которое позволяет увидеть точные действия, которые будет выполнять 3D-принтер, прежде чем начнётся печать. Можно буквально наблюдать за анимацией экструдера, укладывающего каждую отдельную линию пластика, что даёт существенный объём информации.

3. Заблаговременное выявление проблем. Моделирование включает информацию о точных скоростях, последовательностях и настройках, которые используются для печати, чтобы быстро их проверить, т.е можно использовать реалистичную симуляцию для выявления проблем до включения 3D-принтера.

4. Улучшенное качество печати и легкое удаление. Simplify3D предлагает наилучшие из доступных опор, позволяя достичь высокого уровня качества поверхности даже для самых сложных отпечатков. ПО автоматически предлагает, где следует добавить материал для дополнительных опор в нестабильных областях или удалить ненужные опоры для сокращения времени печати.

Программа платная с поддержкой Windows, Mac, Linux.

PATHIO.

Производитель: E3D, Великобритания, Оксфорд

Сайт: all3dp.com/4/pathio-slicer-e3d/

Pathio – новый слайсер с закрытым исходным кодом. В начале 2020 г. появилась бета-версия. Со слов разработчиков, они сконцентрированы на абсолютно новом механизме нарезки. Обычно быстро выполняется нарезка модели на

2D-слайсы, а потом решаются вопросы реализации слайсов по отношению к оболочке и заполнению. В отличие от такого подхода, слайсер Pathio работает в 3D-пространстве, что способствует получению правильной толщины стенок и увеличения самонесущих геометрий.

В Pathio реализована возможность группировать детали и для каждой группы создавать свои настройки. Разработчики предполагают реализовать облачную синхронизацию между принтерами.

Особенности, на которые стоит обратить внимание.

1. Пользовательский интерфейс. С точки зрения работы и возможностей Pathio можно сравнить с Simplify3D, который дает пользователям возможность настроить несколько процессов печати для разных экструдеров и моделей. Команда Pathio разработала пользовательский интерфейс, который упрощает работу. Теперь фактически есть дерево функций, которое содержит все модели, и можно объединять модели в группы и задавать настройки для каждой группы.

2. 3D смещение. Pathio вычисляет истинное 3D-смещение для определения оболочки и заполнения, создавая самонесущую геометрию оболочки без зазоров и отверстий. При этом оболочка становится более стабильной к механике: углы усилены, а оболочки на наклонных поверхностях имеют постоянную толщину.

3. Рисование – это новый способ определения того, где на модели размещаются опоры. Более интуитивно понятный, чем добавление сеток-модификаторов, и менее утомительный, чем многократные щелчки левой кнопкой мыши по опорным столбам, Рисование позволяет выбрать именно то место, где пользователь хочет разместить опоры, быстрым и простым способом.

4. Создана вкладка «Избранное», позволяющая сохранить наиболее часто используемые настройки на переднем плане для быстрой настройки печати. Эта функция, видимая, но не настраиваемая и указывает на персонализацию, которую Pathio вводит в нарезку.

5. Основы нарезки претерпели изменения. Вместо того, чтобы анализировать модель с накоплением 2D-модулей с двумерными значениями оболочек в соответствующих срезах, в качестве переменной используется универсальная толщина оболочки. На основе заданного значения Pathio создает оболочку равномерно по всем измерениям, что, например, устраняет возможность появления зазоров в верхних слоях. Такой подход гарантирует, что поверхностные слои не останутся без поддержки из-за недостаточного заполнения.

О реальных плюсах и минусах программы говорить рано.

Программа бесплатная\платная с поддержкой Windows, Mac, OSX.

OCTOPRINT.

Производитель: Patreon, США, Калифорния

Сайт: <https://octoprint.org/>

OctoPrint – бесплатное программное обеспечение с открытым исходным кодом. OctoPrint совместим с большинством доступных потребительских 3D-принтеров, а его мощная система плагинов позволяет различными способами расширять его функциональность, среди которой следующие возможности:

- ◆ создание с помощью Octolapse таймлапсов – фотосъемки длительно текущих процессов для достаточно быстрого просмотра на экране;
- ◆ полный контроль оформления пользовательского интерфейса OctoPrint с помощью Themeify;
- ◆ обновление прошивки принтера с помощью Firmware Updater;
- ◆ добавление поддержки определенных принтеров, таких как старые принтеры Flashforge или современные – Flashforge, Dremel или PowerSpec;
- ◆ взаимодействие с официальным репозиторием подключаемых модулей (плагинов) OctoPrint;

- ◆ управление и отслеживание каждого аспекта 3D-принтера и заданий на печать прямо из браузера;
- ◆ доступ к встроенной веб-камере и удалённое наблюдение за принтером;
- ◆ получение постоянной обратной связи о ходе выполнения задания;
- ◆ отслеживание температуры хот-эндом и печатной платформы;
- ◆ перемещение печатающей головки по всем осям, выдавливание, втягивание или определяйте собственные элементы управления;
- ◆ запуск, остановка или приостановка текущего задания на печать, его полный контроль в любое время;
- ◆ создание замедленных записей своих процессов печати;
- ◆ нарезка файлов STL прямо в OctoPrint;
- ◆ контроль управления принтером посторонними людьми с помощью встроенных элементов управления доступом;
- ◆ добавление системных команд в меню, чтобы легко выключить или перезагрузить сервер OctoPrint или даже принтер;
- ◆ настройка обработчика событий, для реагирования на определённые события в OctoPrint, вызывая внешние команды.

Программа контролирует действия принтера посредством веб-браузера и портативных устройств. Можно загружать задания на печать без SD-карт.

Положительными моментами программы являются открытый исходный код и «богатая» функциональная наполненность.

Программа бесплатная с поддержкой Windows, Mac, Linux, Raspberry Pi.

Таким образом, рассмотрен ряд современных программ-слайсеров, которые для удобства сведены в компактную таблицу.

Слайсер	Ориентация	Доступность	Поддержка
1. 3DPrinterOS	новичок, продвинутый	беспл./платно	Windows, Mac, браузер
2. Astroprint	новичок, продвинутый	беспл./платно	Raspberry Pi, браузер
3. CraftWare	новичок, продвинутый	бесплатно	Windows, Mac, Linux
4. Cura	новичок, продвинутый	бесплатно	Windows, Mac, Linux
5. IceSL	новичок, продвинутый	бесплатно	Windows, Mac, Linux
6. ideaMaker	новичок, продвинутый	бесплатно	Windows, Mac, Linux
7. KISSlicer	новичок, продвинутый	беспл./платно	Windows, Mac, Linux Raspberry Pi
8. MakerBot Print	начинающий	бесплатно	Windows, Mac,
9. MatterControl	новичок, продвинутый	бесплатно	Windows, Mac, Linux
10. Netfabb	средний, продвинутый	беспл./платно	Windows
11. OctoPrint	средний, продвинутый	бесплатно	Windows, Mac, Linux Raspberry Pi
12. Repetier	средний, продвинутый	бесплатно	Windows, Mac, Linux
13. SelfCAD	новичок, продвинутый	беспл./платно	Браузер
14. Simplify3D	новичок, продвинутый	платная	Windows, Mac
15. Slic3r	опытный, профессиональный	бесплатно	Windows, Mac, Linux
16. SliceCrafter	опытный	бесплатно	Браузер

Заключение. На основании выполненного обзора программного обеспечения слайсеров можно сделать несколько выводов.

1. Несмотря на стремление представить в обзоре как можно больше стран производителей программ-слайсеров, необходимо отметить, что США занимают свыше 40% рынка подобного программного обеспечения. При этом Китай и Чехия имеют примерно по 12% рынка и по 5% – такие страны, как Великобритания, Венгрия, Польша, Нидерланды, Израиль, Германия, Франция. Лидирующие позиции США объясняются тем, что они являются родоначальниками аддитивной технологии, первыми, кто спроектировал и выпустил 3D-принтер и кто с середины 80-х годов минувшего столетия постоянно развивал это перспективное направление.

2. Анализ слайсеров показал, что производители программного обеспечения ориентируют около 70% своего продукта на новичков и продвинутых пользователей. В тоже время доля выпускаемых на рынок программ, ориентированных на опытных и профессиональных пользователей составляет примерно 30%. Это можно объяснить тем, что сегодня 3D-принтер стал доступен широкому кругу пользователей, которые активно пробуют возможности в 3D-печати, не имея для этого достаточно знаний и навыков. Для таких пользователей как указывают производители создавались такие программы, как 3DPrinterOS, Astroprint, CraftWare, Cura, IceSL, ideaMaker, KISSlicer, MakerBot Print, MatterControl, Netfabb, OctoPrint, Repetier, SelfCAD и ряд других.

3. С целью популяризации своих программ-слайсеров производители распространяют их либо полностью бесплатно, либо выпускают бесплатные версии для пользователей новичков, а для опытных и профессиональных пользователей выпускают платные версии, например, программы SelfCAD, Netfabb, KISSlicer, 3DPrinterOS, Astroprint.

4. Кроме рассмотренных в статье слайсеров существует, по меньшей мере, ещё два десятка подобных программ, заслуживающих не только упоминания, но и отдельного обзора (Slic3R, Prusa Slicer, Repetier-Host, Kisslicer, Skeinforge). Разработчики Windows 10 даже встроили в свою ОС приложение для работы с 3D печатью, позволяющее обрабатывать и отправлять на печать модель. При таком обилии слайсеров выбор среди них для пользователя – задача непростая. Однако её можно упростить, если пользователь будет хорошо понимать свои цели, приоритеты и круг необходимых ему задач. Непонимание этих простых начальных условий приводит к тому, что пользователи сначала устанавливают себе слайсеры, которые им не подходят.

5. В последнее время среди производителей 3D-принтеров наметился устойчивый тренд на смещение особого внимания с технической стороны устройств на удобство и простоту его использования. Производители отмечают, что во многом это связано со снижением маркетинговой привлекательности «железа» и возрастании роли комфортной среды пользователя. Такую среду характеризует настолько эффективный уровень доступности, хранения и подготовки моделей к печати, что не привязывает пользователя к оборудованию во времени и пространстве. Поэтому производители стали активно развивать мобильные приложения поддерживающие работу в браузере, например такими программами являются SliceCrafter, 3DPrinterOS, Astroprint.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Astroprint. – URL: astroprint.com/ (дата обращения: 20.10.2021).
2. CraftWare. – URL: craftware.com/ (дата обращения: 20.10.2021).
3. Cura. – URL: ultimaker.com/software/ultimaker-cura (дата обращения: 20.10.2021).
4. IceSL. – URL: icesl.loria.fr/download/ (дата обращения: 20.10.2021).
5. IdeaMaker. – URL: raise3d.ru/news/raise3d-vypustili-novuyu-versiyu-ideamaker-4-0/ (дата обращения: 20.10.2021).

6. Kirimoto. – URL: docs.grid.space/projects/kiri-moto (дата обращения: 20.10.2021).
7. KISSlicer. – URL: 3d-m.ru/programmnoe-obespechenie-kisslicer-pro/ (дата обращения: 20.10.2021).
8. MakerBot Print. – URL: makerbot.com/3d-printers/apps/makerbot-print/ (дата обращения: 20.10.2021).
9. MatterControl. – URL: matterhack-ers.com/store/l/mattercontrol/sk/MKZGTDW6 (дата обращения: 20.10.2021).
10. PrusaSlicer. – URL: 3deshnik.ru/blogs/dark184-/prusaslicer-nachalo (дата обращения: 20.10.2021).
11. Repetier. – URL: repetier.com/about-us/ (дата обращения: 20.10.2021).
12. SelfCAD. – URL: .selfcad.com/ (дата обращения: 20.10.2021).
13. Slic3r. – URL: slic3r.org/ (дата обращения: 20.10.2021).
14. SliceCrafter. – URL: topbestalternatives.com/-sliceafter/ (дата обращения: 20.10.2021).
15. Simplify3D. – URL: top3dshop.ru/blog/best-slicers-for-3d-printer-rus-eng.html#table (дата обращения: 20.10.2021).
16. Netfabb Standard. – URL: ddmlab.ru/catalog-/netfabb/ (дата обращения: 20.10.2021).
17. Pathio. – URL: all3dp.com/4/pathio-slicer-e3d/ (дата обращения: 20.10.2021).
18. OctoPrint. – URL: octoprint.org/ (дата обращения: 20.10.2021).
19. Tinkerine Suite. – URL: 3dprint.com/121060/-tinkerine-suite-v-2-0/ (дата обращения: 20.10.2021).
20. 3DPrinterOS. – URL: 3dprinterOS.com/ (дата обращения: 20.10.2021).

REFERENCES

1. Astroprint. Available at: astroprint.com/ (accessed 20 October 2021).
2. CraftWare. Available at: craftware.com/ (accessed 20 October 2021).
3. Cura. Available at: ultimaker.com/software/ultimaker-cura (accessed 20 October 2021).
4. IceSL. Available at: //icesl.loria.fr/download/ (accessed 20 October 2021).
5. IdeaMaker. Available at: raise3d.ru/news/raise3d-vypustili-novuyu-versiyu-ideamaker-4-0/ (accessed 20 October 2021).
6. Kirimoto. Available at: docs.grid.space/projects/kiri-moto (accessed 20 October 2021).
7. KISSlicer. Available at: 3d-m.ru/programmnoe-obespechenie-kisslicer-pro/ (accessed 20 October 2021).
8. MakerBot Print. Available at: makerbot.com/3d-printers/apps/makerbot-print/ (accessed 20 October 2021).
9. MatterControl. Available at: matterhack-ers.com/store/l/mattercontrol/sk/MKZGTDW6 (accessed 20 October 2021).
10. PrusaSlicer. Available at: 3deshnik.ru/blogs/dark184-/prusaslicer-nachalo (accessed 20 October 2021).
11. Repetier. Available at: repetier.com/about-us/ (accessed 20 October 2021).
12. SelfCAD. Available at: .selfcad.com/ (accessed 20 October 2021).
13. Slic3r. Available at: slic3r.org/ (accessed 20 October 2021).
14. SliceCrafter. Available at: topbestalternatives.com/-sliceafter/ (accessed 20 October 2021).
15. Simplify3D. Available at: top3dshop.ru/blog/best-slicers-for-3d-printer-rus-eng.html#table (accessed 20.10.2021).
16. Netfabb Standard. Available at: ddmlab.ru/catalog-/netfabb/ (accessed 20 October 2021).
17. Pathio. Available at: all3dp.com/4/pathio-slicer-e3d/ (accessed 20 October 2021).
18. OctoPrint. Available at: octoprint.org/ (accessed 20 October 2021).
19. Tinkerine Suite. Available at: 3dprint.com/121060/-tinkerine-suite-v-2-0/ (accessed 20 October 2021).
20. 3DPrinterOS. Available at: 3dprinterOS.com/ (accessed 20 October 2021).

Статью рекомендовала к опубликованию д.т.н., профессор Л.С. Лисицына.

Лисяк Владимир Васильевич – Южный федеральный университет; e-mail: vvlisyak@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: 88634371625; кафедра САПР; доцент.

Lisyak Vladimir Vasil'evich – Southern Federal University; e-mail: vvlisyak@sfedu.ru; Taganrog, Russia; phone: +78634371625; the department of CAD; associate professor.