

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра автоматизированного оборудования
машиностроительного производства

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ
по направлению 15.04.01 «Машиностроение»
(программа магистерской подготовки «Обеспечение
качественно-точностных характеристик при изготовлении
изделий в автоматизированном машиностроительном
производстве») всех форм обучения

Воронеж 2021

УДК 621.833.1
ББК 34.42

Составитель канд. техн. наук А. В. Демидов

Аддитивные технологии: методические указания к выполнению практических работ по направлению 15.04.01 «Машиностроение» (программа магистерской подготовки «Обеспечение качественно-точных характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном машиностроительном производстве») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: А. В. Демидов. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 31с.

Основная цель практических работ по дисциплине «Аддитивные технологии» заключается в закреплении теоретических знаний, полученных при изучении курса, и приобретении практических навыков при проектировании технологической подготовки с применением аддитивных технологий.

Предназначены для проведения практических работ по дисциплине «Аддитивные технологии» для магистрантов 2 курса.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ АТ ПР.2021.pdf.

Ил. 24. Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.

УДК 621.833.1
ББК 34.42

Рецензент – М. И. Попова, канд. техн. наук, доц.
кафедры автоматизированное оборудование
машиностроительного производства ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Аддитивные технологии (АТ) начали интенсивно развиваться со времени получения первых трехмерных изображений изделий на дисплеях компьютеров.

Начало положила многочисленные новые принципы стали называть технологиями быстрого прототипирования (Rapid Prototyping) и, наконец, укоренилось название «Аддитивные технологии».

Современные системы компьютерного проектирования (CAD) позволяют значительно сократить затраты времени и средств на разработку и конструирование новых изделий. Однако проблема изготовления первого физического образа и даже отдельной детали для изделия сколько-нибудь сложной формы остается узким местом, поскольку разработка технологии изготовления детали и соответствующей оснастки зачастую требуют затрат, сопоставимых со стоимостью разработки самого изделия. На данный момент значительного прогресса достигли технологии послойного формирования трехмерных объектов по их компьютерным моделям. Эти технологии наиболее известны аддитивные технологии. При традиционном способе получения физических моделей будущих изделий или опытных образцов затрачивается от нескольких недель до нескольких месяцев, что приводит к повышению затрат на разработку нового изделия и задержке сроков выпуска новой продукции.

Термин "аддитивные технологии" означает технологии послойного наращивания и синтеза объектов.

Аддитивные технологии нашли широкое применение в таких отраслях промышленности, как автомобиле- и станкостроение, где создаются сложные машины и оборудование, изготавливается множество экспериментальных моделей и макетов деталей, требующих много времени для конструирования и изготовления.

Практическая работа №1

Тема: «3Dпринтер.»

Цель: изучить основные конструктивные особенности устройства 3D принтеров и применяемых материалов для объемной печати.

Задачи:

1. Изучить конструкцию 3D принтера.

Теоретические сведения:

Тип устройства принтера для 3Д печати похож со своим собратом, изготавливающим любые изображения в формате 2Д. Основным отличием считается способность продвинутого принтера печатать объемные элементы. Так, к привычной длине и ширине, здесь добавляется еще и глубина. Нужно понимать, что абсолютно все 3D принтеры имеют одинаковый набор рабочих элементов.

Любое устройство, печатающее в трех плоскостях, состоит из таких рабочих элементов:

- Экструдер. Он нагревает и выдавливает вязкий пластик;
 - Платформа. Основа, на которой проходит процесс;
 - Мотор. Он двигает необходимые элементы принтера;
 - Фиксаторы. Специальные датчики, стопорящие подвижные части принтера во время работы. Они не позволяют выйти за границы платформы;
 - Рама;
 - Картезианский робот. Устройство, способное двигаться по 3-м осям.

Зная устройство машины, становится понятен принцип работы 3Д принтера. Конечно, это основные рабочие узлы, принимающие непосредственное участие в создании трехмер-

ных конструкций. Наглядное устройство принтера показано на рисунке

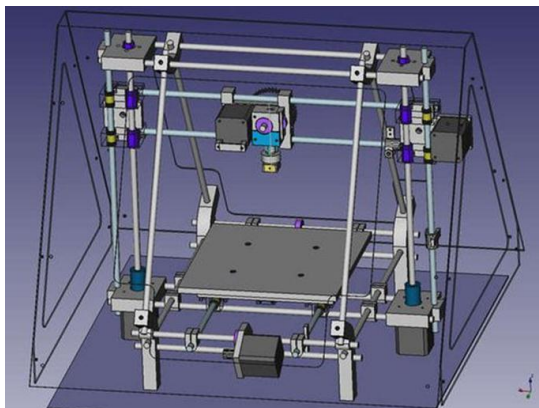


Рис. 1.1. Конструкция 3D принтера

Основные процессы регулируются с помощью ПК:

- Температура сопла;
- Скорость подачи пластиковой нити;
- Работа мотора.

Базовой системой 3Д принтеров сегодня считается Arduino с открытой архитектурой. А программа должна выбираться в зависимости от конкретной модели машины. Чаще всего, изготовители рекомендуют использовать только фирменное программное обеспечение. Сегодня 3Д принтер можно рассматривать как специализированное оснащение для специалистов, которые смогут решить массу задач с помощью этого устройства.

Ход работы:

1. Изучить материал для выполнения данной лабораторной работы.
2. Описать основные узлы входящие в конструкцию 3D принтера.
3. Сформировать отчет

Практическая работа №2

Тема: «Выбор материалов для объемной печати»

Цель: изучить применяемых материалов для объемной печати на 3D принтерах.

Задачи:

1. Провести анализ применяемых в аддитивных технологиях материалов.

Теоретические сведения:

Несмотря на то, что рынок филаментов регулярно пополняется новыми материалами, пластик и его различные сплавы до сих пор занимают лидирующие позиции.

Дело не только в том, что львиную долю оборудования для трехмерной печати составляют FDM-принтеры. Производство и последующее использование «полимерных» чернил обходится в разы дешевле, нежели использование металлоглины или фотополимеров.

Самые распространенные материалы для 3D печати - термопластики PLA и ABS, но на самом деле список материалов можно продолжать очень долго. Эти материалы могут содержать нейлон, поликарбонат, полипропилен и многое другое. Сейчас возможна печать деревом, металлом, углеродным волокном и многими другими материалами.

Термопластики PLA и ABS фактически стали стандартными материалами используемыми для 3D-печати

Наиболее часто применяемые материалы для печати показаны в таблице 1.

Материалы для 3D печати

Таблица 1

Материал	Легкость использования	Физические свойства		
		Прочность	Гибкость	Долговечность
PLA	+	2	1	2
ABS		2	2	3
PETG (PET, PETT)		2	2	3
Nylon		3	3	4
TPE, TPU, TPC		1	4	3
PC		4	2	4

Ход работы:

1. Изучить материалы с данной лабораторной работе
2. Описать особенности выбора материала для объемной печати.
3. Описать отличительные особенности материалов для объемной печати.
4. Сформировать отчет.

Практическая работа №3

Тема: «Технологии 3D печати»

Цель: изучить основные технологии 3d печати.

Задачи:

1. Описать технологии, применяемые для создания деталей различных конструкций.
2. Изучить принцип работы 3D принтера.

Теоретические сведения:

В настоящее время на рынке существуют различные аддитивные системы, производящие модели по различным технологиям и из различных материалов. Однако, все они работают по схожему, послойному принципу построения физической модели, который заключается в следующем:

- считывание трёхмерной 3D геометрии из CAD-систем
- разбиение трёхмерной модели на горизонтальные сечения (слои) с помощью специальной программы, поставляемой с оборудованием или используемой как приложение
- построение сечений детали слой за слоем снизу-вверх, до тех пор, пока не будет получен физический прототип модели. Слои располагаются снизу-вверх, один над другим, физически. Построение прототипа продолжается до тех пор, пока поступают данные о сечениях CAD-модели.

Всего различают несколько основных технологий 3D печати:

Метод постепенного наслоения пластика;
Стереолитографическое моделирование;
Лазерное спекание.

Метод послойного наплавления термопласта Большинство 3Д принтеров работает с термопластиком, в том числе с полилактидом. Он отличается природным происхождением и неспособностью выделять вредные вещества. Работа заключается в подаче тонкой нити вязкого пластика в трубу сопла. Она и формирует необходимый элемент.

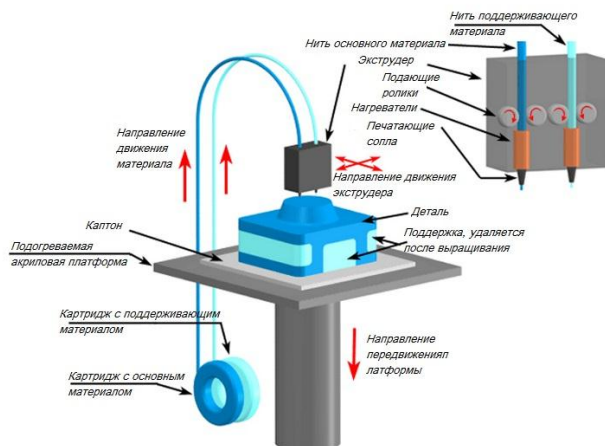


Рис. 3.1. Схема работы 3D принтера

Стереолитографическая печать эта технология широко применяется в стоматологии. С ее помощью изготавливают зубные протезы. Главным преимуществом таких принтеров считается высокое качество изготовленных конструкций. К тому же эти установки гораздо дешевле. Они не нуждаются в зеркалах, что делает устройство гораздо проще.

Лазерное спекание. Для этой технологии используют легко плавящийся пластик. Мощный луч прорисовывает объект. Это действие спекает материал. И так слой за слоем проходит моделирование выбранного элемента. После завершения печати остатки материала просто отряхиваются. Минусов этого метода считается пористая поверхность изделия.

Во время печати принтер считывает 3D-печатный файл (в формате STL), содержащий данные трехмерной модели, и наносит последовательные слои жидкого, порошкообразного, бумажного или листового материала, выстраивая трехмерную модель из серии поперечных сечений. Эти слои, соответствующие виртуальным поперечным сечениям в CAD-модели, соединяются или сплавляются вместе для создания объекта заданной формы. Основным преимуществом данного метода является возможность создания геометрических форм практически неограниченной сложности.

«Разрешение» принтера подразумевает толщину наносимых слоев (ось Z) и точность позиционирования печатной головки в горизонтальной плоскости (по осям X и Y). Разрешение измеряется в DPI (количество точек на дюйм) или микрометрах (устаревшим термином является «микрон»). Типичная толщина слоя составляет 100мкм (250 DPI), хотя некоторые устройства вроде Objet Connex и 3D Systems ProJet способны печатать слоями толщиной от 16мкм (1 600 DPI). Разрешение по осям X и Y схоже с показателями обычных двухмерных лазерных принтеров. Типичный размер частиц составляет около 50-100мкм (от 510 до 250 DPI) в диаметре.

Построение модели с использованием современных технологий занимает от нескольких часов до нескольких дней в зависимости от используемого метода, а также размера и сложности модели. Промышленные аддитивные системы могут, как правило, сократить время до нескольких часов, но все зависит от типа установки, а также размера и количества одновременно изготавливаемых моделей.

Ход работы:

1. Выбрать одну из аддитивных технологий
2. Провести подробное описание выбранной технологии изготовления детали на 3D принтере.
3. Сформировать отчет.

Практическая работа №4

Тема: «Проектирование моделей в виртуальной среде»

Цель: приобретение практических навыков моделирования деталей в CAD системе.

Задачи:

1. Научиться создавать 3D модели машиностроительных изделий.
2. Научиться менять точность цифровой модели
3. Изменить формат цифровой модели

Теоретические сведения:

3D-модели создаются методом ручного компьютерного графического дизайна или за счет 3D-сканирования. Ручное моделирование, или подготовка геометрических данных для создания трехмерной компьютерной графики, несколько напоминает скульптуру. 3D-сканирование – это автоматический сбор и анализ данных реального объекта, а именно формы, цвета и других характеристик, с последующим преобразованием в цифровую трехмерную модель.

Традиционные производственные методы вроде литья под давлением могут обходиться дешевле при производстве крупных партий полимерных изделий, но аддитивные технологии обладают преимуществами при мелкосерийном производстве, позволяя достигнуть более высокого темпа производства и гибкости дизайна, наряду с повышенной экономичностью в пересчете на единицу произведенного товара. Кроме того, настольные 3D-принтеры позволяют дизайнерам и разработчикам создавать концептуальные модели и прототипы, не выходя из офиса.

При построении твердотельной модели в компьютерной среде, модели строятся не идеальной линией, а множеством отрезков. Такой подход облегчает работу ядра программы. Для создания детали на 3Д принтере необходимо минимизировать длину прямых отрезков на криволинейной поверхности, чтобы деталь получилась наиболее точной. Примером этого может служить настройка качества отображения в программе.

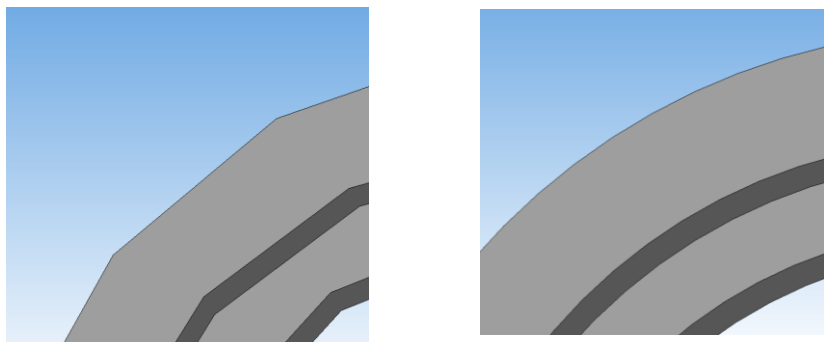


Рис. 4.1. Пример качества 3D модели в CAD системе:
а – до минимального качества модели; б – улучшенной
качество модели

Для достижения лучшего качества изготавливаемой детали при программировании управляющей программы для 3Д принтера необходимо выбрать максимальное разрешение точек детали.

Ход работы:

1. Создать 3D модель детали и ее рабочий чертеж в системе Компас 3D.

По заданию преподавателя создать твердотельную модель детали для дальнейшего проектирования технологической подготовки аддитивными технологиями.

2. Сформировать отчет.

Практическая работа №5

Тема: Интерфейс программы «Creation Workshop»

Цель: изучить интерфейс программы Creation Workshop для подготовки детали к печати.

Задачи:

1. Изучить интерфейс программы Creation Workshop.
2. Изучить порядок подготовки модели к печати в программе Creation Workshop.

Теоретические сведения:

Creation Workshop – это инструментарий для управления любым 3d-принтером, понимающим GCode.

- Слайсинг моделей на кадры для DLP-принтеров поддерживается из коробки
 - Ввод и загрузка GCode для исполнения
 - Контроль FDM-принтеров – слайсинг через Slic3r
 - Управление ЧПУ – с использованием внешнего пост-процессора
- Поддержка гальванических SLA-принтеров на LaserShark
 - Генератор поддержек
 - Загрузка/Сохранение сцен, поддержек и результатов слайсинга

Ход работы:

Запустите на вашем компьютере программу Creation Workshop.

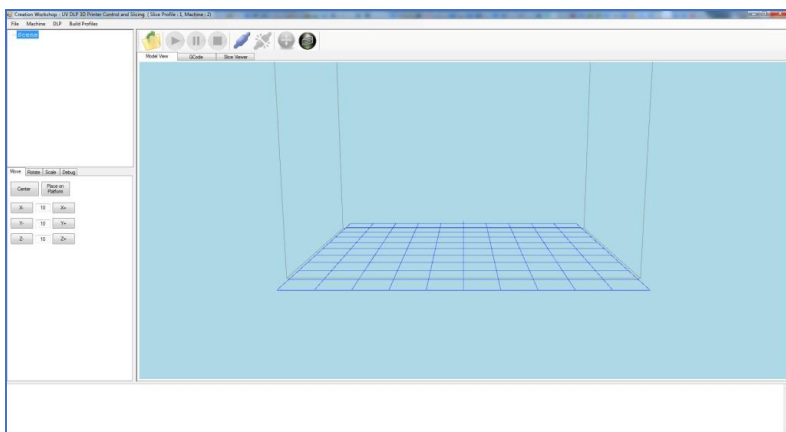


Рис. 5.1. Рабочее окно программы Creation Workshop

Выберите пункт меню Machine.

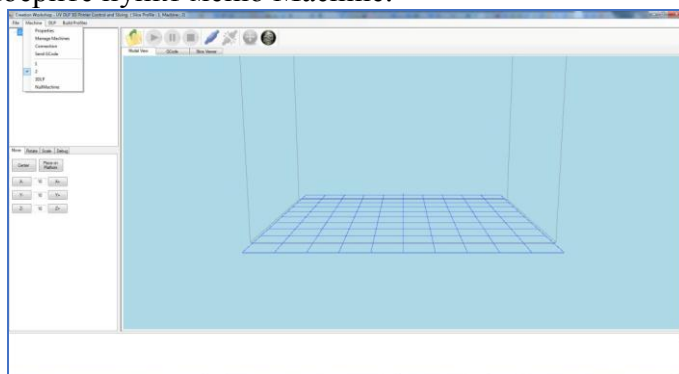


Рис. 5.2. Выбор пункта меню Machine.

Создайте уникальное имя вашего принтера.

Manage Machines → Create New.

В меню Machine выберите ваш принтер.

Выберите пункт Properties. Откроется окно настройки Machine Configuration.

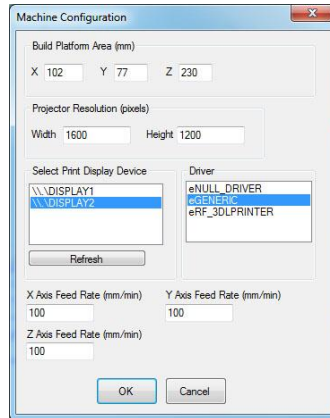


Рис. 5.3. Окно настройки Machine Configuration.

В поле Build Platform Area выставить: X – 192; Y – 108; Z – 300

В поле Projector Resolution выставить: Width – 1920; Height – 1080 (или другие значения, соответствующие указанным в настройке проектора в операционной системе).

В поле Select Print Display Device выбрать: \\.\DISPLAY2.

В поле Driver выбрать: eGENERIC.

Нажмите ОК.

Выберите пункт Connection.

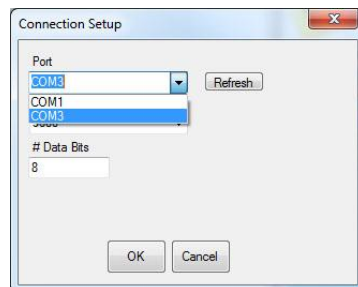


Рис. 5.4. Окно настройки Connection Setup.

В выпадающем подменю Port выберите COM-порт вашего Arduino.

В выпадающем подменю Speed выберите 115200.

В поле # Data Bits поставьте 8.

Выберите пункт меню DLP.

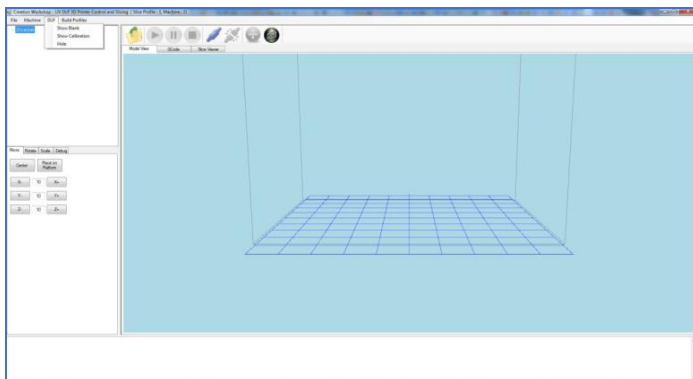


Рис. 5.5. Выбор пункта меню DLP.

Выберите пункт Show Calibration. На прозрачное дно кюветы будет спроецирована калибровочная сетка. Настройте фокус объектива проектора так, чтобы линии калибровочной сетки были как можно более тонкими и четкими.

НАСТРОЙКА ТОЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ ПЕЧАТИ.

Для настройки точной геометрии печати требуется произвести следующие действия:

1. Очистите кювету от полимера.
2. Включите проектор.
3. Запустите программу Creation Workshop.
4. Выберите пункт меню DLP.

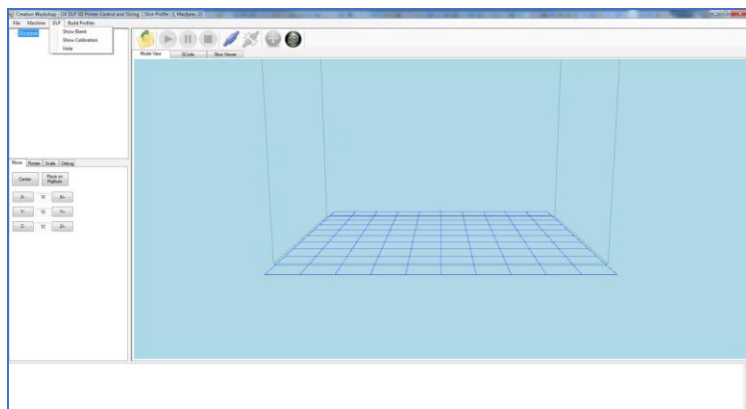
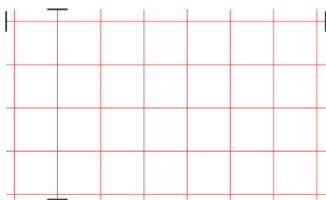


Рис. 5.6. Выбор пункта меню DLP.

Выберите пункт Show Calibration. На прозрачное дно кюветы будет спроецирована калибровочная сетка. Настройте фокус объектива проектора так, чтобы линии калибровочной сетки были как можно более тонкими и четкими.

На дно кюветы поместите листок тонкой бумаги.

На листке отметьте хорошо отточенным карандашом крайние точки отображаемой калибровочной сетки.



Измерьте расстояния между отметками.

Выберите пункт Properties. Откроется окно настройки Machine Configuration.

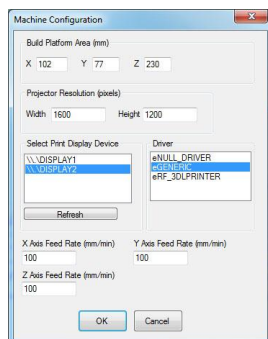


Рис. 5.7. Окно настройки Machine Configuration.

В поле Build Platform Area впишите измеренные значения в миллиметрах.

Выберите пункт Load Model.
Загрузите выбранный файл.

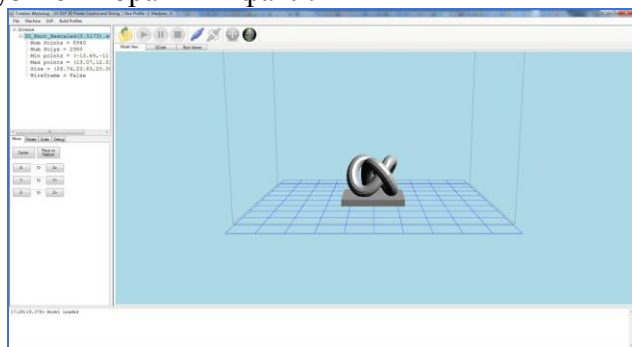


Рис. 5.8. Загруженная в программу 3D модель

Нажмите кнопку Slice на панели программы.

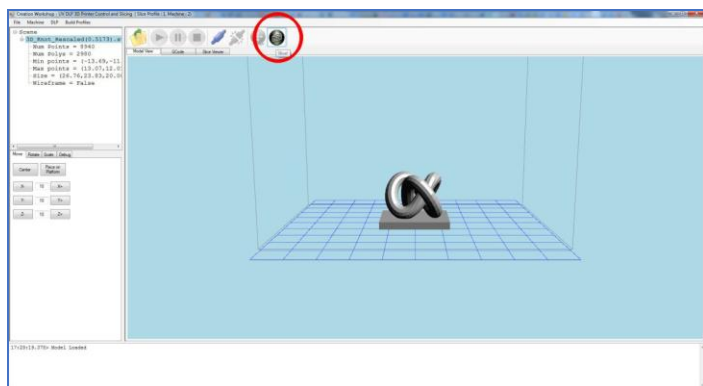


Рис. 5.9. Вызов окна настроек системы

Будет вызвано окно настройки Slice.

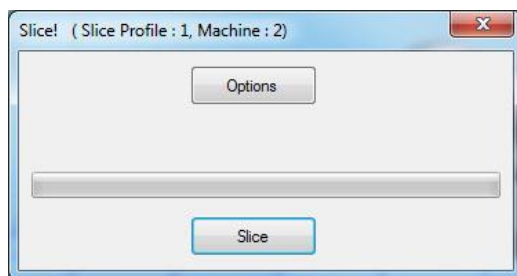


Рис. 5.10. Опции программы

Нажмите кнопку Options. Будет вызвано окно настройки Slicing and Building Profile Options.

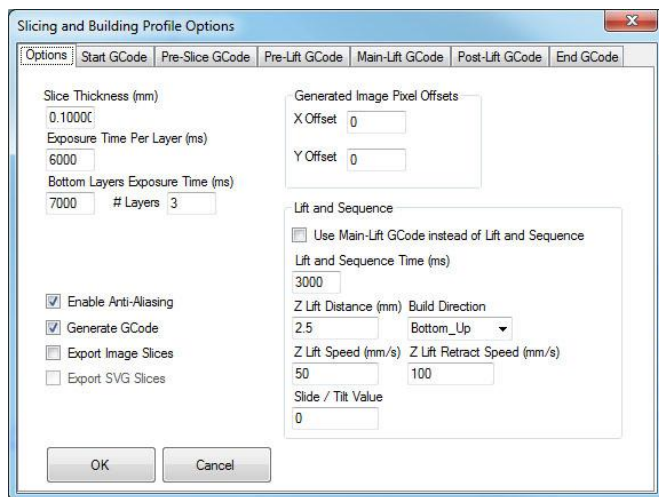


Рис. 5.11. Окно настройки 3D печати.

В поле Slice Thickness (Толщина слоя) выставьте желаемую толщину слоя (рекомендуем использовать величины 0.1 мм, 0.05 мм, 0.025 мм). В поле Exposure Time Per Layer (Время экспозиции слоя) выставьте значение в миллисекундах соответственно таблице 2.

В поле #Layers выставьте количество слоев, которые будут экспонироваться дольше остальных.

Поставьте галочку напротив пункта Enable Anti-Aliasing.

Поставьте галочку напротив пункта Generate GCode.

В разделе Lift and Sequence снимите галочку с пункта Use Main Lift GCode instead of Lift and Sequence.

В поле Lift and Sequence Time выставьте значение 3000 мс.

В поле Z Lift Distance выставьте значение 2,5 мм.

В меню Build Direction выберите Bottom_Up.

В поле Z Lift Speed выставьте значение 50 м/с.

В поле Z Lift Retract Speed выставьте значение 100 м/с.

Перейдите на закладку Start GCode.

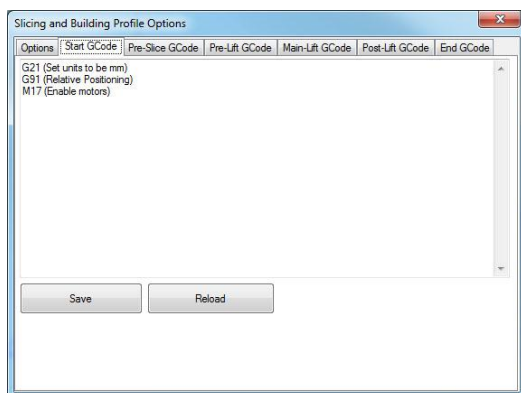


Рис. 5.12. Окно настройки управляющей программы.

Сотрите все, кроме указанных на рисунке строк.

Нажмите кнопку Save.

В закладках Pre-Slice GCode, Pre-Lift GCode, Main-Lift GCode, Post-Lift GCode сотрите все строки. Сохраняйте изменения нажатием кнопки Save.

Перейдите на закладку End GCode.

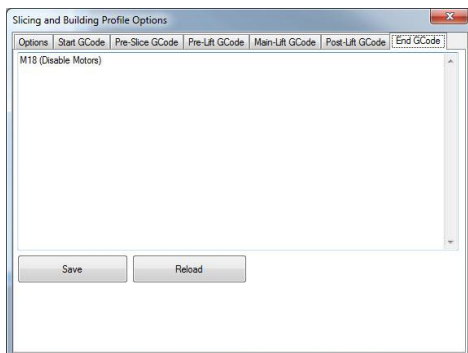


Рис. 5.13. Окно настройки окончания управляющей программы.

Сотрите все, кроме указанных на рисунке строк.
Нажмите кнопку Save.

Перейдите в закладку Options.

Закройте окно настройки Slicing and Building Profile
Options нажатием кнопки OK.

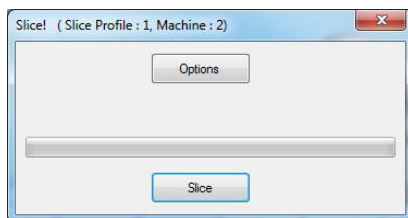


Рис. 5.14. Завершение настройки системы.

Нажмите кнопку Slice.

Дождитесь завершения процесса создания сечений.

Время построения модели можно оценить по записи
Slicing Completed Estimated Build Time: ЧЧ:ММ:СС.

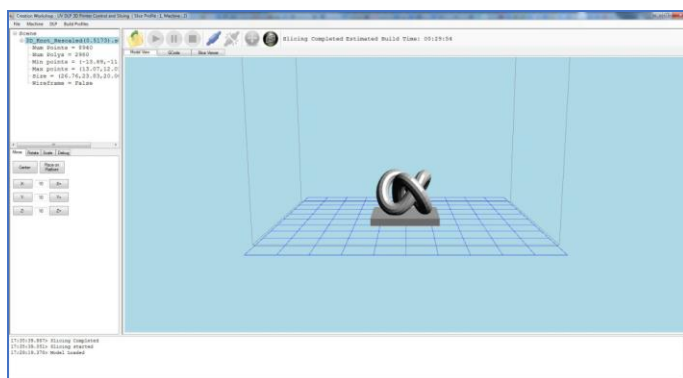


Рис. 5.15. Моделирование процесса печати модели.

Просмотреть G-код можно в закладке GCode.

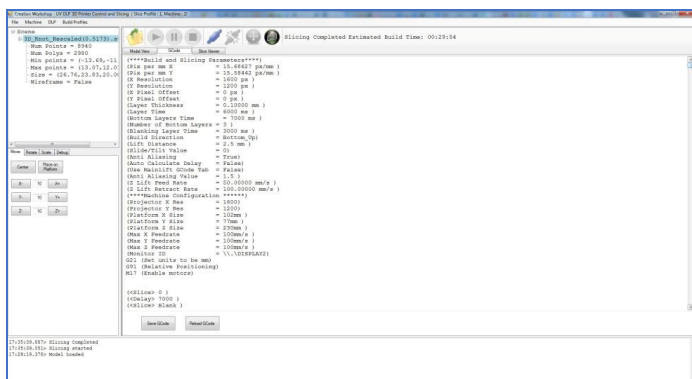


Рис. 5.16. Управляющая программа в G-кодах.

Чтобы просмотреть изображения слоев перейдите на закладку **Slice Viewer**.

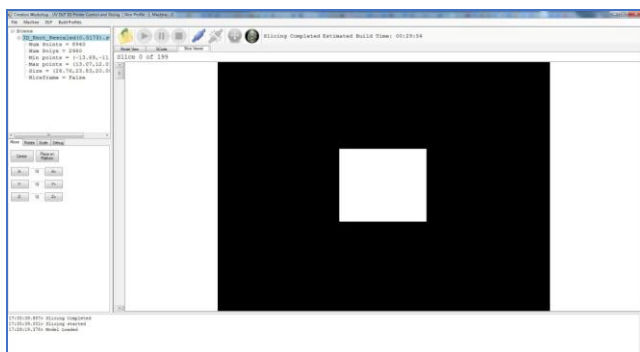


Рис. 5.17. Послойная визуализация изготовления детали

Переключение между слоями производится посредством полосы прокрутки слева от главного окна.

Практическая работа №6

Тема: «Моделирование изготовления детали»

Цель: приобретение практических навыков моделирования процесса изготовления детали на 3D принтере.

Задачи:

1. Подготовка виртуальной модели к печати.
2. Создание управляющей программы для моделирования технологического процесса.
3. Генерирование управляющей программы в G-кодах, для изготовления детали.

Теоретические сведения:

Благодаря доступности 3D принтеров, в настоящее время существует множество различных программ и приложений для создания 3D моделей. Ушло в прошлое то время, когда требовалось специальное образование, знание технического английского языка и много времени для создания самой простой виртуальной, объемной 3D модели. Есть много больших профессиональных программ моделирования, которые используют специалисты для создания 3D графики, сложных многослойных виртуальных моделей.

Слайсер - компьютерная программа, послойно преобразующая виртуальную трехмерную модель в машинный код (G-code), позволяющий аддитивному автоматизированному устройству изготовить деталь из специализированного материала.

В зависимости от используемой технологии послойного или поверхностного формирования детали результатом работы слайсера могут быть файлы, содержащие в себе данные о способах формирования слоёв - векторные линии, растровые

плашки, пути перемещения, нормали к поверхности и другие определяющие или управляющие данные.

Теория замощений (паркета) в упрощённом виде гласит – любую поверхность можно замостить (описать) бесконечным набором многоугольников без взаимных наложений и просветов. Перефразируя это утверждение можно сказать, что любую модель можно напечатать, порезав её на слои.

Слайсеры делятся на два основных вида: универсальные и специализированные (корпоративные). Как правило, специализированные «заточены» под одну технологию, торговую марку или модельную линейку принтеров. Универсальные имеют большую вариативность в настройках и рассчитаны на широкий спектр совместимых устройств.

Постольку 3D печать, это процесс, состоящий из большого количества необходимых для выполнения условий, то и настроек их параметров довольно много. И все они разнонаправленные, не линейные. Поэтому удобно и понятно их структурировать это большая задача, овладеть которой весьма не просто. Разработчики пытаются выстроить интуитивно понятные взаимосвязи между основными блоками настроек: принтер, модель, материал, профиль печати, экструдер(ы), дополнительные опции, скрипты и макросы. Они то привязывают отправную точку к материалу, то к настройкам принтера, то к процессу обработки модели (профилю печати) (Simplify, CURA), то к настройкам экструдера. Каждый создатель слайсера применяет свою философию в этом вопросе.

Тем не менее, структурно все слайсеры, помимо главного вычислительного ядра программы, отвечающего за математические расчеты геометрических форм и конвертацию их в язык машинного управления g-code, имеют стандартные блоки настроек. Обобщённо их шесть.

1. Настройки программы - слайсера. Они определяются творческим потенциалом разработчика.

На качество печати настройки программы практически не влияют. Однако иногда позволяют пользователю не «заблуд-

дится в трёх соснах» и правильно выставить единицы измерения, скорости соединения портов, визуализацию результатов слайсинга, отображение модели и другие полезные опции.

2. Настройки принтера.

Под этим термином мы понимаем не только «железо» принтера, но и его управляющую электронику.

Совместимость программного обеспечения. Количество доступных настроек варьируется в зависимости от профессиональной «продвинутой» каждого конкретного слайсера.

Упрощённые или «модельные» (штатные) программы позволят вам выбрать только модель принтера. Универсальные «Pro» версии потребуют указать какой язык G-code понимает прошивка платы управления. Иногда даже позволяют настроить значения скоростей перемещения, ускорений, рывков (jerk), ретрактов (откатов нити) (Например CURA v4.6) что позволит такому слайсеру более корректно рассчитывать время на выполнение печати.

Механика. «Расскажите» слайсеру, чем ему придётся управлять. Какая у вашего принтера механическая система перемещения – дельта, декартовая, рука робота, какие габариты зоны печати, какие отступы от краёв допустимы,

Экструдеры. Сколько у него экструдеров. Какого диаметра установлено сопло. Какая максимальная температура поддерживается конструкцией hotend (горячего наконечника). Каково расстояние между соплами в двухэкструдерном исполнении.

3. Настройки материала. Настройки профилей филамента: диаметр нити, температура плавления, плотность, производитель, цена и др.

4. Настройки модели. Инструменты управления масштабированием и позиционированием модели в рабочей зоне. Инструменты для «ремонта» и модификации загруженной модели.

5. Настройки слайсинга (нарезки). Инструменты и параметры формирования детали из модели. Вспомогательные

инструменты и управление объектами – поддержки, стены, башни, плоты и сервисные операции.

6. Дополнительные сервисы: последовательности команд – скрипты, макросы;

Ход работы:

Написание управляющей программы для 3D принтера осуществим с помощью программы CreationWorkshop.

Этапы подготовки будут выглядеть следующим образом:

1. Добавление геометрии детали в рабочую область программы-принтера

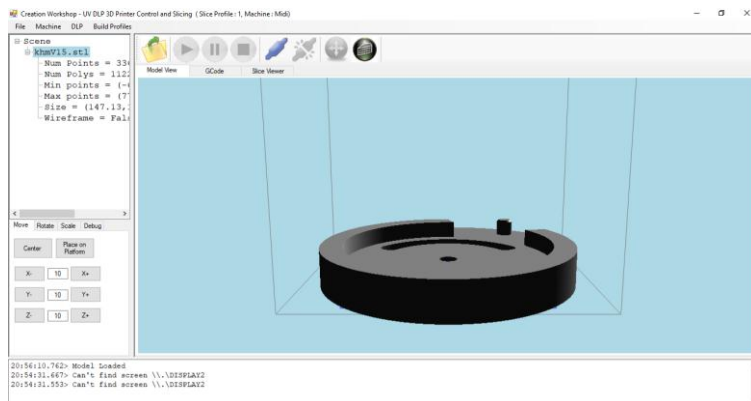


Рис. 6.1. 3D модель в окне программы

2. Настройка параметров печати

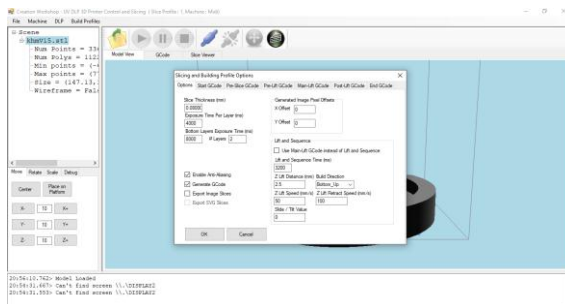


Рис. 6.2. Окно настройки параметров печати

3. Генерирование программы и послойная проверка операций печати

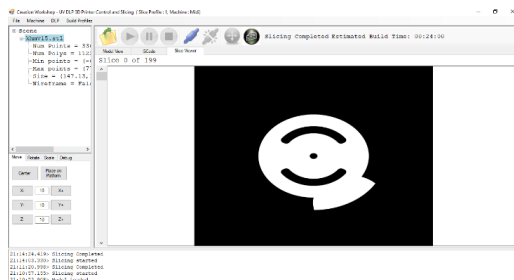


Рис. 6.3. Моделирование технологического процесса

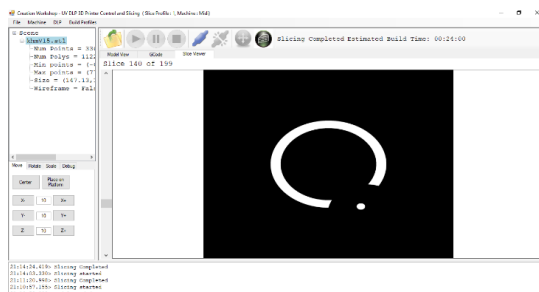


Рис. 6.4. Послойная проверка качества печати

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демидов А.В., Нилов В.А. Прототипирование деталей машин: учеб. пособие [Электронный ресурс] / А.В. Демидов, В.А. Нилов. – Электрон. текстовые, граф. дан. (2,9 Мб). – Воронеж: ВГТУ, 2015. – с., (10 уч.-изд.л.). – 1 диск. – <http://catalog.vorstu.ru>
2. Демидов А.В. Программное обеспечение проектирования КПО: учеб. пособие [Электронный ресурс] / А.В. Демидов Воронеж: ВГТУ, 2011. – 177 с.
3. Берлинер, Э.М. САПР в машиностроении [Текст] / Э.М. Берлинер. – М.: Форум, 2014. – 448 с. – 13 экз.
4. Иванов, А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: учеб. пособие для вузов [Текст] / А.А. Иванов. – М.: Форум, 2012. – 223с. – 13 экз.
5. Демидов, А.В. Основы конструирования деталей машин: учеб. пособие [Текст] / А.В. Демидов. – Воронеж: ГОУВПО «ВГТУ», 2008. – 183 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Практическая работа №1	4
2. Практическая работа №2.....	6
3. Практическая работа №3.....	8
4. Практическая работа №4.....	11
5. Практическая работа №5.....	13
6. Практическая работа №6.....	24
Библиографический список.....	29

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению практических работ
по направлению 15.04.01 «Машиностроение» (программа
магистерской подготовки «Обеспечение качественно-
точных характеристик при изготовлении изделий
в автоматизированном машиностроительном производстве»)
всех форм обучения**

**Составитель
Демидов Алексей Владимирович**

Издается в авторской редакции

Компьютерный набор А. В. Демидова

**Подписано к изданию 16.11.2021.
Уч.-изд. л. 1,9**

**ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14**