

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

**Кафедра автоматизированного оборудования
машиностроительного производства**

ПРОТОТИПИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению практических работ
для студентов направления 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(07)
ББК 34.42я7

Составитель

канд. техн. наук А.В. Демидов

Прототипирование деталей машин: методические указания к выполнению практических работ для студентов направления 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. 19 с.

Основная цель практических занятий заключается в закреплении теоретических знаний, полученных при изучении курса, и приобретении практических навыков при проектировании технологической подготовки с применением технологий быстрого прототипирования.

Предназначены для магистрантов 2 курса при выполнении практических работ по дисциплине «Прототипирование деталей машин».

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_ПДМ_ПР_2021.pdf.

Ил. 23. Библиогр.: 6 назв.

УДК 621.833.1(07)
ББК 34.42я7

Рецензент – М. И. Попова, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизированного оборудования машиностроительного производства ВГТУ

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

Введение

Технологии быстрого прототипирования (Rapid Prototyping –RP) стремительно вошли в современную промышленность машиностроение, медицину, архитектуру, образование, и стали неотъемлемой частью процесса производства серийной продукции или уникальных (единичных) изделий. Additive Fabrication (AF) или Additive Manufacturing (AM) – принятые в англоязычной технической лексике термины, обозначающие аддитивный, т.е. добавление», метод получения изделия (в противоположность традиционным методам механообработки путем «вычитания» (subtractive), материала из заготовки). Можно сказать, что RP в современном понимании является частью AF-технологий, «отвечающей» за прототипирование методами послойного синтеза. AF- или AM-технологии охватывают все области синтеза изделий, будь то прототип, опытный образец или серийное изделие. Суть AF-технологий, как и RP-технологий, состоит в послойном построении моделей.

Прототипирование базируется на цифровых технологиях, в основе которых лежит цифровое описание изделия, его компьютерная модель или так называемая CAD-модель. Современное производство новой продукции немыслимо вне цепочки CAD/CAM/CAE, внутри которой важнейшее место занимает RP-технология. Причина здесь одна: сокращение сроков создания нового изделия в несколько раз. Нужно не только спроектировать изделие, но и провести комплекс исследовательских, опытно-конструкторских, экспериментальных работ, технологическую подготовку производства, и т.д. RP-технология решает задачу сокращения сроков НИОКР (научно-исследовательские конструкторские разработки).

В настоящее время RP-технология – это очень емкое понятие, включающее в себя все многообразие средств получения прототипа изделия по 3D-CAD-модели.

Практическая работа № 1

Тема: Проектирование 3d модели детали в CAD системе

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.

Для технологической подготовки производства в виртуальное среде прежде всего необходима 3D модель детали. 3D модель детали создается методом ручного компьютерного графического дизайна в CAD системе Компас 3D выбрав при этом наиболее рациональную последовательность операций для моделирования твердотельной модели.

Проектирование модели детали начинают с создания базового тела путем выполнения операции над эскизом (или несколькими эскизами), под которым понимают плоскую фигуру, на основе которой образуется пространственное тело. Под операцией имеют в виду формообразующее перемещение эскиза.

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.

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

При проектировании элементов механических передач входящих в состав различных механизмов широко используются прикладные библиотеки Компас 3D, которые существенно облегчают работу проектировщика и позволяют автоматизированном режиме проектировать типовые детали машин различной конструкции. Так для создания зубчатых колес, крышек, фланцев, звездочек, шкивов и т. д. используют библиотеки «Валы и механические передачи 2D» и «Валы и механические передачи 3D». При этом в автоматизированном режиме производятся все необходимые инженерные расчеты проектируемой детали на прочность и жесткость.

Базовой информацией для технологической подготовки является рабочий чертеж детали с техническими требованиями на изготовление и условиями ее работы. Рабочие чертежи оформляются в соответствии с требованиями ЕСКД.

Рабочий чертеж детали — графический документ, содержащий изображение детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля. Рабочие чертежи деталей выполняют в определенном масштабе с помощью чертежных инструментов или разнообразных технических средств, включая средства автоматизированного проектирования на базе ЭВМ. Чертежи являются средством выражения замыслов конструктора и основными производственными документами, по которым изготавливают детали машин.

Ход работы:

1. Создать 3D модель детали системе Компас 3D.

По заданию преподавателя создать твердотельную модель детали для дальнейшего прототипирования в виртуальном производстве.

2. Создать рабочий чертеж детали.

Практическая работа № 2

Тема: Методы прототипирования деталей машин

Цель: изучить основные методы прототипирования деталей машин.

Задачи:

1. Описать технологии, применяемые для создания деталей различных конструкций.

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 3Д печати:

Метод постепенного наслоения пластика;

Стереолитографическое моделирование.

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. Схема работы 3D принтера показана на рис.1

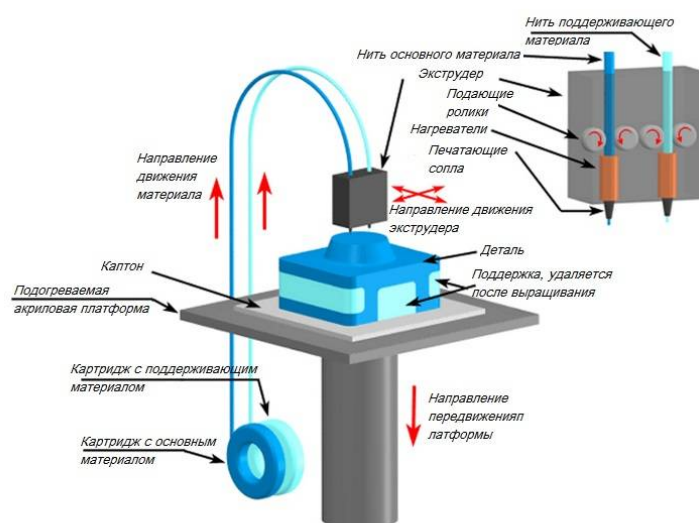


Рис. 1. Схема работы 3D принтера

Стереолитографическая печать 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.

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.

Прототипирование деталей машин с использованием современных технологий занимает времени от нескольких минут до нескольких часов в зависимости от используемого метода, а также размера и сложности модели.

Ход работы:

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

Практическая работа № 3

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 инструментальный для управления любым 3d-принтером, понимающим GCode.

ки

- 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 постпроцессора
- 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. 2).

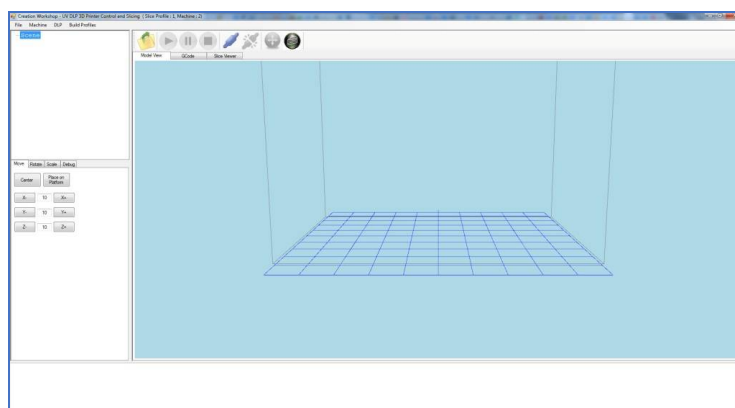


Рис. 2. Рабочее окно программы Creation Workshop

Выберите пункт меню Machine (рис.3).

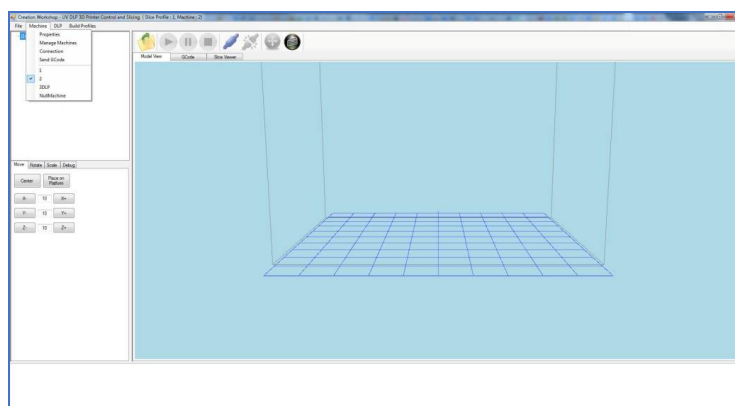


Рис. 3. Выбор пункта меню Machine

Создайте уникальное имя вашего принтера.

Manage Machines → Create New.

В меню Machine выберите ваш принтер.

Выберите пункт Properties. Откроется окно настройки Machine Configuration (рис.4).

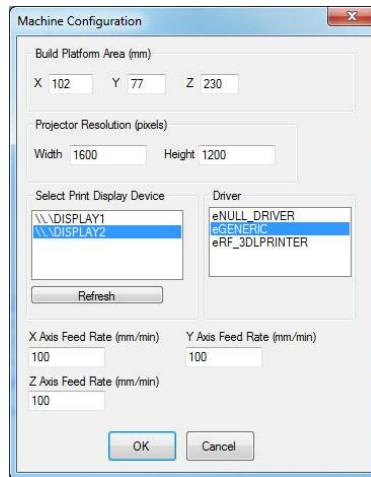


Рис. 4. Окно настройки Machine Configuration

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 OK.

Выберите пункт Connection (рис.5).

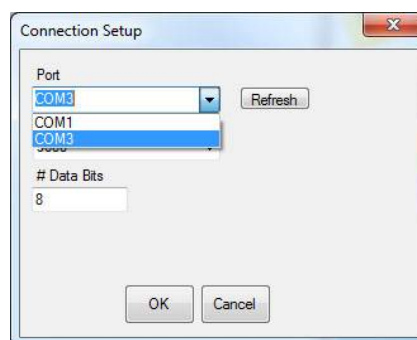


Рис. 5. Окно настройки Connection Setup

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.6).

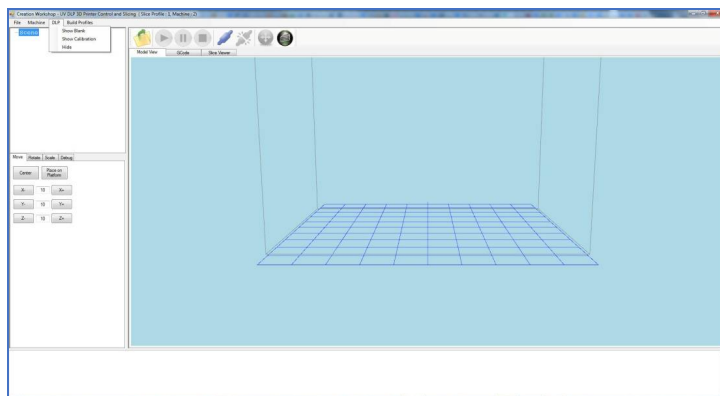


Рис. 6. Выбор пункта меню DLP

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.

НАСТРОЙКА ТОЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ ПЕЧАТИ

Для настройки точной геометрии печати требуется произвести следующие действия (рис7):

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

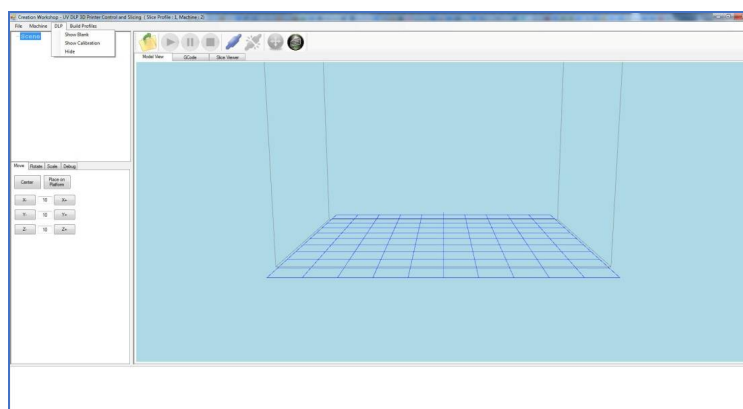


Рис. 7. Выбор пункта меню DLP

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 (рис8).



Рис. 8. Калибровочная сетка

Измерьте расстояния между отметками.

Выберите пункт Properties. Откроется окно настройки Machine Configuration (рис.9).

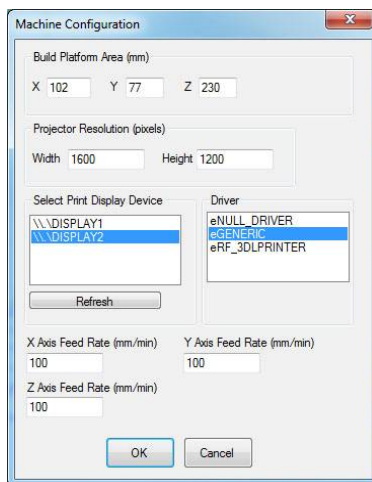


Рис. 9. Окно настройки Machine Configuration

В поле Build Platform Area впишите измеренные значения в миллиметрах.

Выберите пункт Load Model.
Загрузите выбранный файл (рис. 10).

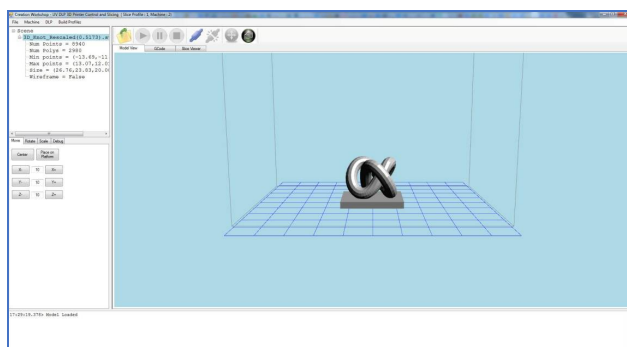


Рис. 10. Загруженная в программу 3D модель

Нажмите кнопку Slice на панели программы (рис.11).

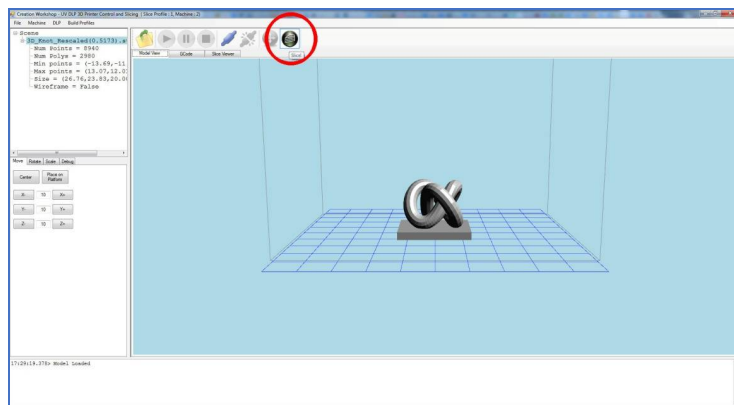


Рис. 11. Вызов окна настроек системы

Будет вызвано окно настройки Slice (рис.12).

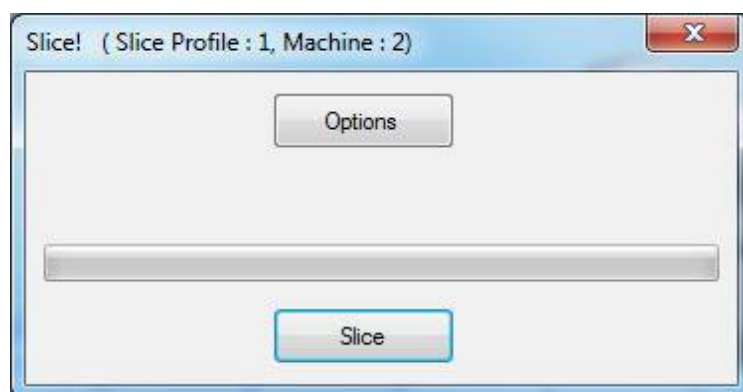


Рис. 12. Опции программы

Нажмите кнопку Options. Будет вызвано окно настройки Slicing and Building Profile Options (рис13).

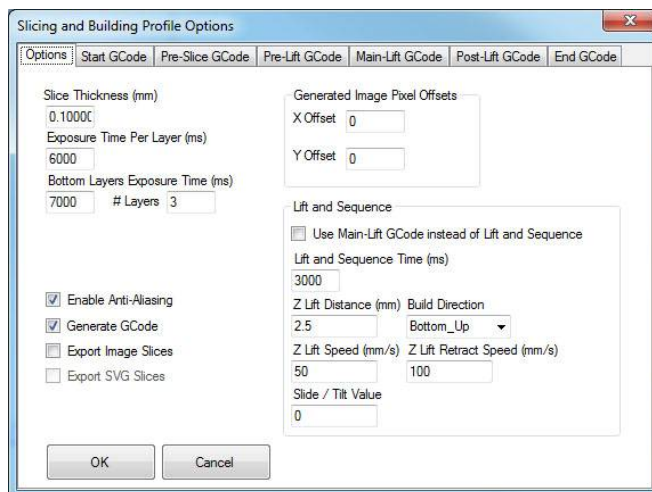


Рис. 13. Окно настройки 3D печати

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.14).

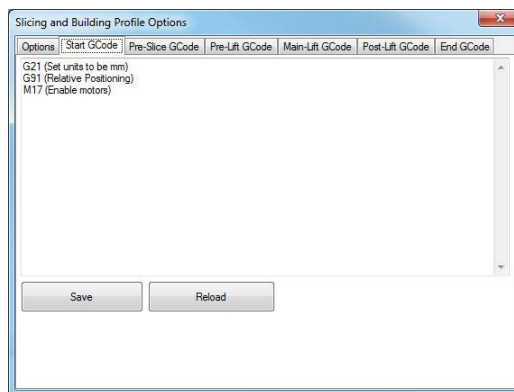


Рис. 14. Окно настройки управляющей программы

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.15)

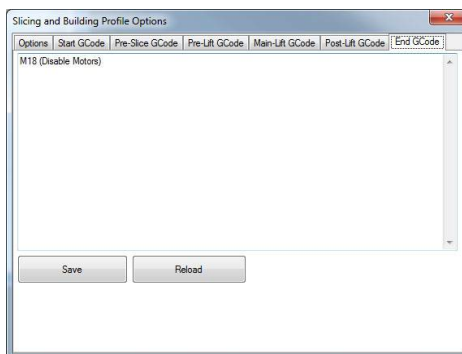


Рис. 15. Окно настройки окончания управляющей программы

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 (рис16).

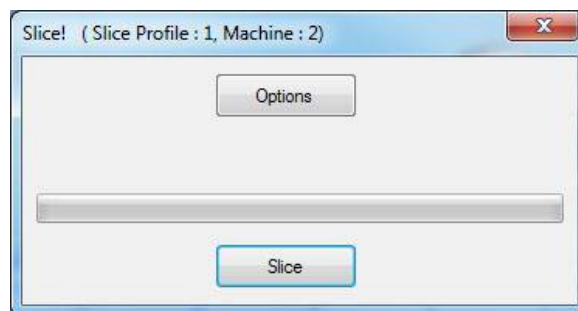


Рис. 16. Завершение настройки системы

Нажмите кнопку Slice.

Дождитесь завершения процесса создания сечений.

Время построения модели можно оценить по записи Slicing Completed Estimated Build Time: ЧЧ:ММ:СС (рис. 17).

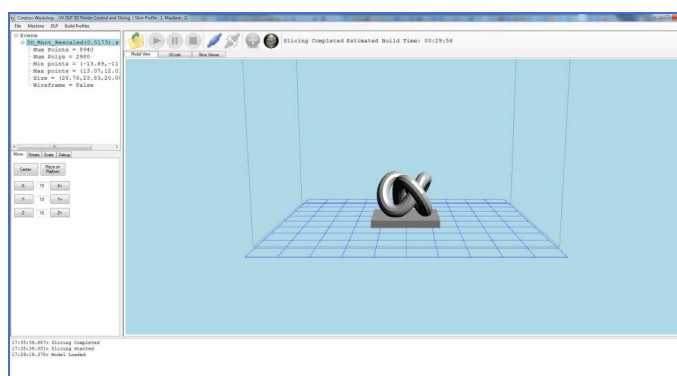


Рис. 17. Моделирование процесса печати модели

Практическая работа № 4

Тема: Создание управляющей программы

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.

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 «заблудиться 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. 18)

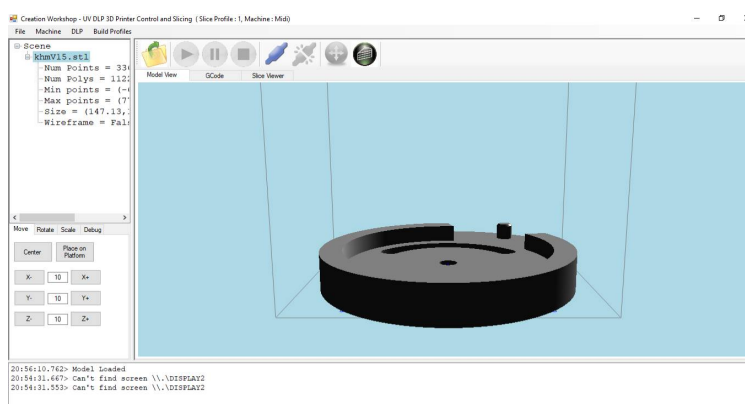


Рис. 18. 3D модель в окне программы

2. Настройка параметров печати (рис. 19)

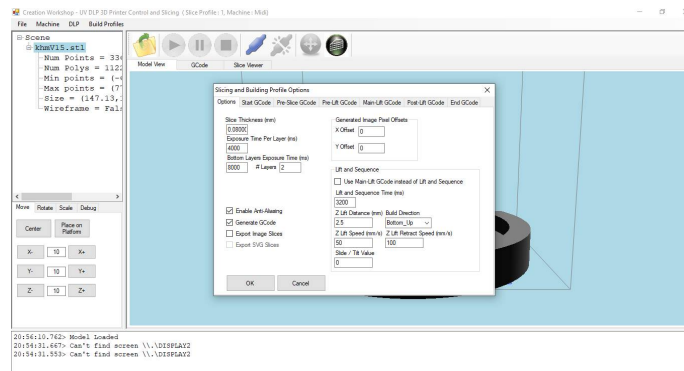


Рис. 19. Окно настройки параметров печати

3. Генерирование программы и послойная проверка операций печати (рис. 20-21)

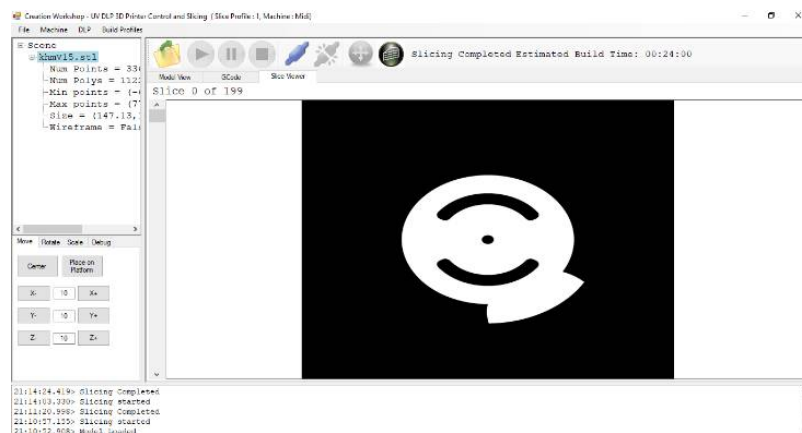


Рис. 20. Моделирование технологического процесса

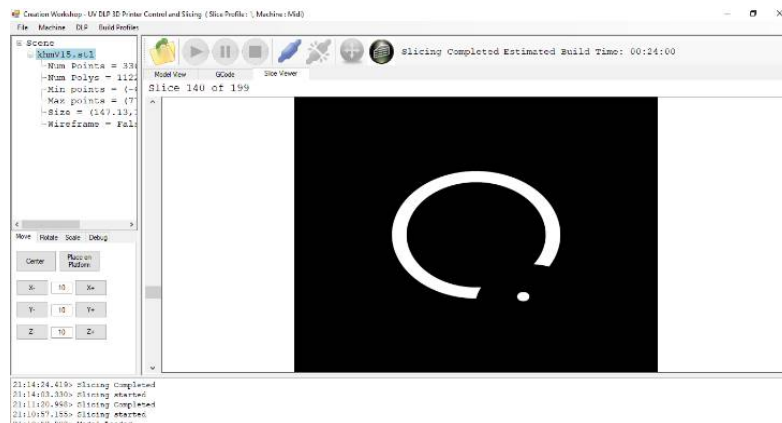


Рис. 21. Послойная проверка качества печати

Просмотреть G-код можно в закладке GCode (рис.22).

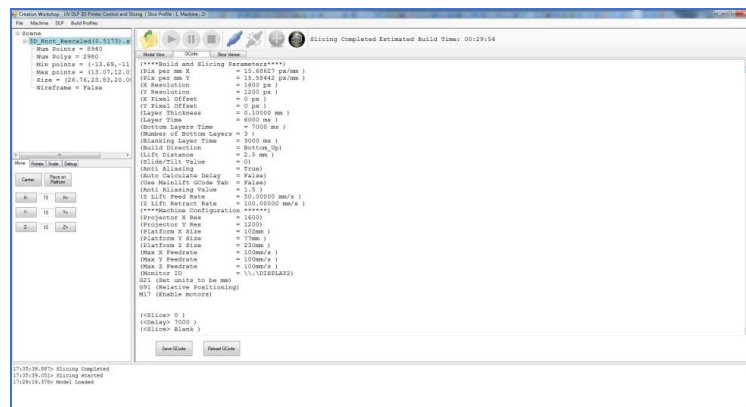


Рис. 22. Управляющая программа в G-кодах

Чтобы просмотреть изображения слоев перейдите на закладку Slice Viewer (рис.23).

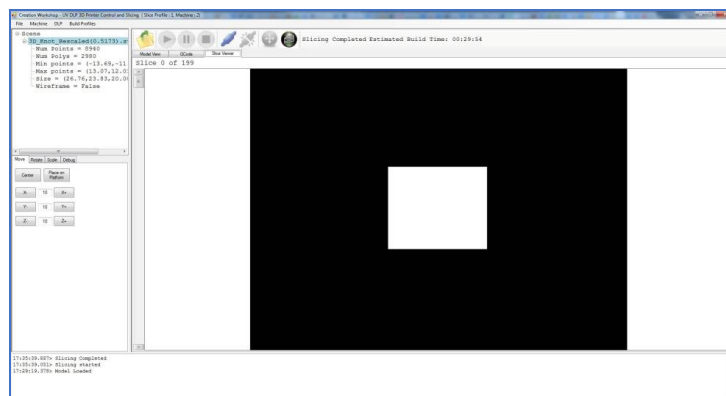


Рис. 23. Послойная визуализация изготовления детали

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

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. Нилов В.А. Детали машин и основы конструирования: расчетно-графический практикум: учеб. пособие / В.А. Нилов, Р.А. Жилин, О.К. Битюцких, А.В. Демидов. Старый Оскол. Издательств: ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2019, 136 с.
6. Демидов А.В. Основы конструирования деталей машин: учеб. пособие [Текст] / А.В. Демидов. – Воронеж: ГОУВПО «ВГТУ», 2008. – 183 с.

Оглавление

Введение	3
Практическая работа №1	3
Практическая работа №3	6
Практическая работа №4	13
Библиографический список	188

ПРОТОТИПИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

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

Составитель

Демидов Алексей Владимирович

В авторской редакции

Компьютерный набор А. В. Демидова

Подписано к изданию 14.12.2021.

Уч.-изд. л. 1,2.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14