

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

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

Кафедра автоматизированного оборудования  
машиностроительного производства

## **ОСНОВЫ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ**

*МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к выполнению лабораторных и практических работ  
для студентов направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое  
обеспечение машиностроительных производств»  
(профиль «Металлообрабатывающие станки и комплексы»)  
всех форм обучения*

Воронеж 2021

УДК 621.833.1 (07)

ББК 34.42я7

**Составитель:**

*канд. техн. наук А. В. Демидов*

**Основы прототипирования:** методические указания к выполнению лабораторных и практических работ для студентов направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (профиль «Металлообрабатывающие станки и комплексы») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: А. В. Демидов. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 28 с.

Методические указания содержат основы проектирования 3D моделей, алгоритмы технологического процесса быстрого прототипирования.

Предназначены для студентов 3-го курса, обучающихся по направлению 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (профиль «Металлообрабатывающие станки и комплексы») всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ ОП ЛПР.2021.pdf.

Ил. 30. Табл. 1. Библиогр. 5 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

В процессе разработки и создании новой высокотехнологичной продукции особое внимание уделяется скорости прохождения этапов НИОКР, от момента проектирования цифровой модели до этапа получения готового образца.

При создании нового образца, детали, макета особенно на стадии опытно-конструкторских работ в экспериментальном производстве, для которого характерны вариантные исследования, необходимость частых изменений конструкции образца и, как следствие, постоянной коррекции технологической оснастки для изготовления опытных образцов, проблема быстрого изготовления физических объектов деталей становится ключевой.

Поэтому технология 3D печати является наиболее актуальной для быстрого макетирования деталей машиностроения.

Термин «прототипирование» означает технологию быстрого создания прототипа проектируемого изделия.

Технологии быстрого прототипирования 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.

### Лабораторная работа №1

#### Тема: «3D принтер»

**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 3D печати похож со своим собратом, изготавливающим любые изображения в формате 2D. Основным отличием считается способность продвинутого принтера печатать объемные элементы. Так, к привычным 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 – нагревает и выдавливает вязкий пластик;
- Платформа – основа, на которой проходит процесс;
- Мотор – двигает необходимые элементы принтера;
- Фиксаторы – это специальные датчики, стопорящие подвижные части принтера во время работы, которые не позволяют выйти за границы платформы;
- Рама;

– Картезианский робот – устройство, способное двигаться по 3-м осям.

Зная устройство машины, становится понятен принцип работы 3D принтера. Конечно, это основные рабочие узлы, принимающие непосредственное участие в создании трехмерных конструкций. Наглядное устройство принтера показано на рисунке 1.1.

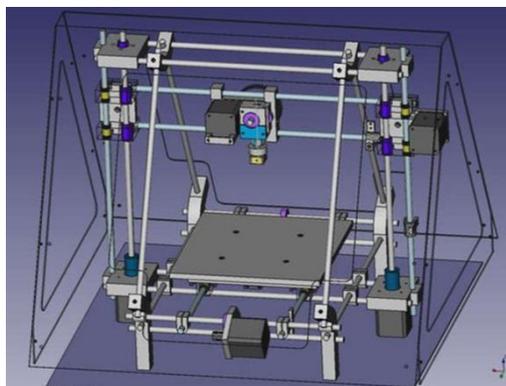


Рис. 1.1. Конструкция 3D принтера

Основные процессы регулируются с помощью ПК:

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

Базовой системой 3D 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 3D 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.

## **Лабораторная 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.

Таблица 1

Материалы для 3D печати

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.

### **Лабораторная 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:

- 1) Метод постепенного наложения пластика;
- 2) Стереолитографическое моделирование;
- 3) Лазерное спекание.

#### ***Метод послойного наплавления термопласта***

Большинство 3D 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.

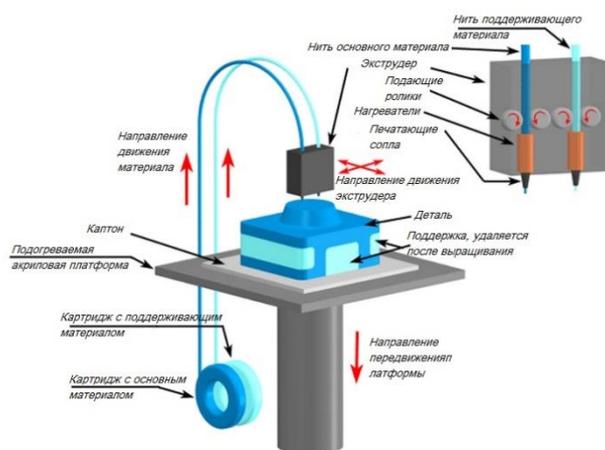


Рис. 3.1. Схема работы 3D принтера

## *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. Минусом 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 САД-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 (1600 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.

## Лабораторная 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 3D принтере необходимо минимизировать длину прямых отрезков на криволинейной поверхности, чтобы деталь получилась наиболее точной. Примером этого может служить настройка качества отображения в программе.

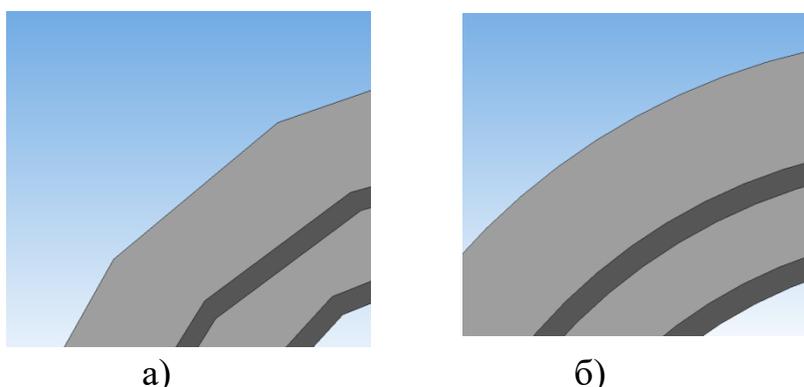


Рис. 4.1. Пример качества 3D модели в CAD системе:  
а – до минимального качества модели, б – улучшенной качество модели

Для достижения лучшего качества изготавливаемой детали при программировании управляющей программы для 3D 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.

**Лабораторная 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 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.

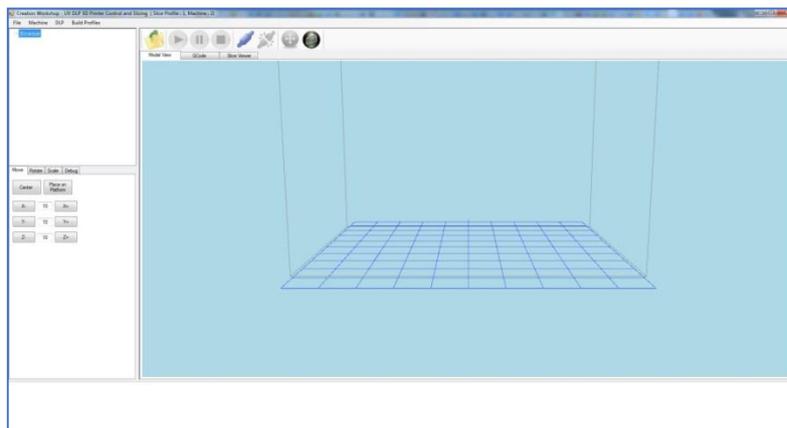


Рис. 5.1. Рабочее окно программы Creation Workshop

Выберите пункт меню Machine.

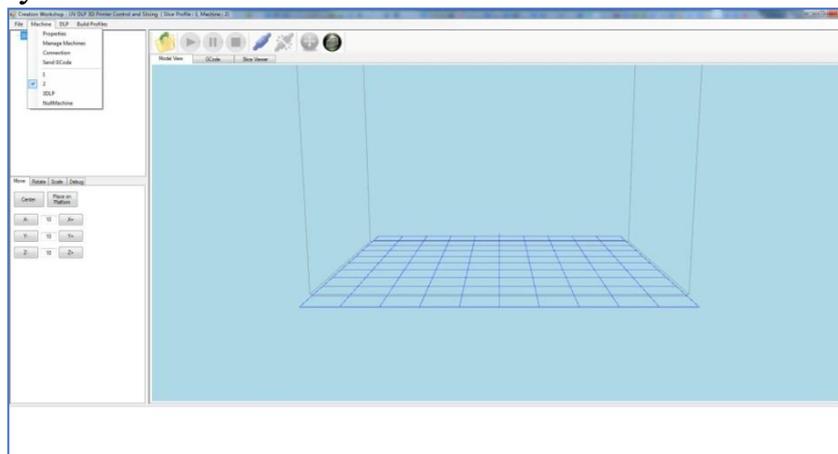


Рис. 5.2. Выбор пункта меню Machine

Создайте уникальное имя вашего принтера.

Manage Machines → Create New.

В меню Machine выберите ваш принтер.

Выберите пункт Properties. Откроется окно настройки Machine Configuration.

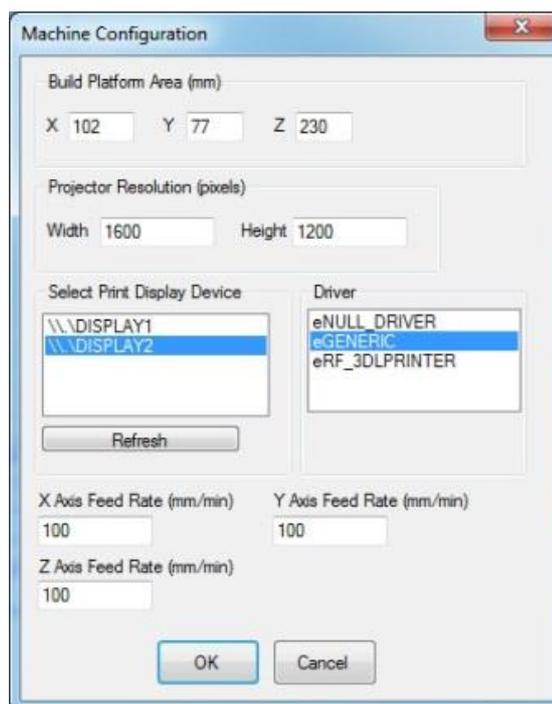


Рис. 5.3. Окно настройки Machine Configuration

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.

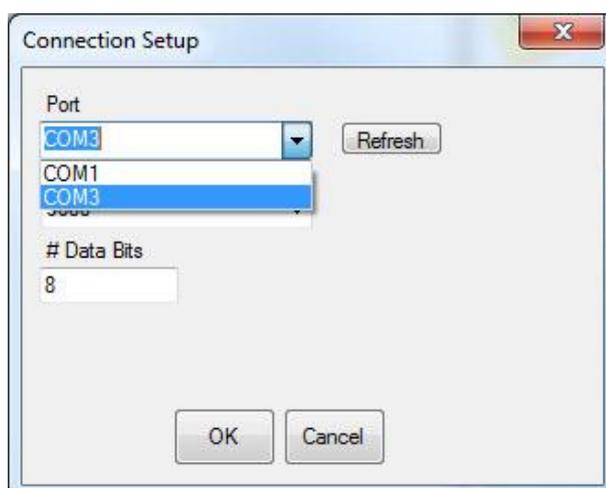


Рис. 5.4. Окно настройки Connection Setup

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.

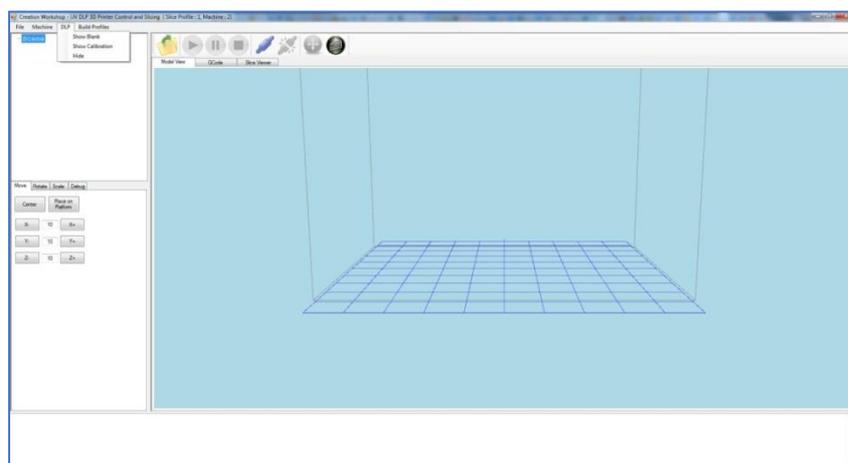


Рис. 5.5. Выбор пункта меню DLP

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.

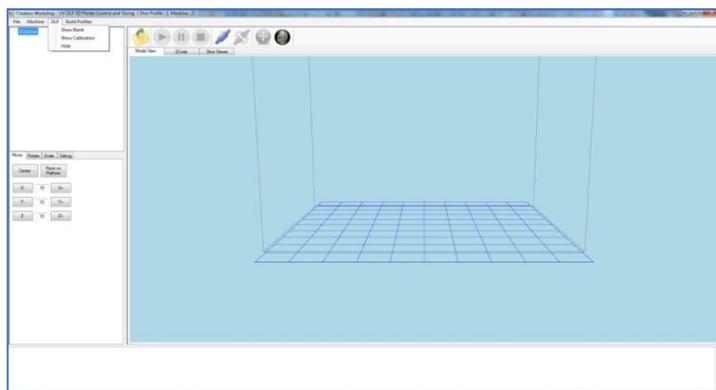
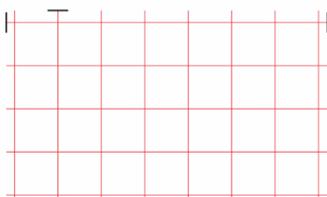


Рис. 5.6. Выбор пункта меню DLP

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.

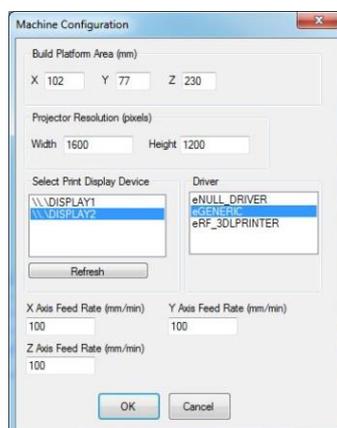


Рис. 5.7. Окно настройки Machine Configuration

В поле Build Platform Area впишите измеренные значения в миллиметрах.  
Выберите пункт Load Model.  
Загрузите выбранный файл.

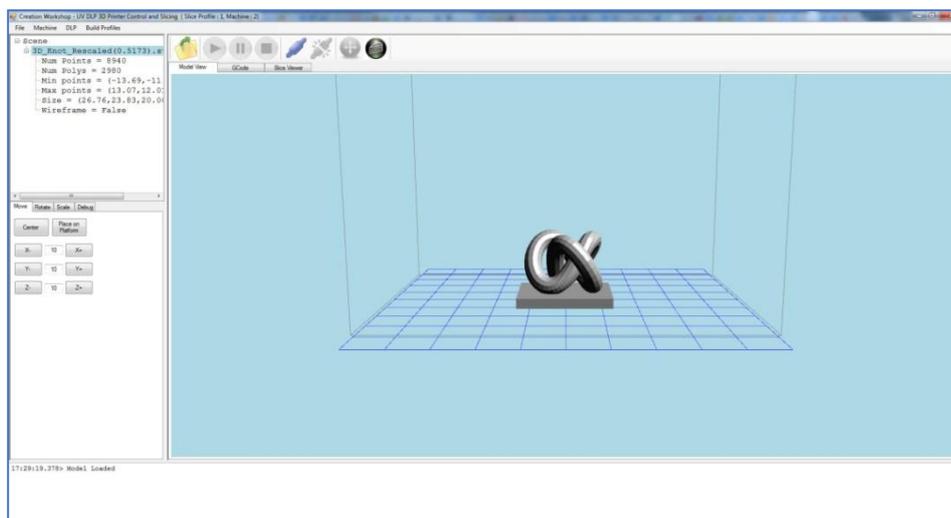


Рис. 5.8. Загруженная в программу 3D модель

Нажмите кнопку Slice на панели программы.

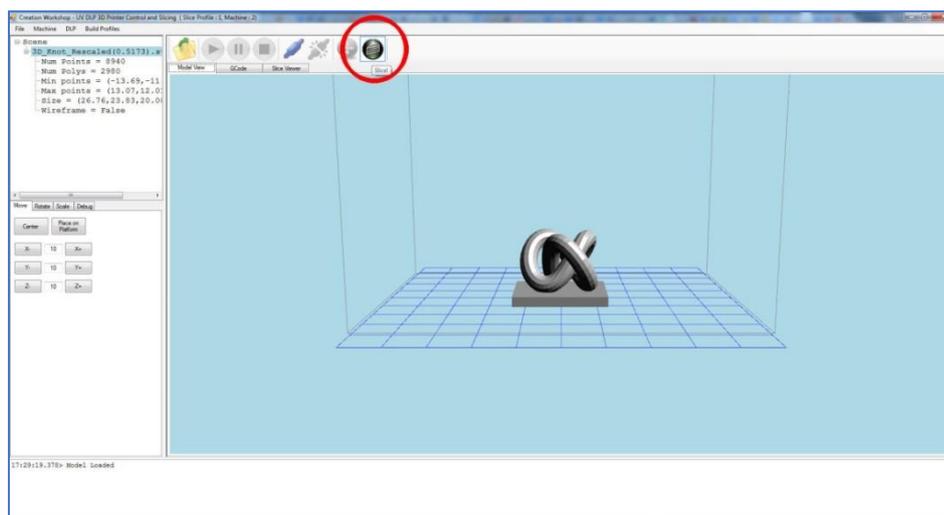


Рис. 5.9. Вызов окна настроек системы

Будет вызвано окно настройки Slice.

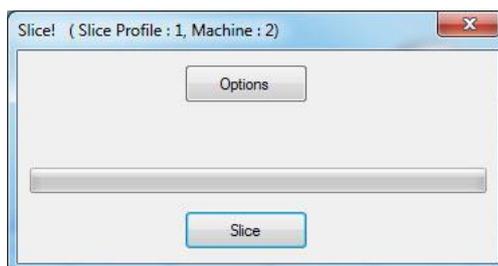


Рис. 5.10. Опции программы

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

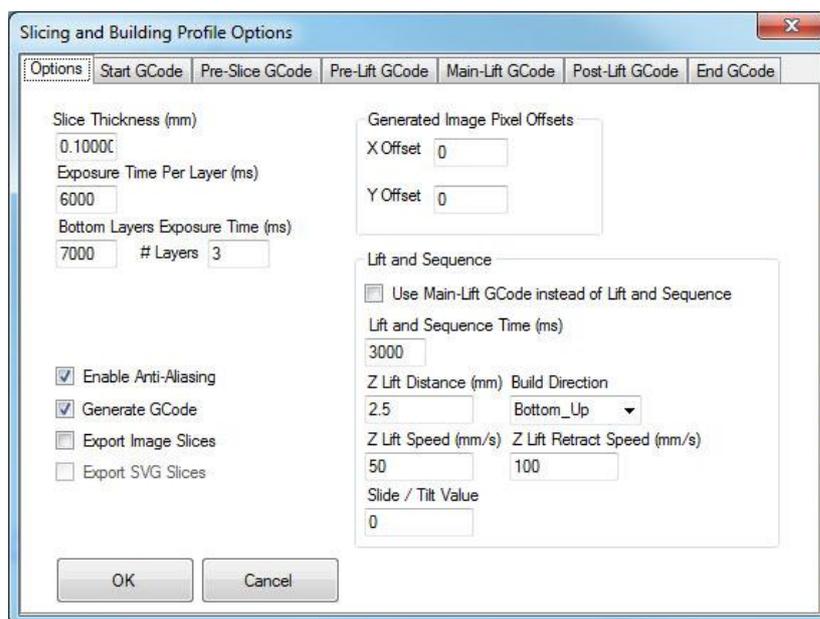


Рис. 5.11. Окно настройки 3D печати

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.

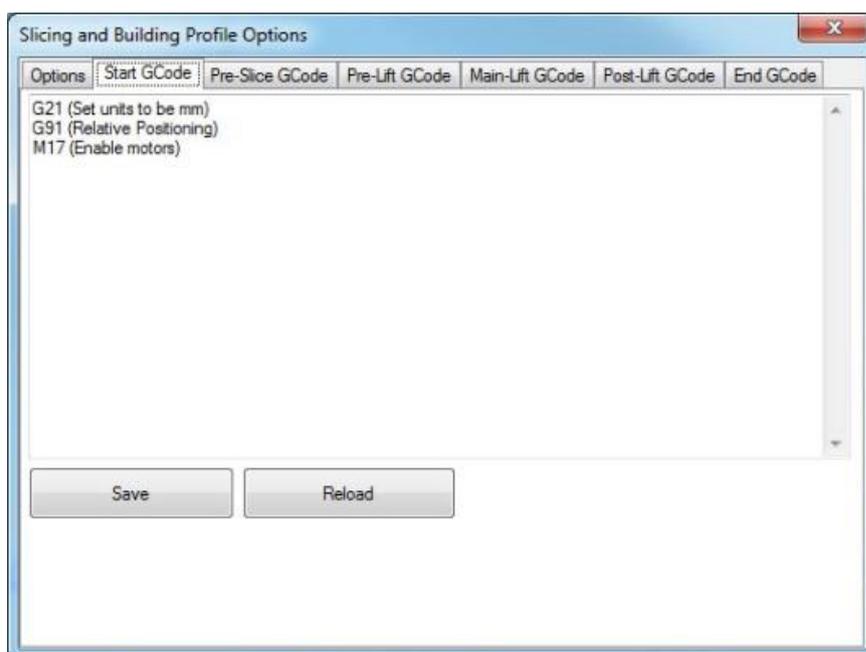


Рис. 5.12. Окно настройки управляющей программы

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.

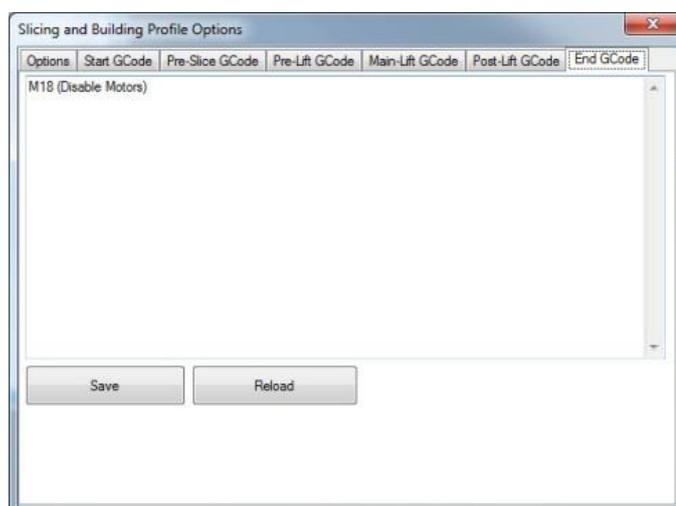


Рис. 5.13. Окно настройки окончания управляющей программы

Сотрите все, кроме указанных на рисунке строк. Нажмите кнопку Save.  
Перейдите в закладку Options.  
Закройте окно настройки Slicing and Building Profile Options нажатием кнопки ОК.

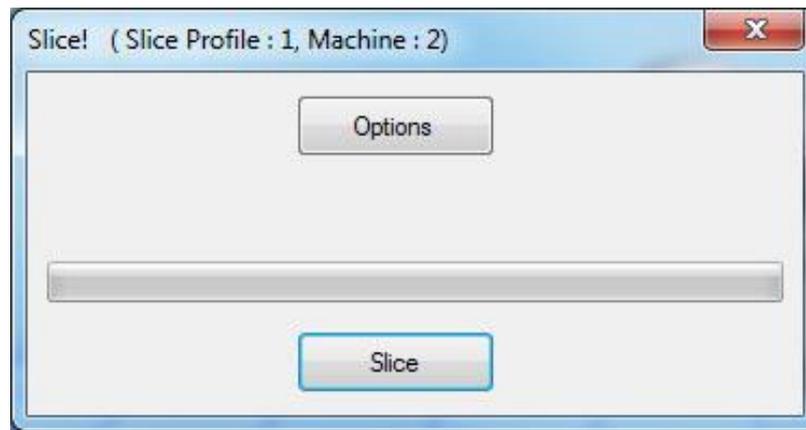


Рис. 5.14. Завершение настройки системы

Нажмите кнопку Slice.

Дождитесь завершения процесса создания сечений.

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

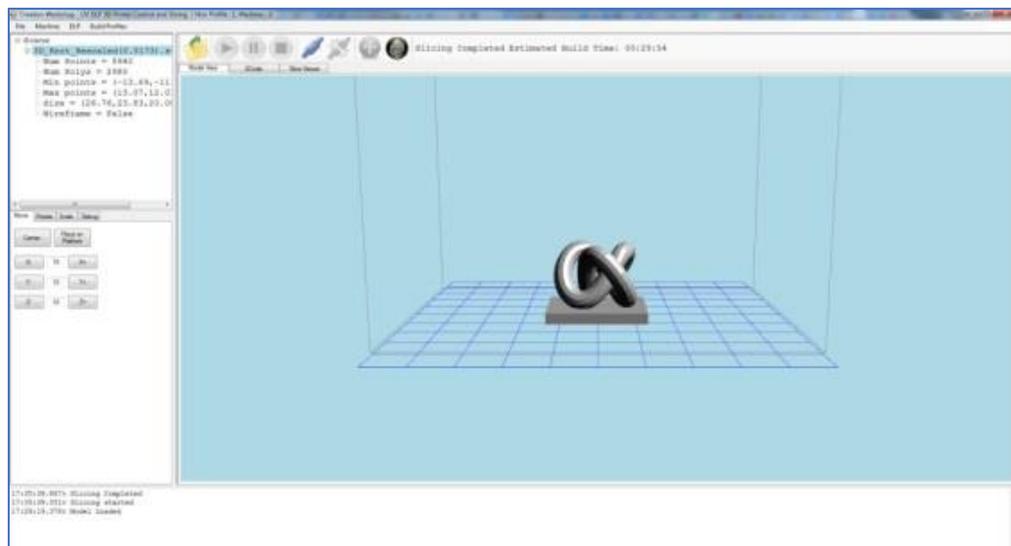


Рис. 5.15. Моделирование процесса печати модели

Просмотреть G-код можно в закладке GCode.

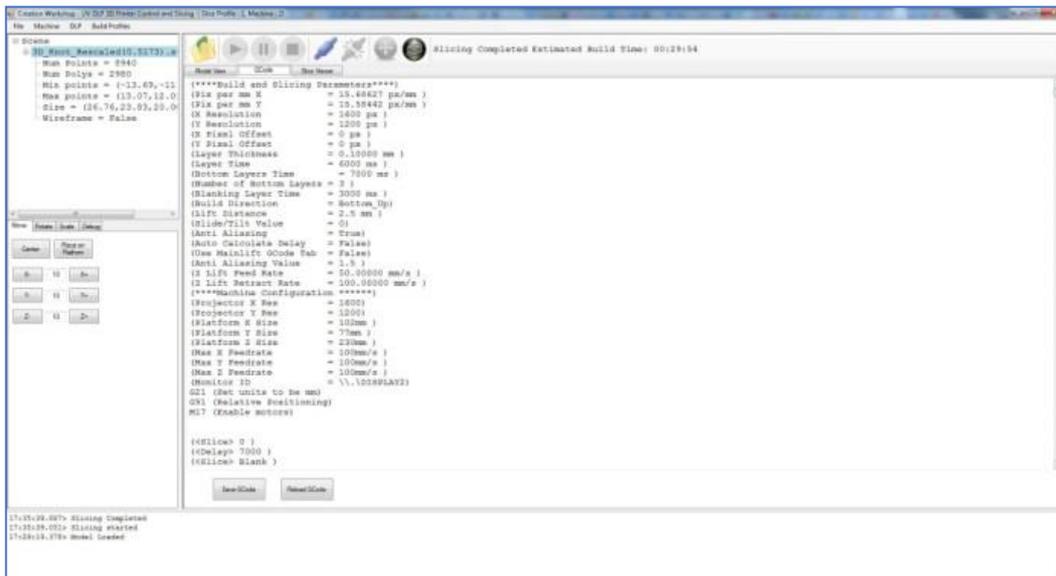


Рис. 5.16. Управляющая программа в G-кодах

Чтобы просмотреть изображения слоев перейдите на закладку Slice Viewer.

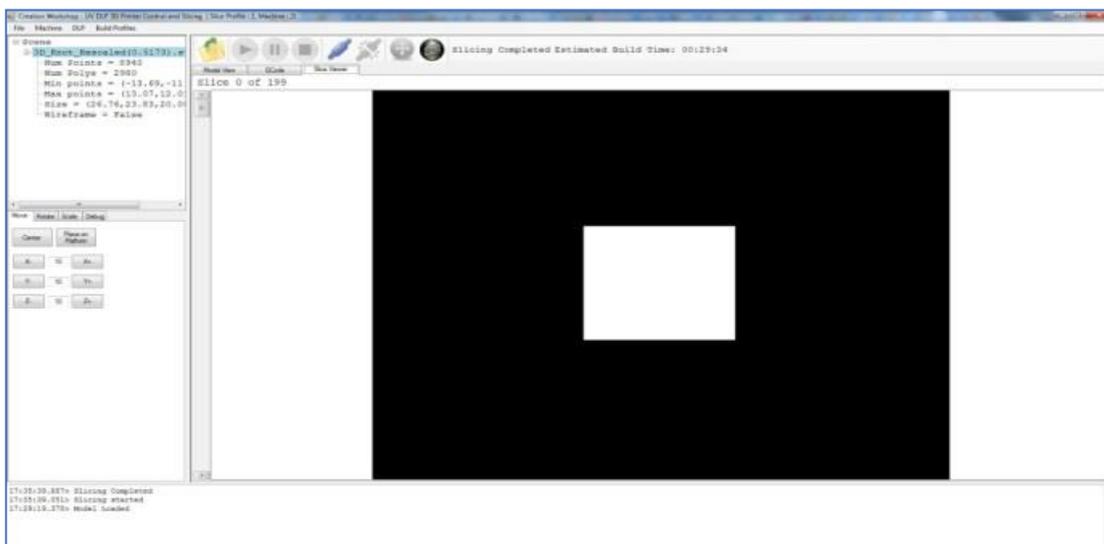


Рис. 5.17. Послойная визуализация изготовления детали

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

## Лабораторная 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 «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 «продвинутости» 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 позволят 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

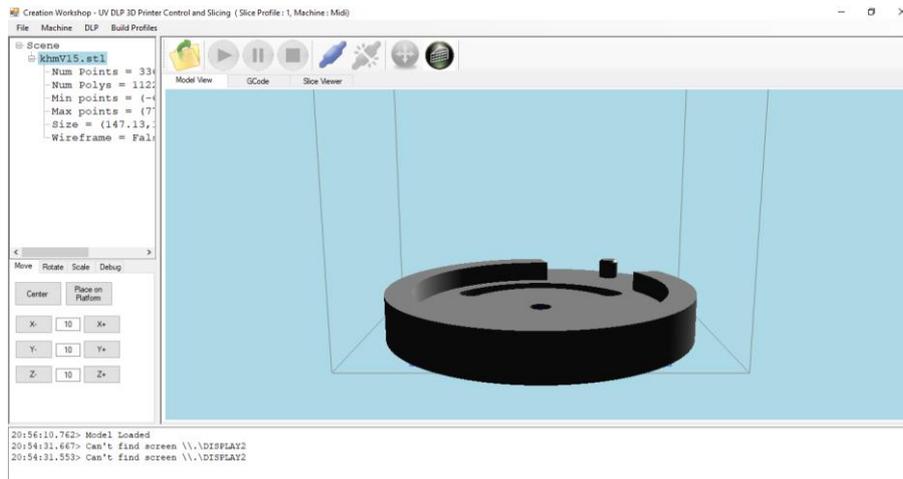


Рис. 6.1 3D модель в окне программы

## 2. Настройка параметров печати

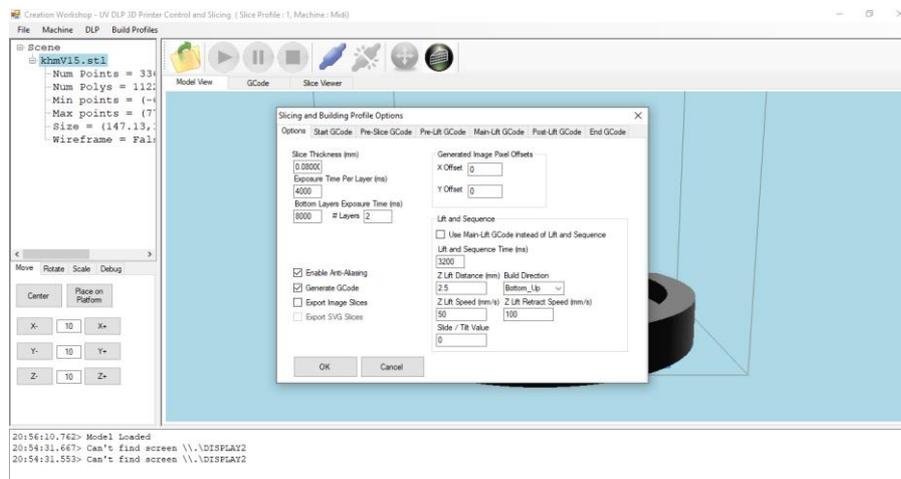


Рис. 6.2 Окно настройки параметров печати

## 3. Генерирование программы и послонная проверка операций печати

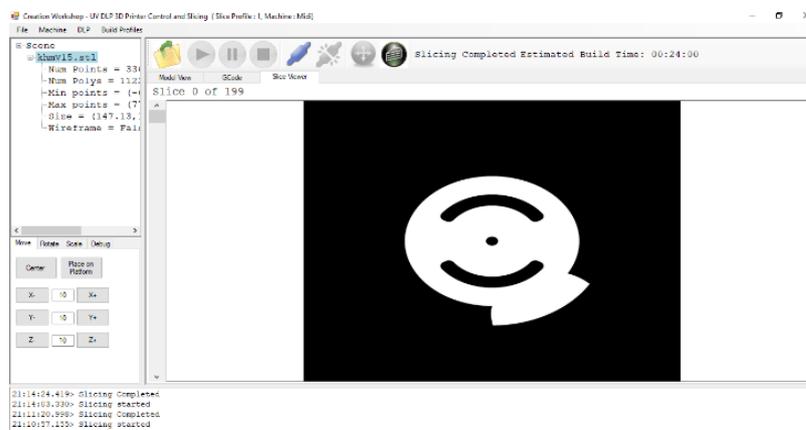


Рис. 6.3 Моделирование технологического процесса

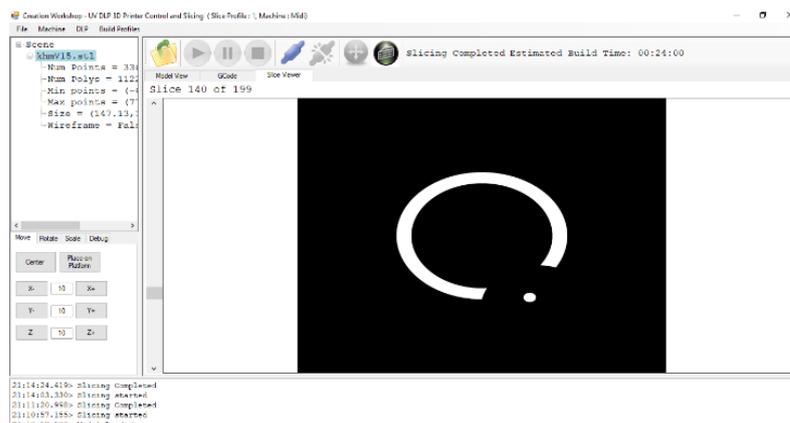


Рис. 6.4. Послойная проверка качества печати

## Практическая работа №1 Построение трехмерной модели опоры методом сечений

Команда Операция по сечениям позволяет создать основание детали, указав несколько его сечений, изображенных в разных эскизах. Если необходимо, можно указать направляющую - контур, задающий направление построения элемента по сечениям. Команда, доступна, если в детали существует хотя бы два эскиза.

Требования к эскизам элемента по сечениям следующие:

- Эскизы могут быть расположены в произвольно ориентированных плоскостях;
- Эскиз начального (конечного) сечения может содержать контур или точку;
- Эскиз промежуточного сечения может содержать только контур;
- Контур в эскизе может быть только один;
- Контур в эскизах должны быть или все замкнуты, или все разомкнуты.

Требования к эскизу осевой линии следующие:

- В эскизе может быть только один контур;
- Контур может быть разомкнутым или замкнутым;
- Контур должен пересекать плоскости всех эскизов;
- Эскиз должен лежать в плоскости, не параллельной плоскостям эскизов сечений.

Например, если создать два эскиза: окружности, расположенные на параллельных плоскостях и выполнить операцию по сечениям в результате образуется цилиндр.

### Порядок выполнения практической работы №1:

1. Запустить программу Компас 3D.
2. Выбрать создание детали (Файл-Создать-Деталь).
3. Выбрать в дереве модели плоскость x-y.
4. Включить режим эскиз (кнопка панели управления).
5. На геометрической панели построения выбрать ввод окружности.
6. Ввести параметры: координаты центра - 0,0; диаметр окружности - 25 мм. Нажать кнопку Создать.

7. Закончить редактирование эскиза (повторно нажать на кнопку «эскиз»).
8. Выбрать в дереве модели плоскость x-y.
9. Выбрать команду в вкладке Вспомогательная геометрия Смещенная плоскость. Установить следующие параметры: направление смещения – прямое; расстояние – 30 мм. Нажать кнопку Создать объект.
10. Выбрать в дереве модели Смещенную плоскость 1 и включить режим эскиз.
11. На геометрической панели построения выбрать ввод окружность.
12. Ввести параметры: координаты центра - 0,0; диаметр окружности -60 мм. Нажать кнопку Создать.
13. Закончить редактирование эскиза (повторно нажать на кнопку «эскиз»).
14. Выбрать в дереве модели плоскость x-y
15. Выбрать команду в вкладке **Вспомогательная геометрия Смещенная плоскость**. Установить следующие параметры: направление смещения – прямое; расстояние – 70 мм. Нажать кнопку **Создать объект**.
16. Выбрать в дереве модели Смещенную плоскость 2 и включить режим эскиз.
17. На геометрической панели построения выбрать ввод окружность.
18. Ввести параметры: координаты центра - 0,0; диаметр окружности – 35 мм. Нажать кнопку **Создать**.
19. Закончить редактирование эскиза (повторно нажать на кнопку «эскиз»).

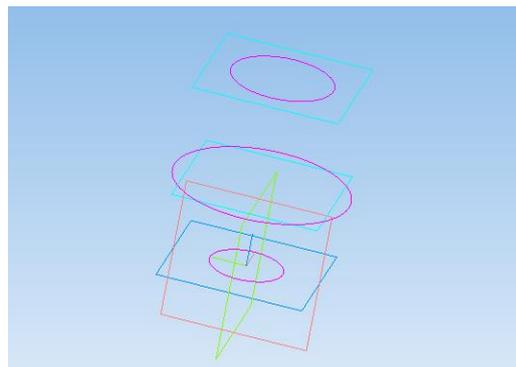


Рис. 7.1 Создание «эскиза» модели

20. На панели редактирования детали выбрать **Операция по сечениям**.
21. Система перейдет в режим выполнения **Операция по сечениям**. На вкладке параметры **Операция по сечениям** последовательно из списка дерево модели указать **Список сечений** для построения (последовательно левой кнопки мыши щёлкнуть по **Эскиз1**, **Эскиз2**, **Эскиз3**). На панели свойств по вкладке **Тонкая стенка** установить толщину 2 мм, тип построения - наружу. Нажать кнопку **Создать объект**.

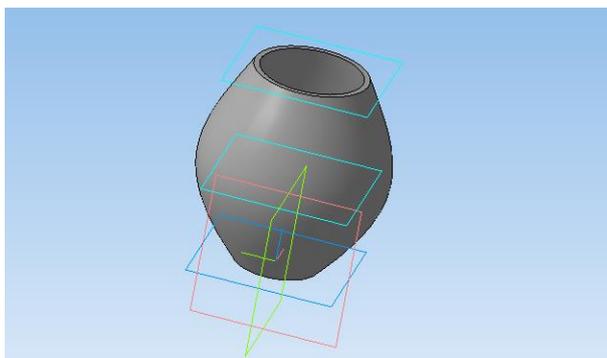


Рис. 7.2 Модель «Вазы» построенная по сечениям

## Практическая работа №2 Построение трехмерной модели колонны

Сечения - изображение фигуры, получающейся при мысленном рассечении предмета одной или несколькими плоскостями. На сечении показывается только то, что получается непосредственно в секущей плоскости.

### Порядок выполнения задания №2:

1. Запустить программу Компас 3D.
2. Выбрать создание детали (**Файл-Создать-Деталь**).
3. Выбрать в дереве модели плоскость **x-y**.
4. Включить режим эскиз (кнопка панели управления).
5. На геометрической панели построения выбрать ввод многоугольников.
6. Ввести параметры: количество вершин 6; координаты центра - 0,0; диаметр окружности - 45 мм; угол - 0°. Нажать кнопку **Создать**.
7. Закончить редактирование эскиза (повторно нажать на кнопку «эскиз»).
8. На панели редактирования детали выбрать **Операция выдавливания**.
9. В окне **Параметры** на вкладке **Операция выдавливания** установить параметры: прямое направления; расстояние 10 мм; тонкая стенка – нет.
10. Выбрать верхнюю грань призмы.
11. Выбрать команду в вкладке **Вспомогательная геометрия Смещенная плоскость**. Установить следующие параметры: направление смещения – прямое; расстояние – 0 мм. Нажать кнопку **Создать объект**.
12. Выбрать в дереве модели Смещенную плоскость 1 и включить режим эскиз.
13. На геометрической панели построения выбрать ввод окружность.
14. Ввести параметры: координаты центра - 0,0; диаметр окружности -30 мм. Нажать кнопку **Создать**.
15. Закончить редактирование эскиза (повторно нажать на кнопку «эскиз»).
16. Выбрать в дереве модели верхнюю грань призмы.
17. Выбрать команду в вкладке **Вспомогательная геометрия Смещенная плоскость**. Установить следующие параметры: направление смещения – прямое; расстояние – 50 мм. Нажать кнопку **Создать объект**.

18. Выбрать в дереве модели Смещенную плоскость 2 и включить режим эскиз.
19. На геометрической панели построения выбрать ввод окружность.
20. Ввести параметры: координаты центра - 0,0; диаметр окружности -16 мм. Нажать кнопку **Создать**.
21. Закончить редактирование эскиза (повторно нажать на кнопку «эскиз»).
22. Выбрать в дереве модели верхнюю грань призмы.
23. Выбрать команду в вкладке **Вспомогательная геометрия Смещенная плоскость**. Установить следующие параметры: направление смещения – прямое; расстояние – 100 мм. Нажать кнопку **Создать объект**.
24. Выбрать в дереве модели Смещенную плоскость 3 и включить режим эскиз.
25. На геометрической панели построения выбрать ввод окружность.
26. Ввести параметры: координаты центра - 0,0; диаметр окружности -30 мм. Нажать кнопку **Создать**.
27. Закончить редактирование эскиза (повторно нажать на кнопку «эскиз»).
28. На панели редактирования детали выбрать **Операция по сечениям**.
29. Система перейдет в режим выполнения **Операция по сечениям**. На вкладке параметры **Операция по сечениям** последовательно из списка дерево модели указать **Список сечений** для построения (последовательно левой кнопки мыши щёлкнуть по **Эскиз2**, **Эскиз3**, **Эскиз4**). На панели свойств по вкладке **Тонкая стенка** – нет. Нажать кнопку **Создать объект**.
30. На экране программы должно появиться изображение модели колонны.

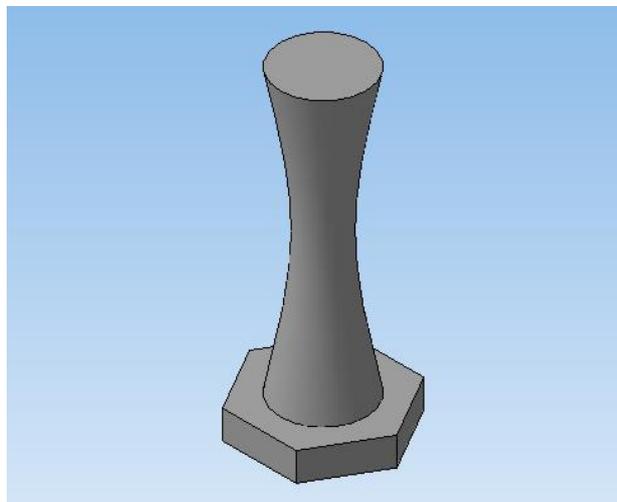


Рис. 7.3. Модель «Колонны» построенная по сечениям

### Практическая работа №3 Построение трехмерной модели крыльчатки

*Массив по концентрической сетке*—позволяет создать массив компонентов сборки, расположив их в узлах концентрической сетки.

### Порядок выполнения практической работы №3:

1. Запустить программу Компас 3D.
2. Выбрать создание детали (**Файл-Создать-Деталь**).
3. Выбрать в дереве модели плоскость **x-y**.
4. Включить режим эскиз (кнопка панели управления).
5. На геометрической панели построения выбрать ввод окружности.
6. Ввести параметры: координаты центра - 0,0; диаметр окружности - 25 мм. Нажать кнопку **Создать**.
7. Закончить редактирование эскиза (повторно нажать на кнопку «эскиз»).
8. На панели редактирования детали выбрать **Операция выдавливания**.
9. В окне **Параметры** на вкладке **Операция выдавливания** установить параметры: прямое направления; расстояние 20 мм; тонкая стенка – нет. Нажать кнопку **Создать**.
10. На панели редактирования детали выбрать **Операция скругление**.
11. Указать верхнее ребро диска и установить параметр Радиус – 5 мм. Нажать кнопку **Создать**.

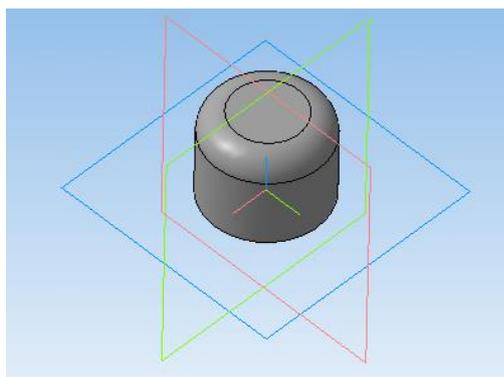


Рис. 7.4. Построение модели «Крыльчатки»

13. Выбрать в дереве модели плоскость **z-x**.
14. Включить режим эскиз (кнопка панели управления).
15. На геометрической панели построения выбрать ввод дуги по 3 точкам.
16. Ввести параметры: координаты точек  $t_1 - -4.5, -3$ ;  $t_2 - -0.67, -8.7$ ;  $t_3 - 4.5 -$ .
12. Нажать кнопку **Создать**. *(Для упрощения ввода дуги можно воспользоваться вспомогательными прямыми).*
17. Закончить редактирование эскиза (повторно нажать на кнопку «эскиз»).
19. В дереве модели выбрать Эскиз2.
20. На панели редактирования детали выбрать **Операция выдавливания**.
21. В окне **Параметры** на вкладке **Операция выдавливания** установить параметры: прямое направления; расстояние 60 мм; тонкая стенка – 1 мм наружу. Нажать кнопку **Создать**.
22. На панели редактирования детали выбрать **Массив по концентрической сетке**.

23. Установить следующие параметры команды: ось – выбрать в панели дерева модели ось  $z$ ; количество по кольцевому направлению – 10; в выборе объектов – список объектов – операция выдавливания 2. Нажать кнопку **Создать**.

24. На экране программы должно появиться изображение модели крыльчатки.

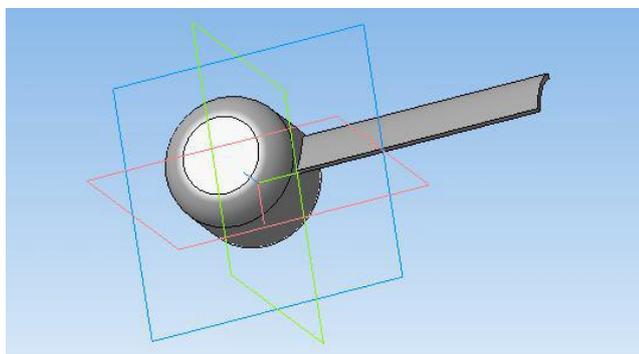


Рис. 7.5 Построение лопастей модели детали «Крыльчатка»

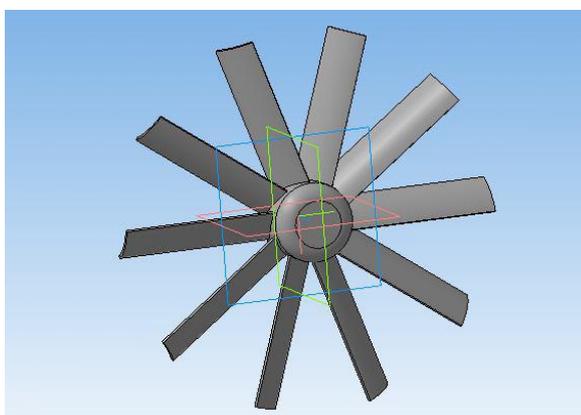


Рис. 7.6. Построенная модель детали «Крыльчатка»  
методом копирования объектов

## 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
Лабораторная работа № 1. 3D-принтер.....	3
Лабораторная работа № 2. Выбор материалов для объемной печати.....	4
Лабораторная работа № 3. Технология 3D-печати.....	5
Лабораторная работа № 4. Проектирование моделей в виртуальной среде.....	8
Лабораторная работа № 5. Интерфейс программы «Creation Workshop».....	9
Лабораторная работа № 6. Моделирование изготовления детали.....	17
Практическая работа № 1. Построение трехмерной модели опоры методом сечений..	21
Практическая работа № 2. Построение трехмерной модели колонны.....	23
Практическая работа № 3. Построение трехмерной модели крыльчатки.....	24
Библиографический список.....	27

# **ОСНОВЫ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных и практических работ  
для студентов направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое  
обеспечение машиностроительных производств»  
(профиль «Металлообрабатывающие станки и комплексы»)  
всех форм обучения

**Составитель:**

**Демидов** Алексей Владимирович

Компьютерный набор А. В. Демидова

Подписано к изданию 25.11.2021

Уч.-изд. л. 1,75

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