МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ

Методические рекомендации к лабораторным работам для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения», 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)» очной и заочной форм обучения



Могилев 2020

#### Рекомендовано к изданию учебно-методическим отделом Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «15» октября 2020 г., протокол № 3

#### Составитель канд. техн. наук М. Н. Миронова

Рецензент канд. техн. наук, доц. Д. М. Свирепа

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения», 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)» очной и заочной форм обучения. Изложены методики выполнения лабораторных работ.

Учебно-методическое издание

#### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ

| Ответственный за выпуск | В. М. Шеменков   |
|-------------------------|------------------|
| Корректор               | И. В. Голубцова  |
| Компьютерная верстка    | Н. П. Полевничая |

Подписано в печать . Формат 60х×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. . Уч.-изд. л. . Тираж 76 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/156 от 07.03.2019. Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский университет, 2020

### Содержание

| Инструкция по охране труда при проведении лабораторных         |    |
|--|----|
| работ  | 4  |
| 1 Лабораторная работа № 1. Ознакомление с системой трехмерного |    |
| моделирования SolidWorks. Использование интерфейса             | 6  |
| 2 Лабораторная работа № 2. Создание параметризованных эскизов  | 8  |
| 3 Лабораторная работа № 3. Основные принципы построения        |    |
| трехмерных моделей   | 11 |
| 4 Лабораторная работа № 4. Массивы в системах геометрического  |    |
| моделирования  | 13 |
| 5 Лабораторная работа № 5. Графическое построение профиля      |    |
| зубчатого колеса   | 15 |
| 6 Лабораторная работа № 6. Построение моделей тел вращения     | 19 |
| 7 Лабораторная работа № 7. Редактирование элементов модели     | 21 |
| 8 Лабораторная работа № 8. Построение сборок в системах        |    |
| геометрического моделирования                                  | 23 |
| 9 Лабораторная работа № 9. Расчет напряженно-деформированного  |    |
| состояния вала методом конечных элементов                      | 26 |
| 10 Лабораторная работа № 10. Термический анализ в Solidworks   |    |
| Simulation   | 28 |
| 11 Лабораторная работа № 11. Создание рабочих чертежей деталей |    |
| на основе трехмерных моделей                                   |    |
| 12 Лабораторная работа № 12. Построение сопряжения и анимации  |    |
| движения зубчатого зацепления                                  | 32 |
| 13 Лабораторная работа № 13. Ознакомление с основными          |    |
| возможностями 3D-принтеров                                     | 35 |
| 14 Лабораторная работа № 14. Печать моделей объектов на        |    |
| 3D-принтерах   | 40 |
| 15 Лабораторная работа № 15. Основы работы с 3D-принтером      |    |
| EP-M250  | 42 |
| Список литературы  | 48 |

Инструкция по охране труда при проведении лабораторных работ

#### Общие требования безопасности

1 Для работы на ПЭВМ и 3D-принтере допускаются студенты, прошедшие обучение и проверку знаний по мерам безопасности.

2 Студенты должны соблюдать правила внутреннего распорядка. Не допускается находиться в классах в верхней одежде, в состоянии алкогольного, токсического или наркотического опьянения.

3 При проведении лабораторных работ необходимо соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения.

4 В помещении кабинета и на рабочем месте необходимо поддерживать чистоту и порядок, проводить систематическое проветривание.

5 Обо всех выявленных во время работы неисправностях оборудования необходимо доложить преподавателю.

#### Требования безопасности перед началом работы

1 Внимательно изучить содержание и порядок проведения лабораторной работы, а также безопасные приемы его выполнения.

2 В случае неисправности оборудования немедленно сообщить об этом преподавателю и до ее устранения к работе не приступать (работать на неисправном оборудовании запрещается).

#### Требования безопасности во время работы

1 Студенту при работе на ПЭВМ запрещается:

– прикасаться к задней стенке системного блока при включенном питании;

– загромождать верхние панели устройств ненужными бумагами и посторонними предметами;

– допускать попадания влаги на поверхность системного блока, монитора, рабочую поверхность клавиатуры и другие устройства.

2 Включать и выключать 3D-принтер только выключателями, запрещается проводить отключение вытаскиванием вилки из розетки.

3 Запрещается снимать защитные устройства с оборудования и работать без них, а также трогать нагретый экструдер и столик.

4 Запрещается во время работы 3D-принтера пить рядом какие-либо напитки, принимать пищу.

5 Запрещается оставлять включенное оборудование без присмотра.

6 Запрещается класть предметы на или в 3D-принтер.

1 При работе на ПЭВМ:

– произвести закрытие всех активных задач;

– отключить питание системного блока;

– осмотреть и привести в порядок рабочее место.

2 При работе на 3D-принтере:

– отключить 3D-принтер от электросети (отключить тумблер на задней части, а потом вытащить штепсельную вилку из розетки);

– снять и протереть столик 3D-принтера, остывший до комнатной температуры, чистой влажной тканью либо промыть проточной водой и вытереть насухо, установить столик обратно;

– обрезки пластика и брак убрать в отдельный пакет для переработки;

– тщательно проветрить помещение с 3D-принтером.

3 Предупредить преподавателя обо всех, даже малейших и незначительных неисправностях оборудования.

# 1 Лабораторная работа № 1. Ознакомление с системой трехмерного моделирования SolidWorks. Использование интерфейса

**Цель** работы: ознакомление с системой трехмерного моделирования SolidWorks и изучение принципов построения трехмерных моделей деталей.

#### Методика выполнения лабораторной работы

*1 Создание нового документа*. Новый документ в SolidWorks можно создать несколькими способами:

- нажать кнопку «Создать» на стандартной панели инструментов;

– выбрать в меню пункты «Файл», «Новый».

Откроется окно «Новый документ SolidWorks».

В диалоговом окне «Новый документ SolidWorks» представлены три вида стандартных шаблонов документов: «Деталь», «Сборка» и «Чертеж».

Шаблон представляет собой основу нового документа, которая содержит сведения о формате, свойствах документа, а также параметры пользователя, такие как единицы измерения, примечания, или стандарты по оформлению чертежей.

2 Ознакомление с пользовательским интерфейсом SolidWorks. Основные элементы пользовательского интерфейса SolidWorks представлены на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Пользовательский интерфейс SolidWorks

Графическая область представляет собой пространство, в котором на экране отображается деталь, сборка или чертеж, а также происходит построение и оформление вышеперечисленных объектов.

Дерево конструирования (FeatureManager) расположено в левой части окна SolidWorks и представляет собой набор строк, содержащих полную информацию о трехмерном объекте.

Менеджер конфигураций (ConfigurationManager) предназначен для создания нескольких конфигураций деталей и сборок в документе.

Панели инструментов отображают различные кнопки, активизирующие команды. На панели инструментов «Элементы» сосредоточены все кнопки команд, позволяющие различными способами строить твердотельные модели.

Менеджер команд представляет собой контекстную панель инструментов, которая обновляется автоматически.

Строка состояния расположена в нижнем правом углу окна и предназначена для отображения информации о выполняемой функции.

3 Отображение трехмерных моделей объектов. Возможности SolidWorks при отображении трехмерных моделей обширны. Команды для отображения трехмерных моделей располагаются в меню «Вид» (View), а наиболее часто использованные команды продублированы кнопками на панели инструментов «Вид» (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Панель инструментов «Вид»

Панель инструментов «Стандартные виды» обеспечивает ориентацию модели, сборки или эскиза, используя один из стандартных видов по умолчанию. Открывается при нажатии на треугольник справа от иконки (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Панель инструментов «Стандартные виды»

Задание Построить трехмерную модель, изображенную на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 – Панель инструментов «Стандартные виды»

#### Порядок выполнения задания:

– создать новый документ в SolidWorks, выбрав в меню пункты «Файл», «Новый», шаблон «Деталь», и сохранить созданный документ в своей папке, выбрав в главном меню пункт «Файл», «Сохранить как...»;

– построить трехмерную модель прямоугольного параллелепипеда (основание) с размерами 100 × 200 × 15;

– добавить к построенной модели основания бобышку круглой формы (диаметром 70 мм, высотой 20 мм);

– добавить к построенной модели детали отверстие диаметром 50 мм;

– добавить к построенной модели детали четыре отверстия диаметром 20 мм на расстоянии 20 мм от двух торцев;

– добавить скругления кромок построенной модели детали радиусом 10 мм.

#### Контрольные вопросы

1 Какие задачи решает программный комплекс CAПP SolidWorks?

- 2 Что такое САПР?
- 3 Назовите основные виды панелей инструментов SolidWorks.
- 4 Назовите основные объекты проектирования в SolidWorks.
- 5 Какие инструменты построения эскиза вы знаете?

6 Из каких этапов состоит общая процедура проектирования в SolidWorks?

### 2 Лабораторная работа № 2. Создание параметризованных эскизов

*Цель работы*: приобретение практических навыков в построении плоских эскизов в среде трехмерного моделирования SolidWorks.

#### Теоретические сведения

Для создания трехмерной модели детали необходимо создать двухмерный эскиз. Эскизы в SolidWorks могут находиться в нескольких состояниях:

 подвешен (отображается коричневым цветом) – указывает на нерешенную геометрию эскиза;

– управляем (отображается желтым цветом) – указывает на повторяющийся размер или ненужную взаимосвязь;

– недоопределен (синий цвет) – указывает на объект эскиза, которому необходимо присвоить размер или задать взаимосвязь с другим объектом эскиза;

– определен (черный цвет) – правильно заданы все размеры и взаимосвязи с объектами эскиза;

– не допустимо (желтый цвет) – указывает на недопустимые объекты эскиза, которые создают нерешенный в текущем состоянии эскиз;

– не решено (красный цвет) – указывает на то, что геометрия эскиза не может определить положение одного или нескольких объектов эскиза.

#### Задание

Создать эскиз детали, изображенный на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Эскиз детали

#### Методика выполнения лабораторной работы

1 Построение эскиза. Выбрать в «Дереве конструирования» плоскость «Спереди», открыть панель инструментов «Эскиз». Построить контур эскиза с произвольными размерами, но сохраняя топологию. Выйти из эскиза и сохранить документ в своей папке.

Далее необходимо отредактировать созданный эскиз, чтобы он стал определенным. Для того чтобы войти в режим редактирования эскиза, в «Дереве конструирования» следует нажать правой кнопкой мыши на элемент «Эскиз1» и в появившемся контекстном меню выбрать кнопку «Редактировать эскиз» 😰. Нанести размеры, щелкнув на значке «Автоматическое нанесение размеров» 🖉 на панели «Эскиз».

2 Добавление геометрических взаимосвязей. Чтобы полностью разрешить все геометрические неоднозначности эскиза, необходимо добавить к нему требуемые взаимосвязи. Для этого следует щелкнуть на кнопке «Добавить взаимосвязь» на панели «Эскиз» и выбрать две нижние горизонтальные линии эскиза. Установить флажок «Равенство» (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Добавление взаимосвязей

Снова выбрать те же линии, установить «Коллинеарность», щелкнуть на кнопке «. Добавить геометрическую взаимосвязь «Касательный» между дугой и верхней горизонтальной линией. При необходимости добавить взаимосвязи «Горизонтальность» и «Вертикальность» для соответствующих линий.

3 Преобразование контура эскиза на плоскости.

3.1 Копирование на плоскости. Из основного меню «Инструменты» выбрать строку «Инструменты эскиза» и в ней команду «Копировать». Слева появится диалоговое окно команды. Установить режим «Сохранить взаимосвязи». Выделить рамкой в графической области все элементы эскиза (вместе с размерами) как объект для копирования. В диалоговом окне во вкладке «Параметры» выбрать режим «X/Y» и задать приращения X = 150 мм, Y = 90 мм. Вновь вызвать команду «Копирование», выбрать те же примитивы для копирования и задать режим «От/К». Активизировать поле «Начальная

точка» (цвет поля голубой) и произвольно задать исходную точку для копирования в графической области. Далее переместить курсор, отслеживая перемещения примитива. Проанализировать полученный результат.

3.2 Перенос на плоскости. Из меню «Инструменты» (или на панели «Эскиз») вызвать команды «Инструменты эскиза», «Переместить». Задав параметры, переместить скопированные элементы эскиза вниз на 150 мм.

*3.3 Поворот на плоскости.* Вызвать команды «Инструменты эскиза», «Вращать». Выделить нижний контур и повернуть его на 80° по часовой стрелке. Точку поворота задать произвольно.

3.4 Масштабирование. Вызвать команды «Инструменты эскиза», «Масштаб». Выделить нижний контур, задать коэффициент масштаба равным 2, количество копий – 1, включить режим «Копировать» и задать базовую точку левее контура. Кликнуть правой кнопкой мыши для создания копии в масштабе 2:1. Проанализировать полученный результат.

#### Контрольные вопросы

1 В каких состояниях могут находиться эскизы в SolidWorks?

2 Назовите основные функциональные возможности SolidWorks.

3 Для чего предназначено дерево конструирования в SolidWorks?

4 Назовите основные команды панели инструментов «Эскиз».

5 Назовите основные виды взаимосвязей эскиза.

6 Какие преобразования контура эскиза на плоскости можно осуществить в SolidWorks?

# 3 Лабораторная работа № 3. Основные принципы построения трехмерных моделей

*Цель работы*: приобретение практических навыков в построении трехмерных моделей в среде трехмерного моделирования SolidWorks.

#### Задание

Построить трехмерные модели шайбы, гайки, болта (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Упрощенные модели шайбы, болта, гайки

#### Методика выполнения лабораторной работы

#### 1 Порядок создания модели шайбы:

– в режиме «Эскиз» создать две окружности диаметром 9 и 4,5 мм с привязкой центров окружностей к исходной точке;

– создать трехмерную модель шайбы. Для этого нажать кнопку «Вытянутая бобышка/основание» панели инструментов «Элементы». В диспетчере свойств «Вытянуть» задать: направление – на заданное расстояние; глубина – 0,80 мм.

2 Порядок создания модели гайки.

В режиме «Эскиз» создать окружность диаметром 7,7 мм с привязкой центра окружности к исходной точке.

Нажать кнопку «Вытянутая бобышка/основание» панели инструментов «Элементы», в диспетчере свойств «Вытянуть» задать: направление – на заданное расстояние; глубина – 3 мм.

Снять фаски с граней цилиндра, нажав кнопку «Фаска» панели инструментов «Конструктивные элементы». В диспетчере свойств выбрать параметр «Угол Расстояние» и задать: расстояние – 0,3 мм; угол – 60°; кромки, грани или вершины – указать верхнюю и нижнюю грани цилиндра.

Открыть эскиз и создать многоугольник, центр которого привязан к исходной точке. В диспетчере свойств «Многоугольник» в группе «Параметры» выбрать параметр «Описанная окружность», задать: количество сторон – 6; абсцисса центра – 0; ордината центра – 0; диаметр окружности – 6,9 мм; угол – 330°.

Закрыть эскиз и нажать кнопку «Вытянутый вырез». В диспетчере свойств выбрать параметр «Инвертировать вырез» и задать: изменить направление – через все.

Для создания резьбового отверстия M4 выбрать верхнюю грань шестигранника, нажать кнопку «Отверстие под крепеж» панели инструментов «Конструктивные элементы». В диалоговом окне «Определение отверстия» (рисунок 3.2) выбрать вкладку «Отверстие» и задать: чертежный стандарт – ISO; тип винта – сверление под метчик; размер – M4; тип и глубина отверстия – через все. В диалоговом окне «Размещение отверстия» ввести координаты «Координата X» – 0; «Координата Y» – 0. Появится сквозное отверстие диаметром 3,3 мм. Закрыть эскиз.

Щелкнуть по кромке отверстия и нажать кнопку «Условное обозначение резьбы» панели инструментов «Примечание». В диалоговом окне «Условное обозначение резьбы» задать: применить резьбу – насквозь; основной диаметр – 4 мм. Вокруг отверстия появится условное обозначение резьбы в виде концентрической окружности. Условное обозначение резьбы автоматически переносится на чертеж.

*З Создание модели болта*. Самостоятельно создать модель болта М4 с размерами: диагональ шестигранника головки болта – 7,7 мм; ширина шестигранника головки болта – 6,9 мм; фаска шириной 0,3 мм и углом 60°; толщина головки болта – 3 мм; длина болта – 20 мм.

| 🕞 Спецификация отв                  | ? |  |
|-------------------------------------|---|--|
| ✓ ×                                 |   |  |
| 🕂 Тип 🕆 Расположения                |   |  |
| Часто используемый 🛛 🚿              | * |  |
| अग्नि अग्नि<br>Не выбран часто ис   |   |  |
| Тип отверстия 🔅                     |   |  |
|                                     |   |  |
| Стандарт:                           |   |  |
| ISO                                 |   |  |
| Тип:<br>Отверстие под метчик        |   |  |
| Спецификация <                      |   |  |
| Размер:                             |   |  |
| M4                                  |   |  |
| Отобразить<br>настраиваемые размеры |   |  |
| Граничное условие 🛛 💝               |   |  |
| Параметры 😞                         |   |  |
|                                     |   |  |
| 🔽 С требованием к резьбе            |   |  |
| 🔽 Передняя зенковка                 |   |  |
| 4.050MM                             |   |  |

Рисунок 3.2 – Диалоговое окно «Определение отверстия»

#### Контрольные вопросы

- 1 Назовите основные этапы твердотельного моделирования.
- 2 Назовите основные принципы создания трехмерной модели.
- 3 Назовите основные команды панели инструментов «Эскиз».
- 4 Назовите основные команды панели инструментов «Элементы».
- 5 Назовите основные функциональные возможности SolidWorks.

### 4 Лабораторная работа № 4. Массивы в системах геометрического моделирования

*Цель работы*: приобретение практических навыков работы с массивами в среде SolidWorks.

#### Теоретические сведения

Массив элементов – повторение одного элемента множество раз на одной плоскости. В SolidWorks определяют два основных вида массивов: массив на плоскости; трехмерный массив.

Каждый из этих массивов в свою очередь бывает по линиям и круговой.

#### Задание

Построить трехмерную модель детали, представленную на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Трехмерная модель детали

#### Методика выполнения лабораторной работы

Нажать кнопку «Эскиз» панели инструментов «Эскиз», выбрать вид спереди. В выбранной плоскости построить круг радиусом 50 мм. Далее на дуге круга построить еще один полукруг радиусом 10 мм (рисунок 4.2). Сделать это можно двумя способами: при помощи инструмента «Centerpoint Arc»; при помощи круга и команды «Обрезать».

Далее из выпадающего меню инструмента «Массив» выбрать «Массив по кругу».



Рисунок 4.2 – Построение эскиза

В качестве элемента массива выбрать построенный ранее полукруг, а количество повторений элемента выставить на 10. Удалить все ненужные линии, тем самым утвердив нарисованный эскиз. Вытянуть эскиз на 10 мм. После чего при помощи инструмента «Centerpoint ark slot» создать следующий элемент на плоскости модели (рисунок 4.3).

Вытянуть новый элемент на 10 мм. После чего при помощи инструмента «Массив по кругу» выбрать одну грань выпуклости, количество повторений равно 5. Далее на данной плоскости построить вырез в форме круга радиусом 10 мм. Используя инструмент «Круговой Массив», сделать массив в 10 подобных кругов. Сделать вырез кругов на 10 мм. В завершение начертить еще один круг радиусом 15 мм и продублировать его 7 раз при помощи кругового массива. Вытянуть полученные элементы на 20 мм.



Рисунок 4.3 – Построение модели

#### Контрольные вопросы

- 1 Что такое массив элементов?
- 2 Для чего используются массивы?
- 3 Назовите команды работы с массивами в SolidWorks.
- 4 Назовите основные виды массивов.

# 5 Лабораторная работа № 5. Графическое построение профиля зубчатого колеса

*Цель работы*: приобретение практических навыков в построении профиля зубчатого колеса в среде трехмерного моделирования SolidWorks.

#### Задание

Построить 3D-модель зубчатого колеса, выданного преподавателем.

#### Методика выполнения лабораторной работы

Изобразить делительный диаметр с диаметром D и центром шестерни O. Изобразить диаметр вершин зубьев  $(d_1)$  и диаметр впадин зубьев  $(d_2)$ . Провести касательную к делительному диаметру. В точке касания под углом 20° провести линию зацепления. Изобразить окружность, касательную к линии зацепления и центром в точке O. Эта окружность является основной (рисунок 5.1).



Рисунок 5.1 – Построение эскиза колеса

Отметить точку A на диаметре вершин зубьев. На прямой, соединяющей точки A и O, отметить точку B, находящуюся на основной окружности. Разделить расстояние AB на три части и отметить точкой C полученное значение от точки A в сторону точки B на отрезке AB (рисунок 5.2).

От точки C провести касательную к основной окружности. В точке касания отметить точку D. Разделить расстояние DC на четыре части и отметить точкой E полученное значение от точки D в сторону точки C на отрезке DC (см. рисунок 5.2).

Изобразить дугу окружности с центром в точке *E*, что проходит через точку *C*. Это будет часть одной стороны зуба (рисунок 5.3).

Изобразить дугу окружности с центром в точке H, радиусом, равным толщине зуба (*s*). Место пересечения с делительным диаметром отметить точкой F. Эта точка находится на другой стороне зуба (см. рисунок 5.3).



Рисунок 5.2 – Построение эскиза колеса



Рисунок 5.3 – Построение эскиза колеса

Изобразить ось симметрии, проходящую через центр *O* и середину расстояния *FH*. Линия профиля зуба, отображенная зеркально относительно этой оси, и будет второй стороной зуба.

После построения чертежа профиля зуба скопировать профиль зуба, диаметры и центр зубчатого колеса (Ctrl + C). Создать новый документ (Деталь). Выбрать плоскость «Спереди», перейти в режим «Эскиз» и, когда эскиз активен, нажать (Ctrl + V).

После того, как вставился чертеж, окружности диаметров изменить на вспомогательные линии (рисунок 5.4).



Рисунок 5.4 – Диалоговое окно с эскизом колеса

17

Затем проставить численные значения диаметров: делительного, вершин и впадин. Профиль зуба готов для дальнейшей работы. Перейти в режим «Элементы». Выбрать команду «Вытянутая бобышка». Указать необходимую длину зубчатого венца (рисунок 5.5).



Рисунок 5.5 – Построение зуба колеса

Далее использовать команды «Вставка», «Справочная геометрия», «Ось». Выбрать радиусную поверхность (основание зуба). Вставить «Ось 1». Использовать команды «Вставка», «Массив/зеркало», «Круговой массив». В параметрах указать «Ось 1», вокруг которой будет строиться круговой массив. В строке «Копировать тела» указать тело зуба. Активировать равный шаг, интервал – 360° и указать количество зубьев.

Далее необходимо добавить ступицу. Для этого нажать «Эскиз» на этой плоскости (передней плоскости зуба). Вставить окружность, совместив центра, и вытолкать ее до противоположной поверхности зуба (рисунок 5.6).



Рисунок 5.6 – Построение модели колеса

Полученное изображение зубчатого колеса самостоятельно достроить в соответствии с чертежом, выданным преподавателем.

#### Контрольные вопросы

1 Какие два режима существуют для создания двухмерных эскизов?

2 Назовите основные принципы создания трехмерной модели.

3 Назовите основные этапы твердотельного моделирования в SolidWorks.

4 Каким образом можно проверить геометрию модели в SolidWorks?

5 Назовите основные этапы построения профиля зубчатого колеса в SolidWorks.

### 6 Лабораторная работа № 6. Построение моделей тел вращения

*Цель работы*: приобретение практических навыков в построении трехмерных моделей в среде трехмерного моделирования SolidWorks.

#### Задание 1

Построить трехмерную модель вала, представленную на рисунке 6.1.



Рисунок 6.1 – Модель вала

#### Методика выполнения лабораторной работы

Создать цилиндр диаметром 40 мм и длиной 100 мм. На одной из граней цилиндра начертить круг диаметром 50 мм. Для этого в режиме эскиза выбрать грань и привязать центр круга к началу координат. Вытянуть круг на 25 мм, утвердив эскиз и воспользовавшись инструментом «Вытянутая бобышка». Для формирования канавки в режиме эскиза нарисовать круг диаметром 46 мм и вытянуть его на 2 мм.

Создать еще один элемент цилиндра. Для этого построить круг радиусом 30 мм и вытянуть его на 15 мм. Далее нужен круг диаметром 40 мм для создания канавки, вытянуть этот круг на 5 мм, после чего начертить круг радиусом 25 мм и вытянуть на 50 мм. В конце создать цилиндры диаметром 40 и 45 мм, длиной 3 и 44 мм соответственно (рисунок 6.2).



Рисунок 6.2 – Построение модели вала

При помощи инструмента «Вспомогательная геометрия» построить две вспомогательные плоскости, благодаря которым будут построены пазы под шпонку. Построить вспомогательную плоскость параллельно основной плоскости на расстоянии 10 мм.

На вспомогательных плоскостях построить два прямоугольника со сторонами  $15 \times 27$  и  $20 \times 25$  мм соответственно (рисунок 6.3).



Рисунок 6.3 – Построение пазов на валу

С помощью инструмента «Вырез» вырезать два паза. При помощи инструмента «Скругление» сделать две фаски на краях вала, а также скруглить шпоночные пазы (радиус 5 мм) (рисунок 6.4).



Рисунок 6.4 – Построение скруглений на валу

20

Скрыть построенную плоскость из виду и закончить создание вала.

#### Задание 2

Построить трехмерную модель вала в соответствии с чертежом, выданным преподавателем.

#### Контрольные вопросы

1 Для чего используются привязки эскиза?

2 Как задаются параметры эскиза?

3 Назовите основные способы выбора объектов в SolidWorks.

4 Что позволяют создавать конфигурации?

5 Назовите основные способы создания конфигураций.

6 Назовите основные этапы построения модели вала в SolidWorks.

# 7 Лабораторная работа № 7. Редактирование элементов модели

**Цель работы**: изучение методов редактирования моделей в системе автоматизированного проектирования SolidWorks.

#### Задание

Редактировать трехмерную модель вала, созданную при выполнении лабораторной работы № 6 (изменить размеры всех элементов детали).

#### Методика выполнения лабораторной работы

В SolidWorks можно выполнять редактирование, используя несколько методов.

1 Команда редактирования «Edit Feature» (Редактировать определение). Для редактирования элемента модели посредством команды «Edit Feature» (Редактировать определение) выбрать элемент в дереве конструирования «Feature Manager» или в графической области. После выбора элемента следует вызвать контекстное меню щелчком правой кнопки мыши и выбрать в нем команду «Edit Feature» (Редактировать определение), как показано на рисунке 7.1. В зависимости от того, какой элемент выбран, на экране появится менеджер свойств или соответствующее диалоговое окно, в котором можно изменить параметры элемента. Менеджеру свойств будет присвоен порядковый номер редактируемого элемента. Например, на рисунке 7.1 изображен менеджер свойств элемента «Extrude» (Вытянуть) с порядковым номером 2.

После изменения параметров щелкнуть на кнопке ОК, чтобы завершить создание элемента. Элемент будет изменен автоматически.

| <ul> <li>Деталь1 (По умо.</li> <li>Примечания</li> <li>Датчики</li> <li>Материал &lt;не</li> <li>Спереди</li> <li>Сверху</li> <li>Справа</li> <li>Исходная т</li> </ul> | лчанию<<По<br>: указан><br>) 2 18 т<br>Редактировать определение   | Бобышка-Вытянуть2 ?<br>✔ ¥ бо  |
|---|--|--|
| ⊕ Бобышка-L   |  | От   |
| Эл  | емент (Бобышка-Вытянуть2)  | Плоскость для эскиза 🔻   |
| (1)<br>(1)<br>(1)<br>(1)<br>(1)<br>(1)<br>(1)<br>(1)<br>(1)<br>(1)  | Заметка<br>Родитель/Потомок<br>Конфигурация свойства<br>Удалить<br>Добавить в часто используемые<br>Добавить в новую папку<br>Свойства элемента<br>Изменить прозрачность<br>FeatureWorks | Направление 1<br>На заданное расстояние ▼  |
|   | Гаиди<br>Создат <u>ь</u> новую папку<br>Скрыть/отобразить объекты дерева<br>Свернуть <u>э</u> лементы<br>¥   | <ul> <li>Уклон наружу</li> <li>Направление 2</li> <li>Выбранные контуры</li> </ul> |

Рисунок 7.1 – Редактирование элемента (Бобышка – Вытянуть2)

2 Редактирование эскизов элементов. В SolidWorks можно редактировать эскизы элементов при помощи команды «Edit Sketch» (Редактировать эскиз).

Для редактирования эскиза выбрать элемент либо через дерево конструирования «Feature Manage», либо в области построений и вызвать контекстное меню щелчком правой кнопки мыши. Выбрать команду «Edit Sketch» (Редактировать эскиз) из контекстного меню (рисунок 7.2).



Рисунок 7.2 – Выбор команды «Редактировать эскиз»

Используя стандартные инструменты эскизной среды, отредактировать эскиз элемента. Закончив редактирование эскиза, выйти из эскизной среды. Для этого следует щелкнуть на кнопке «Rebuild» (Перестроить) на панели инструментов «Standard» (Стандартная). После этого выйти из эскизной среды и модель будет автоматически перестроена.

#### Контрольные вопросы

1 Каким образом можно редактировать элементы моделей в SolidWorks?

2 Назовите основные этапы редактирования элементов модели с помощью команды Edit Feature в SolidWorks.

3 Назовите основные этапы редактирования элементов модели с помощью команды Edit Sketch в SolidWorks.

4 Каким образом можно редактировать элементы моделей в SolidWorks с использованием инструментов Instant 3D?

5 Назовите основные команды редактирования элементов.

### 8 Лабораторная работа № 8. Построение сборок в системах геометрического моделирования

**Цель** работы: приобретение практических навыков в построении 3D-моделей сборок в среде трехмерного моделирования SolidWorks.

#### Теоретические сведения

Сборка – это узел, состоящий из двух или более деталей, называемых также компонентами, в одном документе SolidWorks. Расположение и ориентация компонентов задается с помощью сопряжений, устанавливающих взаимосвязи между компонентами.

В SolidWorks можно создать сложные сборки, состоящие их многочисленных компонентов, которые могут быть деталями или другими сборками, называемыми узлами сборок. Расширение документа сборки – .sldasm.

В дереве конструирования FeatureManager отображаются следующие объекты для сборок:

- сборка верхнего уровня (первый объект);

– различные папки, например, «Примечания» и «Сопряжения» 🕅;

– плоскости сборки и исходные точки;

– компоненты (узлы сборки и отдельные детали);

– элементы сборки (вырезы или отверстия) и массивы компонентов.

В дереве конструирования FeatureManager имя компонента может содержать префикс, предоставляющий информацию о состоянии его взаимосвязей с другими компонентами. Используются следующие префиксы:

– неопределен (-);

– переопределен (+);

– зафиксирован (ф);

– не решен (?).

Отсутствие префикса означает, что положение компонента полностью определено.

#### Задание

Построить трехмерную модель сборки вала с зубчатым колесом. Модели зубчатого колеса и вала берутся из лабораторных работ № 5 и 6.

#### Методика выполнения лабораторной работы

*1 Создание нового документа сборки в SolidWorks*. Выбрать в меню пункты «Файл», «Новый». Выбрать шаблон «Сборка», после чего откроется документ SolidWorks для создания трехмерных моделей сборок узлов. В созданном документе сборки в менеджере свойств нажать «Обзор» и выбрать базовую деталь (вал).

2 Установка шпонки на вал. В библиотеке проектирования последовательно выбрать «Toolbox», «Din», «Шпонки», «Шпонка призматическая», «Четырехугольная шпонка» (рисунок 8.1). Левой кнопкой мыши перетащить изображение шпонки в область чертежа. В левой части экрана появится меню свойств шпонки. Необходимо в соответствии с вариантом задания, выданным преподавателем, выбрать диаметр стержня (диаметр вала под шпонку) и длину шпонки.



Рисунок 8.1 – Диалоговое окно с выбором шпонки

Выбрать на панели инструментов «Сборка» команду «Условия сопряжения». В менеджере свойств команды «Сопряжение» выбрать вид сопряжения «Совпадение» и последовательно плоскость основания шпонки и плоскость шпоночного паза (рисунок 8.2). Плоскость основания шпонки и плоскость шпоночного паза окажутся в одной плоскости. Затем создать новое сопряжение шпонки и вала. Выбрать тип сопряжения «Концентричность» и

указать последовательно скругленную поверхность шпонки и шпоночного паза. Шпонка установится в шпоночный паз (см. рисунок 8.2).



Рисунок 8.2 – Задание сопряжений

3 Установка зубчатого колеса на вал.

Выбрать команду «Вставить компоненты» и добавить модель зубчатого колеса в модель сборки.

Создать сопряжения (команда «Условия сопряжения»):

– «Концентричность» между поверхностью отверстия колеса и цилиндрической поверхностью ступени вала со шпоночным пазом;

– «Совпадение» между боковой поверхностью шпонки и шпоночного паза колеса;

– «Совпадение» между торцевой поверхности ступицы колеса и торцом буртика вала.

4 Установка подшипников качения. Подшипник качения также является стандартным элементом и вставляется в сборку, используя программу «SolidWorks Toolbox», которая находится во вкладке «Продукты Office». В библиотеке проектирования последовательно выбрать «Toolbox», «Din», «Подшипники», «Шариковые подшипники», «Радиально-упорный шариковый подшипник». Левой кнопкой мыши перетащить изображение подшипника в область чертежа. В соответствии с чертежом вала выбрать внутренний диаметр подшипника.

Создать сопряжения (команда «Условия сопряжения»):

– «Концентричность» между поверхностью отверстия подшипника и цилиндрической поверхностью ступени вала;

– «Совпадение» между торцом поверхности подшипника и торцом шейки вала (рисунок 8.3).

#### Контрольные вопросы

1 Какие объекты для сборок отображаются в дереве конструирования FeatureManager?

2 Назовите основные методы проектирования сборок в SolidWorks.

3 Что такое проектирование снизу вверх?

4 Что такое проектирование сверху вниз?

5 Для чего используются сопряжения при создании сборок?



Рисунок 8.3 – Установка подшипника на вал

### 9 Лабораторная работа № 9. Расчет напряженно-деформированного состояния вала методом конечных элементов

**Цель работы**: приобретение практических навыков в исследовании напряженно-деформированных состояний деталей машин в среде SolidWorks Simulation.

#### Задание

Исследовать напряженно-деформированное состояние вала в среде SolidWorks Simulation. Модель вала взять из лабораторной работы № 6.

#### Методика выполнения лабораторной работы

Открыть вал, созданный при выполнении лабораторной работы № 6. Выбрать вкладку «SolidWorks Simulation», «Simulation», «Консультант исследования», «Новое исследование», «Статическое».

Выбрать в качестве материала вала легированную сталь. Нажать «Применить» и «Закрыть». Далее указать, как поддерживается модель. Закрепить один торец вала фиксированно. Для этого выбрать вкладку «Консультант по креплению», «Фиксированная геометрия» и указать торец вала (рисунок 9.1).

Опорные шейки вала (где устанавливают подшипники) закрепить с возможностью скольжения. Для этого выбрать вкладку «Консультант по креплению», «Ролик/скольжение», «Зафиксированный шарнир».

Оставшийся противоположный торец вала зафиксировать, выбрав «Консультант по креплению», «Фиксированная геометрия», «Ролик/ползун».

Затем необходимо приложить нагрузки. Для этого выбрать «Консультант по внешним нагрузкам», «Вращающий момент» (*T* = 310 Hм) (рисунок 9.2). Для

того чтобы приложить вращающий момент, необходимо воспользоваться справочной геометрией и вставить «Ось», указав цилиндрическую поверхность вала, на которой расположен шпоночный паз. Справочная геометрия расположена во вкладке «Вставка».



Рисунок 9.1 – Диалоговое окно выбора закрепления вала



Рисунок 9.2 – Диалоговое окно приложения нагрузки

Далее приложить радиальную силу Fr = 1000 Н («Консультант по внешним нагрузкам», «Сила»). Затем приложить осевую силу Fa = 320 Н («Консультант по внешним нагрузкам», «Сила»). Выбрать шейку вала со шпоночным пазом. Нажать «выбранное направление». Указать в качестве грани шпоночный паз. Ввести значение силы по оси X, равное 320 Н. Приложить центробежную нагрузку 200 рад/с, указывая в качестве грани цилиндрическую поверхность со шпоночным пазом.

После крепления элементов вала и приложения внешних нагрузок сформировать сетку конечных элементов. Нажать «Запуск», «Создание сетки», «Стандартная сетка» (рисунок 9.3).



Рисунок 9.3 – Диалоговое окно создания сетки конечных элементов

Затем нажать вкладку «Запуск» и провести расчет вала на прочность. Проанализировать полученное максимальное значение напряжения с допустимым пределом текучести 620 МПа (для легированной стали) (рисунок 9.4).

Для анализа перемещений выбрать «Консультант по результатам», «Новая эпюра», «Перемещение».



Рисунок 9.4 – Диалоговое окно анализа напряжений

Далее оценить запас прочности. Выбрать «Консультант по результатам», «Новая эпюра», «Запас прочности».

Конечным этапом выполнения лабораторной работы является формирование отчета, выполненного в среде SolidWorks Simulation.

#### Контрольные вопросы

1 Какие задачи можно решать с помощью SolidWorks Simulation?

2 Что такое метод конечных элементов?

3 Назовите основные типы исследований.

4 Какими факторами определяются исследования моделирования?

5 Назовите типы сеток на основе геометрии элементов.

6 Назовите основные этапы исследований элементов модели в SolidWorks Simulation.

# 10 Лабораторная работа № 10. Термический анализ в Solidworks Simulation

*Цель работы*: приобретение практических навыков в проведении термического анализа в среде SolidWorks Simulation.

#### Задание

Выполнить термический анализ в среде SolidWorks Simulation. Модель вала взять из лабораторной работы № 6.

#### Методика выполнения лабораторной работы

1 Создание термического исследования. Выбрать «Новое исследование» В диспетчере команд Simulation. В окне PropertyManager (Менеджер свойств) в поле «Тип» выбрать «Термический» <sup>№</sup>. Нажать кнопку <sup></sup>. Для задания типа термического исследования в дереве исследования Simulation нажать правой кнопкой мыши значок исследования и выбрать «Свойства». В диалоговом окне на вкладке «Параметры» в списке «Тип решения» выбрать исследование «Переходный процесс». Установить «Общее время» на 10000 с. Установить «Временной инкремент» на 100 с.

2 Задание материала для вала. Для определения материала нажать правой кнопкой мыши на его значок в дереве исследования Simulation и выбрать «Применить/редактировать материал». Выбрать в качестве материала вала легированную сталь.

3 Определение термических нагрузок/ограничений. Можно определить температуру, конвекцию, тепловой поток, тепловую мощность, а также излучение. Чтобы назначить начальную температуру поверхностей вала, в дереве исследования Simulation нажать правой кнопкой мыши значок «Термические нагрузки» № и выбрать «Температура» №. Появится «Температура PropertyManager» (Менеджера свойств). В окне «Тип» выбрать «Начальная температура». Выбрать все грани вала. В окне «Температура» выбрать 20°. Нажать кнопку *ч*.

Применить в качестве термических нагрузок «Тепловую мощность» к торцу вала. Для этого нажать «Термические нагрузки» (диспетчер команд Simulation) и выбрать «Тепловая мощность» (рисунок 10.1). В окне «Тепловая мощность» установить «Единицы измерения» на «СИ», а «Тепловая мощность» на 6500. Выбрать торец вала. Нажать кнопку «.



Рисунок 10.1 – Диалоговое окно выбора термических нагрузок

4 Создание сетки модели и проведение исследования. В дереве исследования Simulation нажать правой кнопкой мыши значок «Сетка» 🖤 и выбрать

«Создать сетку» . В разделе «Параметры» выбрать «Запуск (решение) анализа» и нажать на «. Если запустить исследование перед созданием сетки, программа автоматически создаст сетку исследования перед запуском.

5 Просмотр результатов. Чтобы отобразить эпюру, необходимо дважды щелкнуть на ее значке. Для определения новой эпюры щелкнуть правой кнопкой на папке «Результаты» и выбрать «Определить термическую эпюру». Построить эпюру температуры (рисунок 10.2), температурных градиентов и тепловых потоков.

В дереве исследования Simulation нажать правой кнопкой мыши значок исследования, выбрать «Анимировать» и нажать на «.

Чтобы создать отчет, нажать правой кнопкой мыши папку «Отчет» и выбрать «Определить».



Рисунок 10.2 – Эпюра температуры

#### Контрольные вопросы

1 В чем заключается термический анализ в Solidworks Simulation?

2 Назовите типы сеток на основе геометрии элементов.

3 Назовите основные этапы термического анализа в SolidWorks Simulation.

### 11 Лабораторная работа № 11. Создание рабочих чертежей деталей на основе трехмерных моделей

*Цель работы*: ознакомление с принципами построения чертежей в SolidWorks.

#### Задание

Разработать рабочий чертеж вала, созданный в лабораторной работе № 6.

#### Методика выполнение работы

Нажать «Создать новый документ» и выбрать «Чертеж». При создании нового документа чертежа появится диалоговое окно выбора формата листа. Тут можно выбрать предустановленные форматы либо указать свои. Выбрать формат «А3 – Альбомная» и стандартную основную надпись, нажать ОК.

На панели инструментов «Чертеж» нажать пиктограмму «Вид модели», появится окно выбора модели или сборки для создания видов на чертеже. Нажать кнопку «Обзор» и выбрать в открывшемся окне модель вала, созданную в лабораторной работе № 6. Нажать «Открыть».

Появится очертание вида и указатель, которым он перемещается. По умолчанию первый вид – это «вид спереди». Но его можно поменять, нажав левой кнопкой мыши на нужном виде и в параметрах чертежного вида изменить ориентацию детали на виде и нажать ОК.

Далее навести указатель на свободное поле чертежа и нажать левую кнопку мыши для установки позиции первого вида (Главного) (рисунок 11.1). Добавить вид «Сверху» и вид «Сбоку». Для этого отвести указатель от основного вида вниз и нажать левую кнопку мыши, потом отвести указатель от основного вида вправо и нажать левую кнопку мыши. Нажать Esc и выйти из режима вставки чертежного вида.



Рисунок 11.1 – Диалоговое окно выбора проекционных видов

На виде сверху сделать разрез. Для построения разреза нужно нажать на кнопку «Разрез» и нарисовать линию разреза на детали. Потом перетянуть вид разреза на свободное место чертежа.

Для простановки размеров импортировать размеры из эскизов детали и отредактировать. Для этого нажать кнопку «Элементы модели» на панели инструментов «Примечания» и отметить необходимые элементы модели для импорта в чертеж (рисунок 11.2). Далее нажать ОК и подправить в ручном режиме размещение размеров.

Для добавления необходимых размеров нажать кнопку «Автоматическое нанесение размеров» на панелях «Эскиз» или «Примечания» и навести

указатель на кромку вида (она должна выделиться другим цветом), нажать левую кнопку мыши. Появится размер длины кромки. Далее отвести указатель в сторону и еще раз нажать левую кнопку мыши.



Рисунок 11.2 – Диалоговое окно выбора элементов модели для импорта в чертеж

Рекомендуется попробовать самостоятельно для закрепления материала поработать с расстановкой видов и размеров. Попробовать их редактировать.

#### Контрольные вопросы

1 Назовите принципы построения чертежей в SolidWorks.

- 2 Какие параметры чертежа можно редактировать в меню «Вид»?
- 3 Что можно редактировать в параметрах разреза?
- 4 Назовите основные способы вставки элементов модели в чертеж.
- 5 Назовите основные этапы построения чертежей в SolidWorks.

# 12 Лабораторная работа № 12. Построение сопряжения и анимации движения зубчатого зацепления

**Цель работы:** приобретение практических навыков в построении динамического сопряжения и анимации движения в среде SolidWorks Motoin на примере зубчатого зацепления.

#### Задание

Построить сопряжения и анимации движения зубчатого зацепления.

#### Методика выполнение работы

1 Построение условного корпуса редуктора. Создать новый документ «Деталь». Выбрать плоскость «Спереди», перейти в режим «Эскиз».

Условно изобразить корпус редуктора в виде стенки (прямоугольник с размерами 200 × 100 мм). Перейти во вкладку «Элементы» и, используя команду «Вытянутая бобышка», вытолкнуть стенку толщиной 5 мм. В режиме «Эскиз» на плоскости провести горизонтальную ось симметрии, изобразить окружность диаметром 10 мм, указать вертикальную ось симметрии, относительно которой произвести зеркальное отражение окружности и указать между окружностями межосевое расстояние 75 мм. Затем перейти во вкладку «Элементы» и вытолкнуть их на расстояние 50 мм. Сохранить построенную деталь (рисунок 12.1).



Рисунок 12.1 – Модель условного корпуса редуктора

2 Построение сборки условного корпуса редуктора и зубчатых колес.

Создать новый документ «Сборка». Через команду «Вставить компоненты» вставить ранее построенный корпус редуктора.

Затем в библиотеке проектирования последовательно выбрать «Toolbox», «Iso», «Трансмиссия», «Зубчатые колеса», «Прямозубое цилиндрическое зубчатое колесо». Левой кнопкой мыши перетащить изображение зубчатого колеса в область чертежа. В левой части экрана появится меню свойств колеса. Задать модуль m = 3 мм, число зубьев z = 20, диаметр вала d = 10 мм. Вставить второе колесо. Нажать Esc.

Создать сопряжения (команда «Условия сопряжения»): «Концентричность» между поверхностью отверстия колеса и цилиндрической поверхностью вала; «Совпадение» между торцом зубчатого колеса и стенкой редуктора, указывая размер между ними 25 мм.

Аналогичным образом установить на второй вал второе зубчатое колесо (модуль m = 3 мм; число зубьев z = 30; диаметр вала d = 10 мм).

3 Создание сопряжения между зубчатыми колесами для возможности вращения с учетом передаточного отношения.

При вращении одного колеса второе остается неподвижным. Для вращения обоих колес необходимо выполнить условие сопряжения при заданном передаточном отношении. Для ЭТОГО выбрать «Условия сопряжения», «Редуктор». «Механическое сопряжение», Затем на эскизе зубчатого сопряжения последовательно указать диаметры впадин меньшего и большего колес (рисунок 12.2).



Рисунок 12.2 – Диалоговое окно с зубчатым сопряжением

В окне «Пропорция» поменять значения на 60 и 90 мм для того, чтобы было правильное передаточное число. Если при вращении одного колеса вращается другое и нет набегания зуба на зуб, то построение правильное и зубчатое сопряжение готово.

4 Создание анимации движения в SolidWorks. Для создания анимации движения на примере зубчатого зацепления выбрать вкладку «Исследование движения». Выбрать «Двигатель» (рисунок 12.3).



Рисунок 12.3 – Диалоговое окно создания анимации

Выбрать вращающийся двигатель. В качестве месторасположения двигателя указать кромку отверстия в меньшей шестерне (должна появиться надпись «Кромка<1>»). В качестве компонента для движения указать второе зубчатое колесо. Частоту вращения указать 1000 об/мин. Далее задать «Контакт». Выбрать два зубчатых колеса. Во вкладке «Движение сборки» необходимо заменить на «Базовое движение».

Нажать «Расчет исследования движения». Система производит расчеты. После нажать кнопку «Воспроизведение» и посмотреть анимацию движения зубчатого зацепления.

#### Контрольные вопросы

1 Назовите инструменты исследования движения.

2 Что включает дерево конструирования MotionManager?

3 Для чего используется функция «Анимация»?

4 Для чего используется инструмент исследования движения «Базовое движение»?

5 Для чего используется инструмент исследования движения «Анализ движения»?

6 Что такое ключевая точка и ключевой кадр?

### 13 Лабораторная работа № 13. Ознакомление с основными возможностями 3D-принтеров

Цель работы: ознакомление с основными возможностями 3D-принтеров.

#### Задание

1 Изучить функциональные возможности 3D-принтеров.

2 Изучить устройство 3D-принтера.

#### Теоретические сведения

Отличительные особенности 3D-принтера. Трехмерным принтером называют специальное устройство, способное на основании виртуальной модели печатать объемные объекты. Если для печати в обычном принтере используют тонер, то во втором случае пользуются различными видами пластика, нейлоном, металлической пудрой, стеклянным порошком, строительными смесями и другими материалами. Основа данной технологии – послойное выращивание твердых моделей. Этот способ идеально подходит для создания предметов различной сложности.

*Принцип работы 3D-принтера*:

– создание компьютерной модели будущего объекта;

– деление полученного шаблона на множество поперечных слоев с помощью специального программного обеспечения;

– постепенное наращивание по направлению от основания вверх жидкого, порошкообразного или другого материала с последующим соединением (сплавлением) его в объект нужной формы.

Технологии печати на 3D-принтере.

SLA-технология – лазерная стереолитография – технология 3D-печати, основанная на послойном отверждении фотополимера (жидкого материала) под действием луча лазера и ультрафиолетового света (рисунок 13.1).

При лазерной стереолитографии в емкость с жидким фотополимером помещается сетчатая платформа, на которой будет происходить выращивание

прототипа. Изначально платформа устанавливается на такой глубине, чтобы ее покрывал тончайший слой вещества толщиной всего 0,05...0,13 мм (толщина слоя в лазерной стереолитографии). Далее включается лазер, воздействующий на участки полимера, которые соответствуют стенкам заданного объекта, вызывая их затвердевание. После этого вся платформа погружается ровно на один слой, т. е. на глубину 0,05...0,13 мм.

По завершении построения объект погружают в ванну со специальным составом для удаления лишних элементов и полной очистки. И, наконец, финальное облучение светом для окончательного отвердевания.

К основным достоинствам такой печати относятся: изготовление моделей любой сложности точность; высокая точность построения и высокое качество поверхности; скорость печати; большие, чем у других 3D-принтеров, размеры рабочей камеры; низкий процент расходного материала на поддержку; низкий уровень шума производства деталей.



Рисунок 13.1 – Иллюстрация SLA-технологии

К недостаткам относятся: высокая стоимость; небольшая цветовая палитра; невысокая физическая прочность готового изделия.

SLS или Selective Laser Sintering – технология аддитивного производства, основанная на послойном спекании порошковых материалов (полиамиды, пластик) с помощью луча лазера (рисунок 13.2).

Преимущества технологии селективного лазерного спекания: хорошие механические свойства продукции: высокая прочность, точность построения, качественные поверхности; возможность изготавливать большие изделия или целые партии небольших объектов за одну печатную сессию; не требует материала поддержки (процесс практически безотходен, неиспользованный

материал может повторно использоваться для печати); высокая производительность (SLS-принтеры не нуждаются в полном расплавлении частиц материала).



Рисунок 13.2 – Иллюстрация SLS-технологии

Недостатки: высокая стоимость расходных материалов и оборудования.

Процесс печати по технологии Selective Laser Sintering заключается в послойном спекании частиц порошкообразного материала до образования CAD-модели. физического объекта по заданной Спекание материала происходит под воздействием луча одного или нескольких лазеров. Перед началом процесса построения расходный материал разогревается почти до температуры плавления, что облегчает и ускоряет работу SLS-установки. В ходе печати платформа построения постоянно опускается вниз (шаг равен толщине печатного слоя). Таким образом, зона взаимодействия материала и луча лазера всегда находится на одном уровне. SLS-процесс не нуждается в использовании специальных материалов поддержки. В качестве опорных структур для строящейся модели здесь выступает неиспользованный порошок (который после извлечения готового объекта очищается и может снова использоваться для печати).

SLM или Selective laser melting – инновационная технология производства сложных изделий посредством лазерного плавления металлического порошка по математическим CAD-моделям (3D-печать металлом). Данный процесс успешно заменяет традиционные методы производства, т. к. физико-механические свойства изделий, построенных по технологии SLM, зачастую превосходят свойства изделий, изготовленных по традиционным технологиям.

Процесс построения изделий происходит в камере SLM машины, заполненной инертным газом аргон или азот (в зависимости от типа порошка, из которого происходит построение). Практически полное отсутствие кислорода позволяет избегать оксидации расходного материала. Преимущества технологии: производство изделий со сложной геометрией, с внутренними полостями и каналами конформного охлаждения; возможность построения сложных изделий без изготовления дорогостоящей оснастки; построение изделий с внутренними полостями; экономия материала при производстве.

МЈМ-технология 3D-печати, основанная на многоструйном моделировании с помощью фотополимерного или воскового материала. Расплавленный акриловый фотополимер наносится на платформу при помощи печатающей головки с расположенными в несколько рядов соплами (рисунок 13.4). Следом за печатным блоком следует УФ-лампа, которая засвечивает только что нанесенные частицы материала, в результате чего тот затвердевает, формируя заданное изделие.



Рисунок 13.4 – Иллюстрация МЈМ-технологии

Важной деталью является поддержание выступающих или нависающих частей, которое осуществляется при помощи бытового воска, который наносится одновременно с полимером и удаляется в результате нагревания в печи, не оставляя следов.

DLP-технология наплавления. DLP достаточно похожа по своему технологическому процессу на MJM. Явным отличием является воздействие проектора обычным световым потоком на модель для получения отверждения полимера. Фотополимер доливается в кювету по мере его расходования. Во время процесса печати аппарат закрывается во избежание засветки модели. Выступающие части также поддерживаются при помощи использования воска. *FDM* – послойная укладка полимера. Принцип построения по технологии FDM заключается в послойном выращивании изделия из предварительно расплавленной пластиковой нити (рисунок 13.5).

Образцы моделей по этой технологии являются достаточно прочными, не подвергающимися деформации от физического воздействия человека. Они могут быть термостойкими, износоустойчивыми, обладать повышенной гибкостью или ударной вязкостью и т. д.

Этапы создания объектов на 3D-принтерах:

– создание или импорт цифровой трехмерной модели;

 – обработка цифровой модели для печати с добавлением поддерживающих структур;

– расположение цифровой модели на рабочем столе;

– слайсинг – нарезка цифровой модели на отдельные слои с преобразованием данных в инструкции для работы принтера;

- непосредственно печать;

– физическая или химическая обработка готовой модели.



Рисунок 13.5 – Иллюстрация FDM-технологии

#### Устройство FDM-принтера.

Устройство 3D-принтера показано на рисунке 13.6.



1 – экран; 2 – разъем для подключения кабеля питания; 3 – разъем для подключения USB-кабеля; 4 – слот для подключения SD-карты; 5 – кнопка I/0; 6 – экструдер; 7 – сопло; 8 – подогреваемая платформа; 9 – держатель для катушки; 10 – тефлоновая трубка подачи пластика

Рисунок 13.6 – Устройство 3D-принтера

#### Контрольные вопросы

1 Назовите функциональные возможности 3D-принтеров.

- 2 В чем заключается принцип работы 3D-принтера?
- 3 Охарактеризуйте существующие технологии 3D-печати.
- 4 Назовите этапы создания объектов на 3D-принтерах.

## 14 Лабораторная работа № 14. Печать моделей объектов на 3D-принтерах

*Цель работы*: приобретение практических навыков вывода 3D-моделей на печать.

#### Задание

Распечатать на 3D-принтере трехмерную модель, созданную при выполнении лабораторной работы № 1.

#### Методика выполнение работы

1 Создание 3D-печатного образца.

Загрузить программу Repetier-Host.

Следует проконтролировать настройки: температуру стола и экструдера; скорость печати; наличие поддержки (сложные структуры с нависающими элементами целесообразно печатать с поддерживающей конструкцией, что

40

обеспечит точное воспроизведение модели и предотвратит возможные деформации объекта во время остывания); тип прилипания к столу; точность печати.

После этого 3D-модель можно слайсить и записывать на флешку. Дальше подключить флешку к принтеру и запустить изделие в печать.

#### 2 Работа с 3D-принтером.

Перед началом печати необходимо заправить в принтер катушку с расходным материалом – катушкой пластика. Для этого пластиковый пруток продевается в тефлоновый канал, идущий от места установки катушки до печатающей головы (рисунок 14.1).



Рисунок 14.1 – Заправка пластика

Для работы с принтером следует подключить кабель питания в соответствующий разъем и привести положение переключателя в положение І. При этом включится подсветка, и консоль управления принтера станет активна (рисунок 14.2).



Рисунок 14.2 – Консоль управления

Перед началом печати необходимо наклеить специальную пленку на подогреваемую платформу. Для этого нужно зайти в меню, нажав на регулятор. Поворачивая регулятор, выбрать «Действия» и снова нажать на регулятор «Преднагрев ABS». Когда стол нагреется, можно отклеивать старую и наклеить новую пленку. Остатки клея при необходимости можно убрать ацетоном или обезжиривателем.

Нагреть экструдер до температуры в зависимости от загружаемого пластика (ABS – 225; PLA – 190). Для этого необходимо зайти в меню, нажав на регулятор. Поворачивая регулятор, выбрать «Действие» и нажать на регулятор «Преднагрев ABS/PLA». Когда экструдер нагреется, необходимо зайти в меню, нажав на регулятор «Действие», «Движение по осям», «Перемещение на 1 мм», «Экструдер». Поворачивая регулятор против часовой стрелке, выставить значение 80...100 мм и дожидаться, пока пластик не выйдет через сопло.

Принтер оснащен разъемом под SD-карту, что позволяет запускать печать изделий, не подключая принтер к компьютеру. Для запуска печати необходимо вставить SD-карту в разъем. Зайти в меню, нажав на регулятор. Поворачивая регулятор, выбрать «Меню карты» и снова нажать на регулятор. Проворачивая ручку регулятора, выбрать подготовленную модель и снова нажать на регулятор, запустив задание на печать.

#### Контрольные вопросы

- 1 Назовите функциональные возможности 3D-принтеров.
- 2 В чем заключается принцип работы 3D-принтера?
- 3 Назовите этапы создания объектов на 3D-принтерах.

# 15 Лабораторная работа № 15. Основы работы с 3D-принтером EP-M250

*Цель работы*: приобретение практических навыков работы с 3D-принтером EP-M250.

#### Задание

Распечатать на 3D-принтере ЕР-М250 трехмерную модель, созданную при выполнении практической работы № 1.

#### Устройство и принцип работы 3D-принтера EP-M250

Устройство 3D-принтера EP-M250 представлено на рисунках 15.1 и 15.2.

При работе 3D-принтера EP-M250 тонкие слои порошка наносятся на платформу построения и затем экспонируются с помощью иттербиевого лазера.



1 – передняя дверь; 2 – смотровое окно; 3 – нижняя дверь; 4 – шкаф переключателей; 5 – экран управления; 6 – сигнальная лампа

Рисунок 15.1 – Вид спереди 3D-принтера ЕР-М250



1 – сканер; 2 – расширитель лазерного пятна; 3 – фета-объектив; 4 – направляющие; 5 – край рамы; 6 – выходная газовая труба; 7 – входная газовая труба; 8 – камера с подъемным столом фидера; 9 – рабочая камера с подъемным столом; 10 – нижняя уплотнительная камера; 11 – колесики; 12 – опоры; 13 – электрический цилиндр

Рисунок 15.2 – Вид в разрезе 3D-принтера EP-M250

В процессе экспонирования первого слоя образуется сплавление детали и платформы построения. Таким образом, производимая деталь прочно связана непосредственно с платформой или через поддерживающие структуры. Процесс построения циклический и состоит из следующих этапов: опуск платформы построения на высоту одного слоя; движение ракеля слева направо; подача металлического порошка; распределение порошка; экспозиция контуров и внутренних частей детали лазером.

При подаче металлического порошка подающая платформа немного приподнимается, обеспечивая требуемое количество материала.

При распределении порошка ракель движется справа налево, равномерно распределяя и выравнивая материал по платформе построения, покрывая уже напечатанные слои. Лишний материал попадает в бункер для его сбора.

Во время экспозиции сканер отражает (направляет) лазерный луч по требуемой траектории в области построения. В месте попадания лазерного луча на металлический порошок происходит его сплавление. Сыпучий материал при плавлении становится твердым и объединяется с предыдущими слоями внизу.

Рабочая область 3D-принтера ЕР-М250 представлена на рисунке 15.3.



1 – ракель; 2 – ракельный нож; 3 – деталь; 4 – платформа бункера; 5 – платформа пострения; 6 – привод платформы построения; 7 – подающая платформа

Рисунок 15.3 – Рабочая область 3D-принтера ЕР-М250

#### Подготовка данных для печати на 3D-принтере EP-M250

1 Загрузить программное обеспечение Magics.

2 Для загрузки сцены в меню выбрать «New Scene» в закладке «Build Preparation». В появившемся окне выбрать платформу.

Для выбора оборудования из библиотеки выбрать пункт «My Machines» в закладке «Build Preparation». В появившемся окне нажать кнопку «Add From Library» и выбрать необходимое оборудование.

3 Импортировать модель, выбрав пункт «Import Part», или загрузить проект, выбрав пункт «Load Project».

4 Исправить сетку модели, выбрав пункт «Fix Wizard» в закладке «Fix». Автоматически исправить ошибки, выбрав команду «Diagnostics».

5 Задать расположение детали с помощью инструментов закладки «Position».

Расположение детали влияет на количество и форму поддерживающих конструкций. Нависающие формы детали с углами больше 40° или 45° могут печататься без поддерживающих конструкций.

6 Создать поддерживающие конструкции с помощью модуля создания поддержек (Generate Support) закладки «Support Generation» . Для металла обычно используются поддержки типа «Блок» (Block supports).

7 Выполнить нарезку на слои и экспортировать модель в CLI&SLC. Для этого выбрать инструмент «Slice Selected» в закладке «Slicing» и в окне «Slicer Properties» ввести параметры слоев.

Выходной формат для детали – CLI.

#### Настройка 3D-принтера EP-M250

1 Запуск системы. Проверить питание и переключатели оборудования (рисунок 15.4). Включить принтер, ввести пароль для Windows и запустить управляющую программу ЕРС.

Задняя Переключите в положение «ON» (включено) Убедитесь, что кнопка экстренного выключения отжата. Передняя – Поверните ключ в право

Нажмите зеленую кнопку для

запуска оборудования

Рисунок 15.4 – Иллюстрация переключателей оборудования

2 Включить обогрев стола печати.

3 Выравнивание стола печати. Очистить стол печати изопропинолом и отрегулировать платформу с помощью ножа с острым краем.

Перед выравниванием включить нагревание платформы и убедиться, что она не горячая.

4 Для выравнивания лезвия: очистить и осмотреть лезвие на целостность; поднять стол печати на позицию 4,1 мм над базовой плоскостью, чтобы добиться оптимального фокусного расстояния для лазера; переместить устройство для раскатывания слоя в центр стола; освободить лезвие и

переместить его вперед назад несколько раз, чтобы оно свободно касалось стола; затянуть винты крепления лезвия с небольшим усилием; опустить стол печати на 0,1 мм, чтобы создать зазор для первого слоя; раскатать один слой для визуальной проверки.

5 Загрузка материала: высушить материал в вакуумной печке; заполнить фидер сухим металлическим порошком (глубина материала в фидере должна быть в 2 раза больше печатаемой детали).

При загрузке материала использовать средства защиты (маску, респиратор, перчатки).

6 При раскатке одного слоя: заполнить зазоры А, В, С металлическим порошком (рисунок 15.5); нанести один слой, который должен быть одной плоскостью для фидера и стола печати; очистить с помощью щетки лезвие; установить короб для циркуляции газа.



Рисунок 15.5 – Иллюстрация зазоров

7 Произвести чистку оптического окна в камере оборудования с помощью изопропилового спирта и салфеток. Вставить металлический газоотвод.

8 Проверить настройки параметров. Для управления приводами выбрать пиктограмму «Motor move» 🙆 в ЕРС. В появившемся окне выбрать привод и задать дистанцию и скорость его перемещения.

Для установки параметров лазера и сканера в меню «Parameter Setting» выбрать пункт «Laser Parameter».

Для установки температурной кривой в пункте меню «Parameter Setting» выбрать «Temperature Curve».

Для установки параметров рабочей среды в пункте меню «Parameter Setting» выбрать « Environment Setting».

9 Для подачи инертного газа: закрыть дверь камеры; включить инертный газ; запустить систему фильтрации газа.

10 После настройки всех параметров выбрать команды «Выполнить», «Продувка инертным газом», «Нагреватель», «Блокировка», «Охладитель», «Вентилятор».

#### Построение 3Д-модели

1 Загрузить файлы формата ЕРІ (основная модель) с помощью *part> add multiple*.

2 Выбрать модель поддержек с помощью меню *part>add support of selected part*, загрузить SLC-файл (модель поддержек).

3 Разместить детали с помощью меню part>translate and rotate.

4 Проверить, соответствуют ли модель и поддержка друг другу part>preview>preview layers.

5 Начать печать.

#### Выключение оборудования

1 Выключить ПО (в меню File выбрать пункт Exit).

2 Завершить работу операционной системы Windows.

3 Перевести ключ запуска в положение OFF.

4 Перевести главный выключатель в положение OFF.

После окончания рабочего процесса вначале отключить лазер перед выключением остального оборудования.

#### Контрольные вопросы

1 Назовите функциональные возможности 3D-принтера EP-M250.

2 В чем заключается принцип работы 3D-принтера EP-M250?

3 Назовите этапы создания объектов на 3D-принтере EP-M250.

4 Каким образом осуществляется подготовка данных для печати трехмерной модели на 3D-принтере EP-M250?

#### Список литературы

1 Берлинер, Э. М. САПР в машиностроении : учебник для вузов / Э. М. Берлинер, О. В. Таратынов. – Москва : Форум, 2011. – 448 с.

2 Алямовский, А. А. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов / А. А. Алямовский. – Москва: Пресс, 2004. – 432 с.

3 Акулович, Л. М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении: учебное пособие для вузов / Л. М. Акулович, В. К. Шелег. – Минск: Новое знание, 2016. – 488 с.

4 Основы автоматизированного проектирования : учебник / Под ред. А. П. Карпенко. – Москва : ИНФРА-М, 2017. – 329 с.

5 Шишов, О. В. Современные технологии и технические средства информатизации : учебник / О. В. Шишов. – Москва : ИНФРА-М, 2017. – 462 с.

6 Шишковский, И. В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения / И. В. Шишковский. – Санкт-Петербург : Питер, 2016. – 400 с.

7 Зленко, М. А. Аддитивные технологии в машиностроении / М. А. Зленко – Москва : НАМИ, 2015. – 342 с.

8 **Тарасова, Т. В.** Аддитивное производство: учебное пособие / Т. В. Тарасова. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 196 с.