

УТВЕРЖДАЮ  
Руководитель мероприятия №2  
Заместитель директора НОЦ  
«Композиты России» (МИЦ)  
\_\_\_\_\_  
Стойнова М.В.

## Практическая работа №1

### *Введение в 3D-моделирование и прототипирование*

#### Краткие теоретические сведения

##### **Виды 3D-моделирования и их различия**

Существует несколько видов трехмерных моделей:

1. Полигональная модель;
2. NURBS-поверхности.

Кроме того, есть три вида 3D-моделирования:

1. каркасное моделирование;
2. поверхностное моделирование;
3. твердотельное моделирование.

Можно выделить четыре уровня сложности объемных изображений:

- Первый – простейший – не содержит информации о структуре и мелких деталях объекта, например, бокалы и простые рамки.
- Второй, немного более сложный уровень, содержит более детальную информацию о модели. К такому уровню можно отнести тумбы, столы и другие несложные предметы.
- К третьему уровню можно отнести гарнитуры мебели и технику для дома из-за многочисленных мелких деталей и сложной неоднородной структуры.
- Четвертый чаще всего используется инженерами, примерами трехмерных моделей этого уровня могут служить модели станков, автомобилей и другой сложной техники.

Трехмерная модель состоит из множества точек, которые соединяются между собой гранями и образуют полигоны.

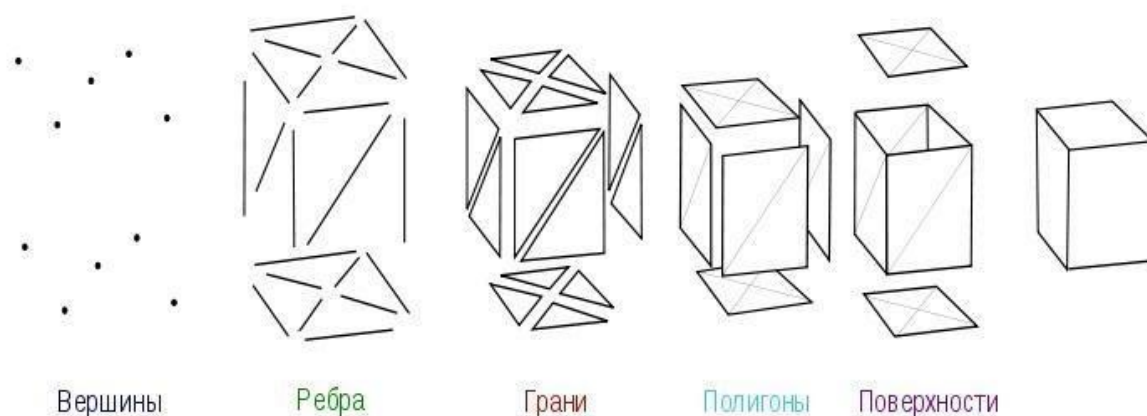


Рис. 1. Составные элементы модели

**Практическая работа №2**  
**Знакомство с программой Autodesk Inventor**  
**Краткие теоретические сведения**

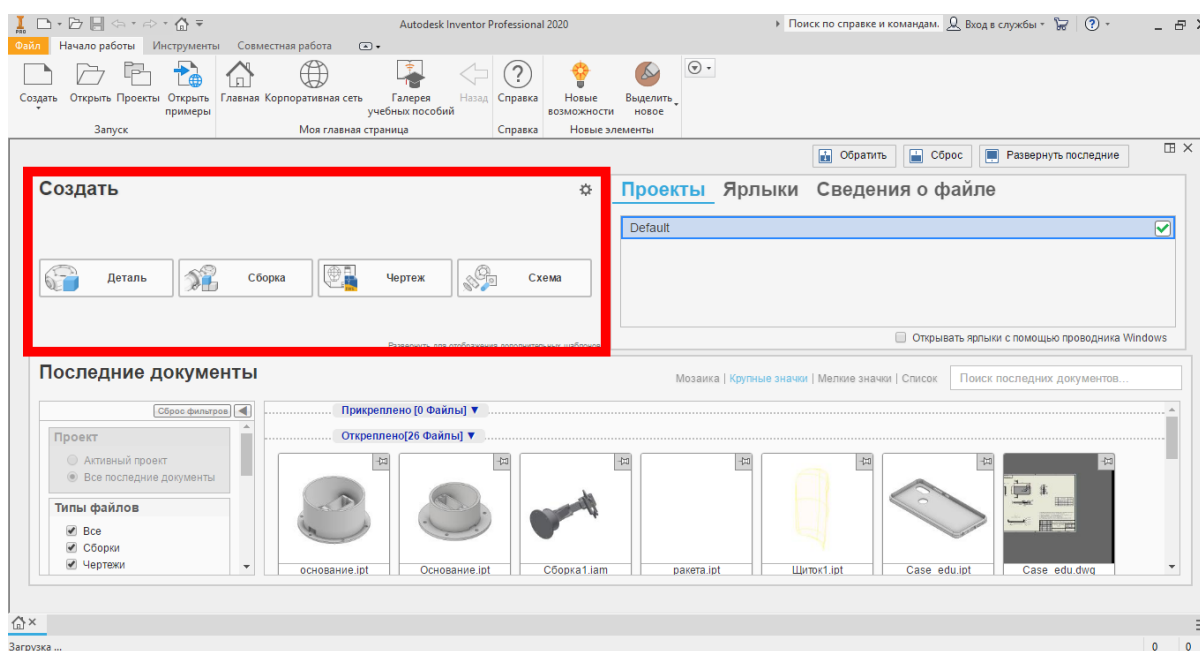


Рис. 1. Панель «Создать» меню навигации

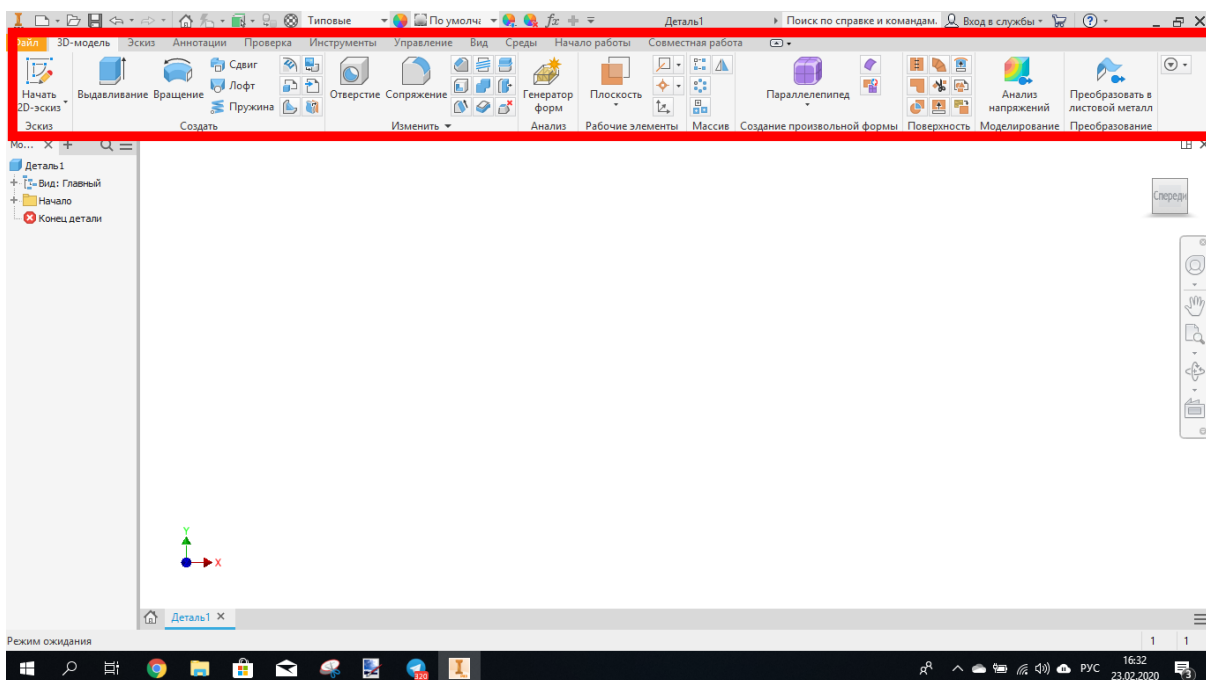


Рис. 2. Область ленты

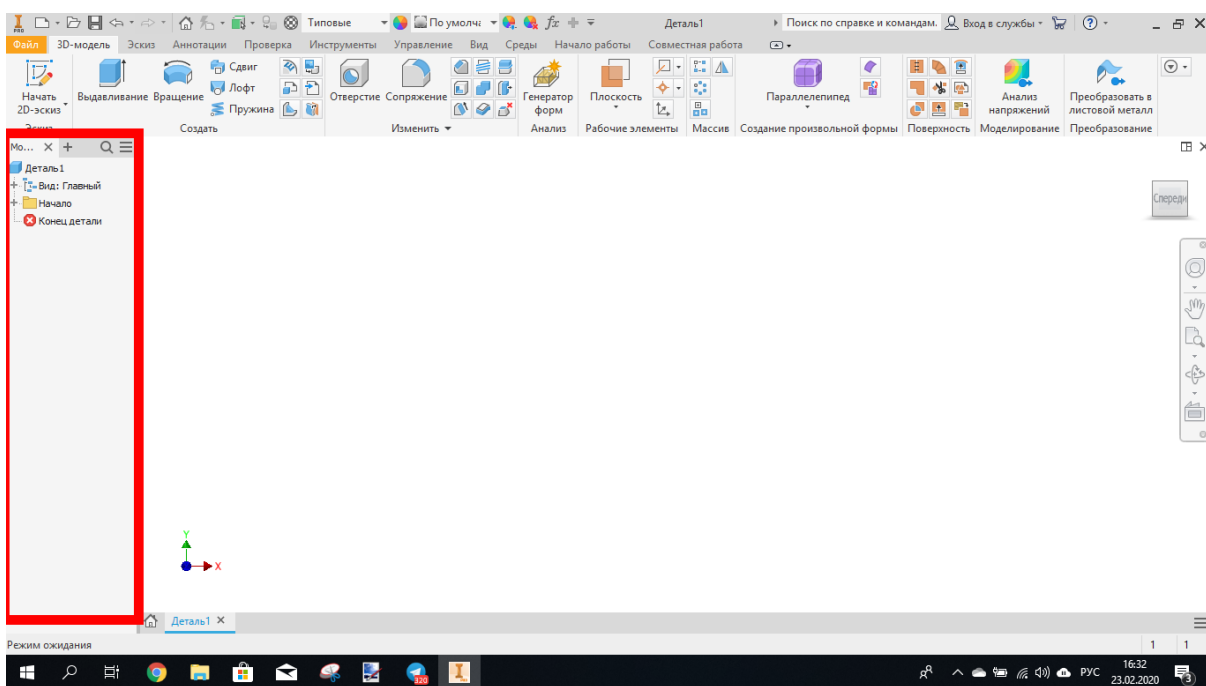


Рис. 3. Дерево построений модели

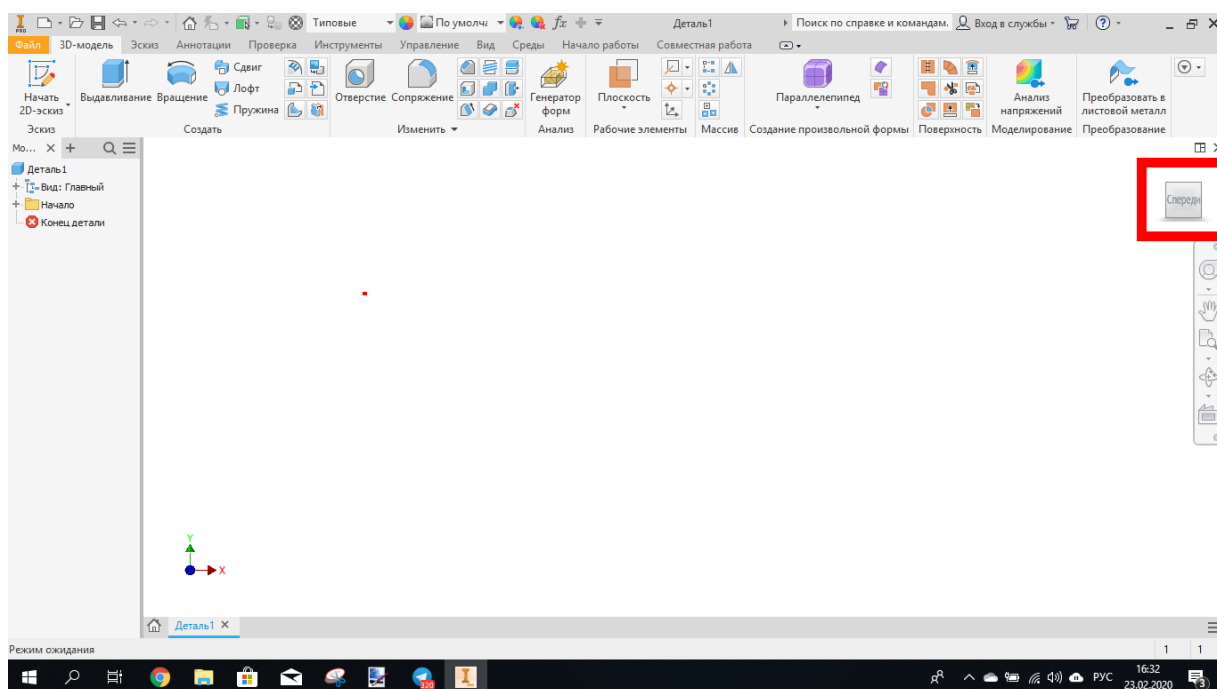


Рис. 4. Навигационный куб

### Практическая работа №3

#### *Изучение операции «Выдавливание» на примере моделирования настольного органайзера*

#### Краткие теоретические сведения

Существует 4 основных формообразующих операции:

1. Выдавливание
2. Вращение
3. Сдвиг
4. Лофт

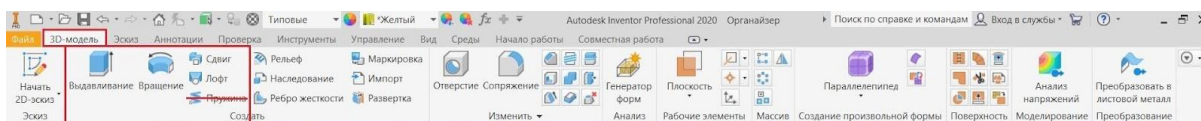


Рис. 1. Формообразующие операции на ленте модификаторов

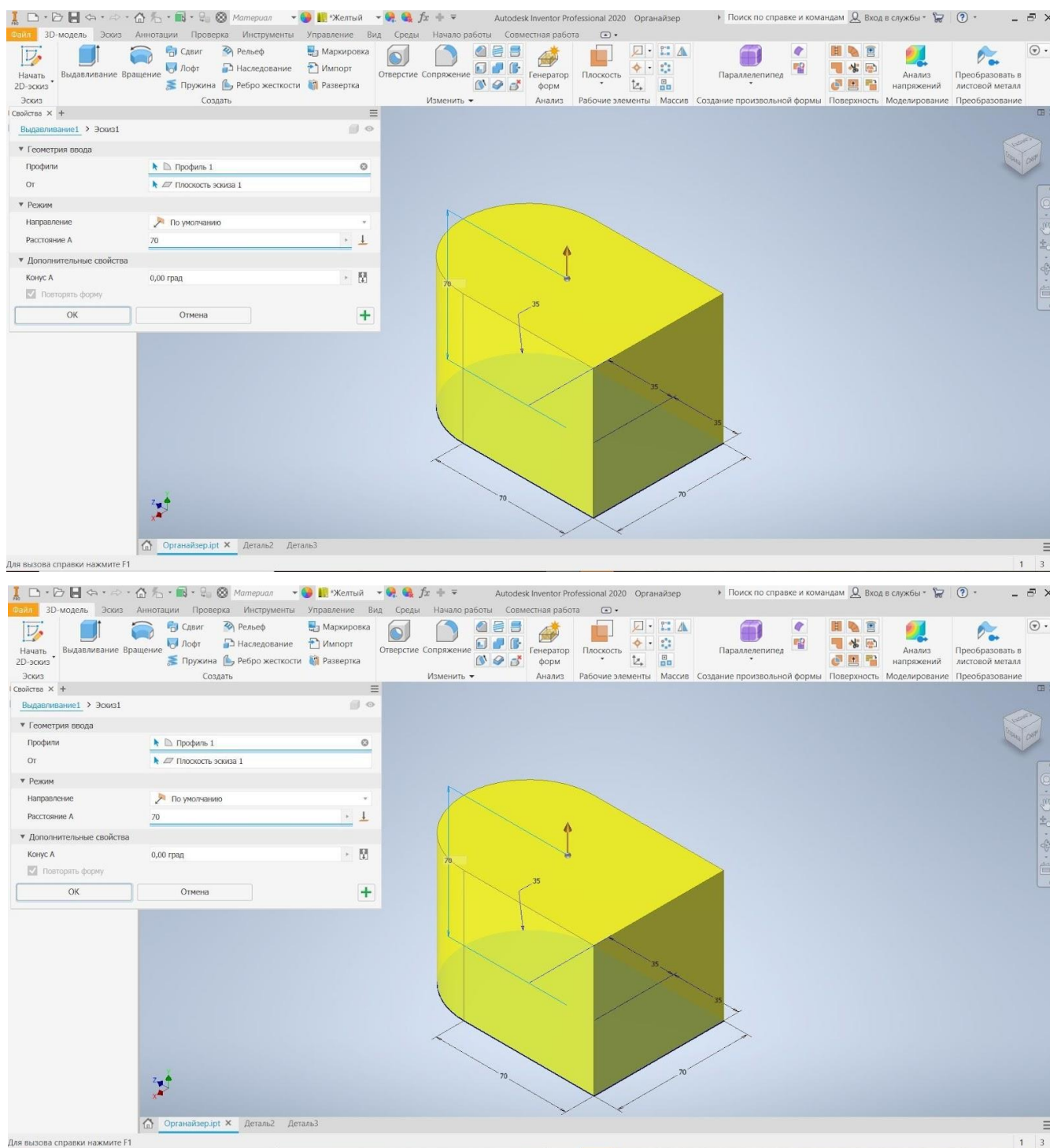


Рис. 2. Окно настройки операции «Выдавливание»

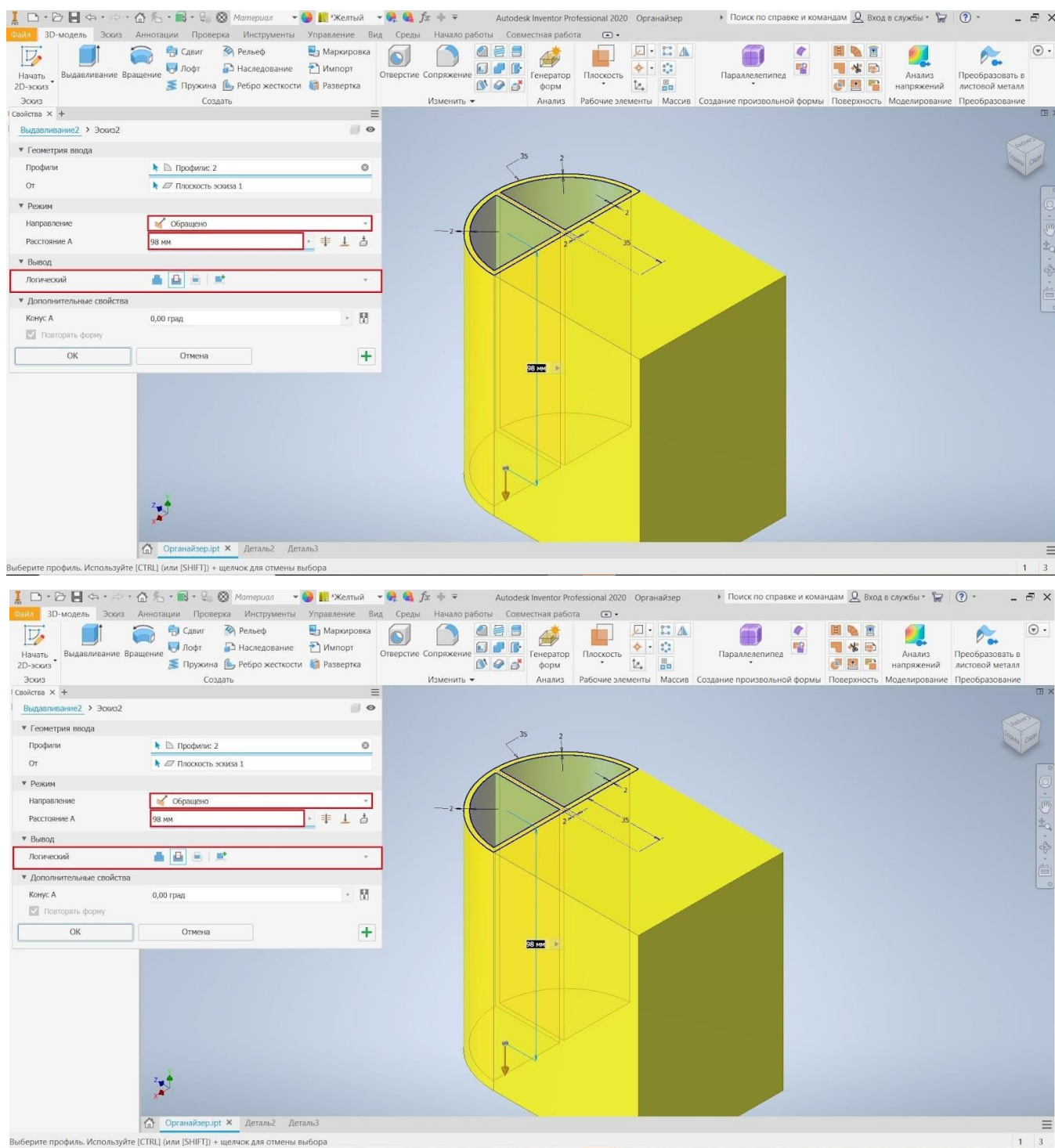


Рис. 3. Вырезание выдавливанием

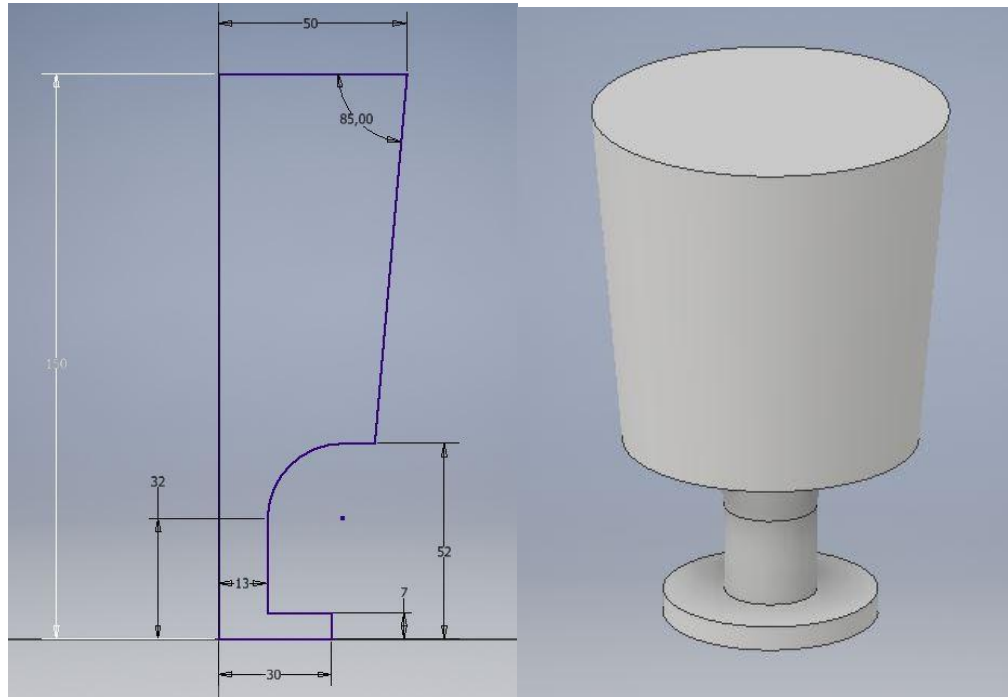
#### Практическая работа №4

*Изучение операций «Вращение» и «Сдвиг» на примере моделирования чаши Пифагора*

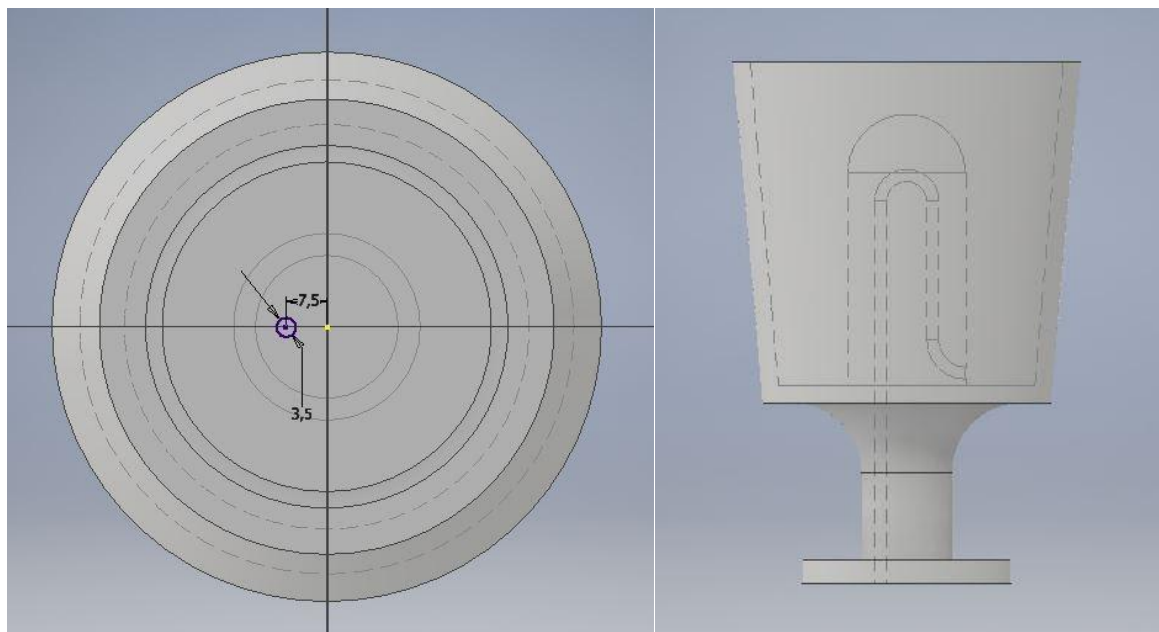
#### Краткие теоретические сведения

### Устройство чаши Пифагора

Чаша Пифагора (или кружка жадности) — специальный сосуд, придуманный Пифагором. Согласно истории, заставляет человека пить в умеренных количествах, позволяя заполнить чашу лишь до определенного уровня. Если человек заполняет выше, то содержимое полностью выливается.



**Рис. 1.** Эскиз и полученное тело вращения



**Рис. 2.** Эскиз сечения сифона и результат операции «Сдвиг»

## Практическая работа №5

### Оформление чертежа и визуализация модели

#### Краткие теоретические сведения

#### Создание чертежа чаши Пифагора

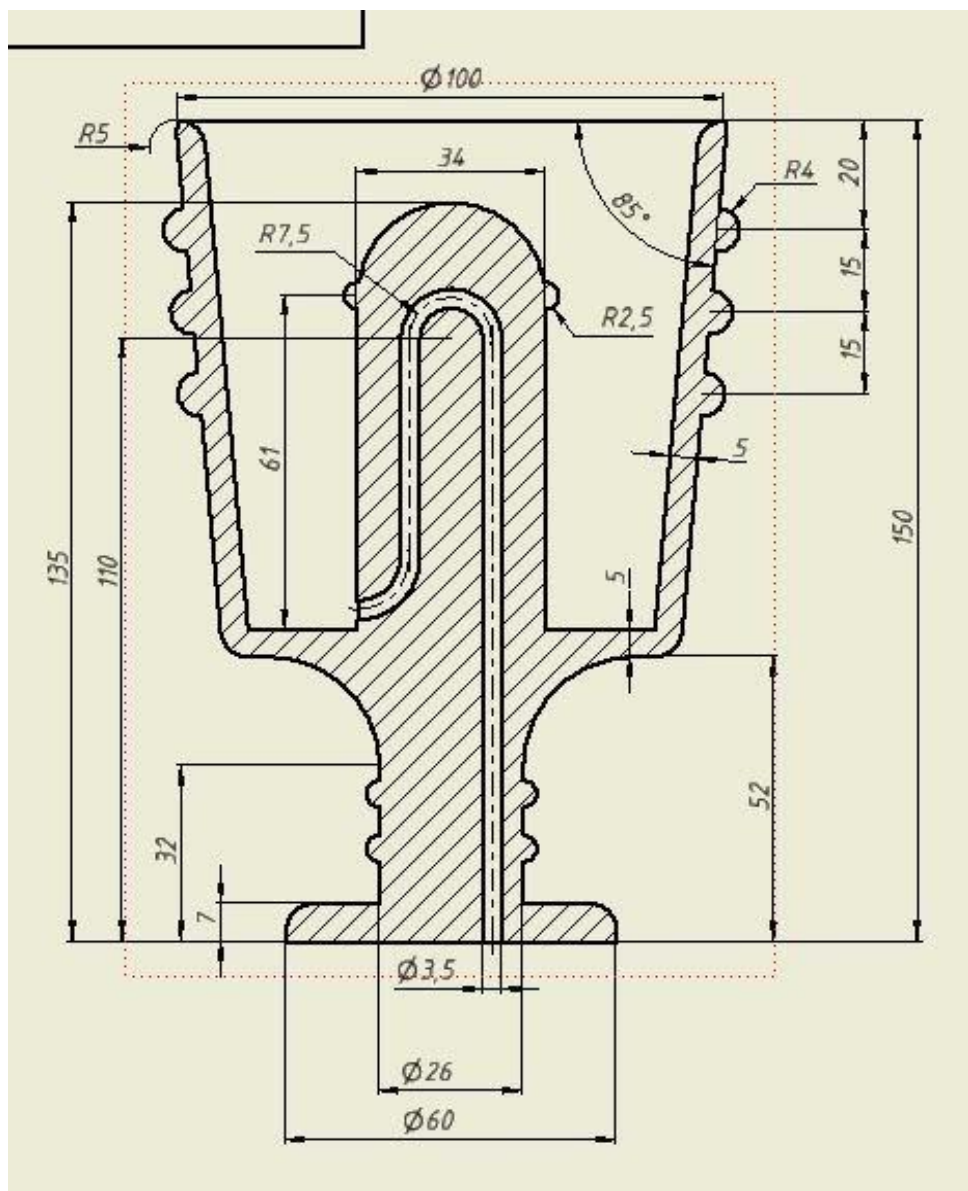


Рис. 1. Пример готового чертежа

#### Рендеринг модели

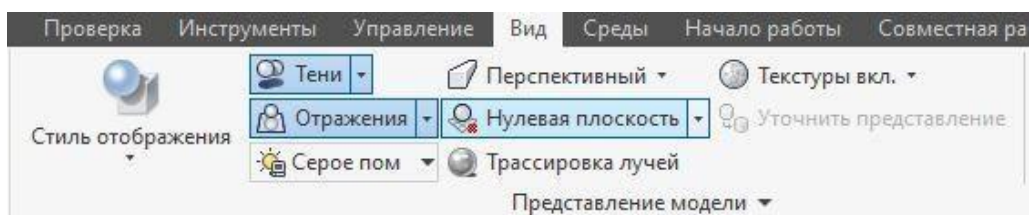


Рис. 2. Настройка параметров отображения модели

Перейдем на вкладку «Среды» и выберем инструмент «Inventor Studio».

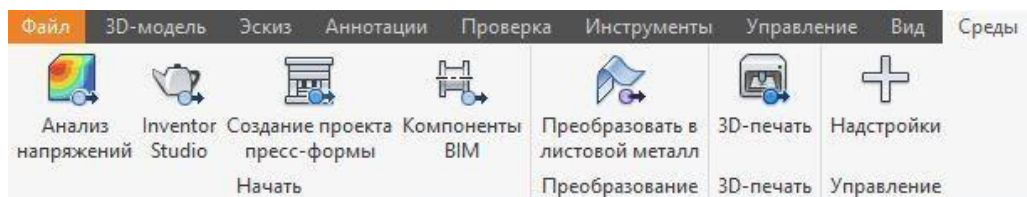


Рис. 3. Вкладка среды

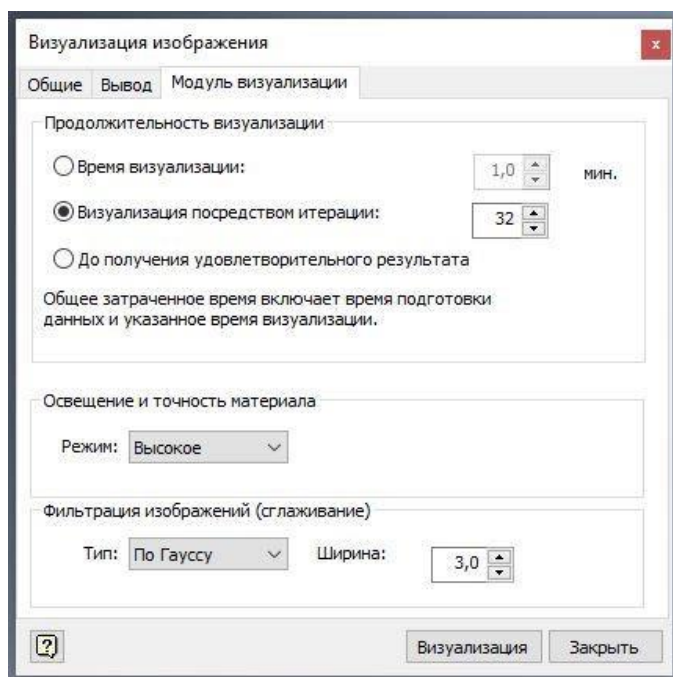


Рис. 4. Настройки окна «Визуализация изображения»

## Практическая работа №6

### Проект «Блок». Моделирование деталей.

#### Краткие теоретические сведения

Блок — простое механическое устройство, позволяющее уменьшить силу, необходимую для перемещения груза. Представляет собой колесо с желобом по окружности, вращающееся вокруг своей оси: желоб предназначен для каната, цепи, ремня и т. п., к которому присоединен перемещаемый груз. Фактически, любой блок представляет собой рычаг: в случае неподвижного блока — равноплечий.

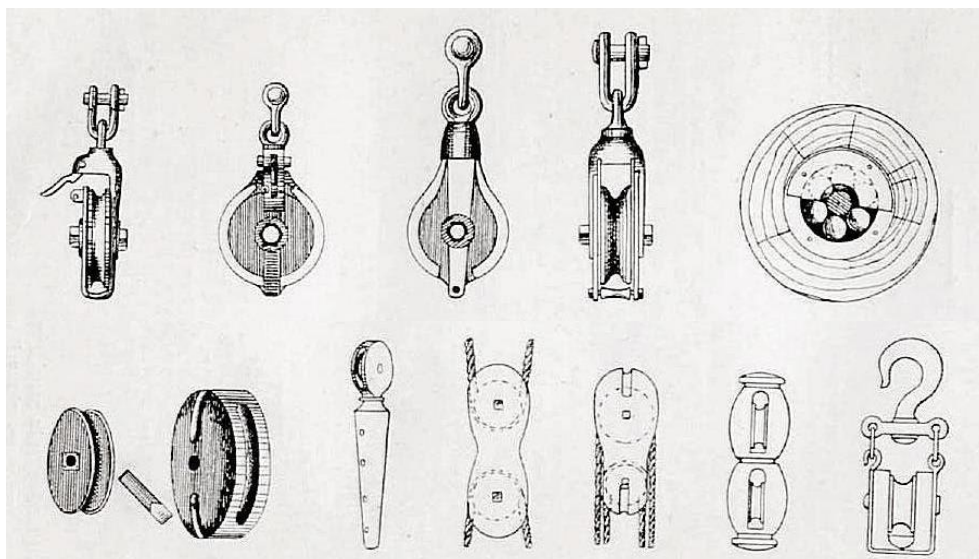


Рис. 1. Примеры блоков

### Практическая работа №7

#### Проект «Блок». Моделирование детали «Кронштейн»

#### Краткие теоретические сведения

Блок — простое механическое устройство, позволяющее уменьшить силу, необходимую для перемещения груза. Представляет собой колесо с желобом по окружности, вращающееся вокруг своей оси: желоб предназначен для каната, цепи, ремня и т. п., к которому присоединен перемещаемый груз. Фактически, любой блок представляет собой рычаг: в случае неподвижного блока — равноплечий.

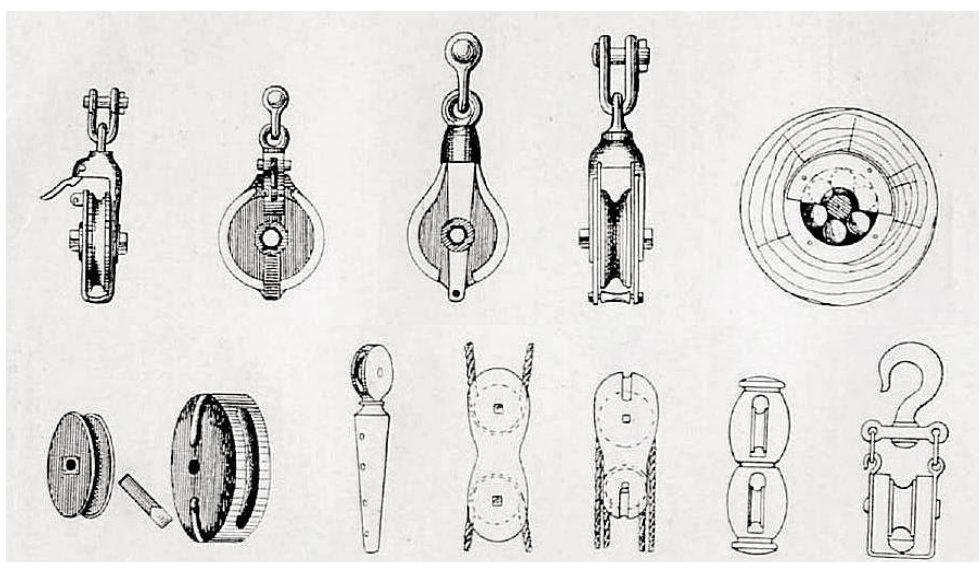


Рис. 1. Примеры блоков

### Практическая работа №8

#### Проект «Блок». Моделирование детали «Ось»

##### Краткие теоретические сведения

Блок — простое механическое устройство, позволяющее уменьшить силу, необходимую для перемещения груза. Представляет собой колесо с желобом по окружности, вращающееся вокруг своей оси: желоб предназначен для каната, цепи, ремня и т. п., к которому присоединен перемещаемый груз. Фактически, любой блок представляет собой рычаг: в случае неподвижного блока — равноплечий.

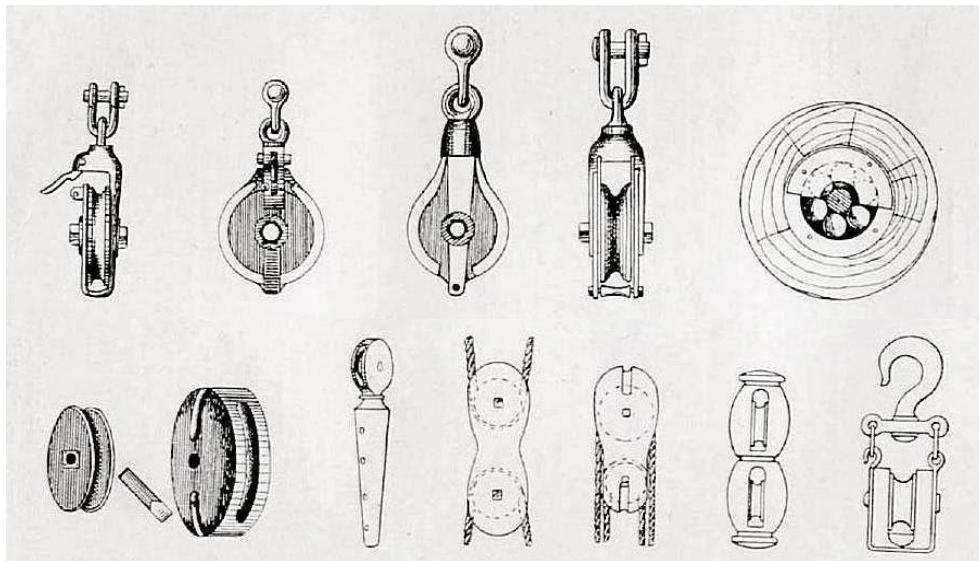


Рис. 1. Примеры блоков

### Лабораторная работа №9

#### Проект «Блок». Моделирование детали «Шкив»

##### Краткие теоретические сведения

Блок — простое механическое устройство, позволяющее уменьшить силу, необходимую для перемещения груза. Представляет собой колесо с желобом по окружности, вращающееся вокруг своей оси: желоб предназначен для каната, цепи, ремня и т. п., к которому присоединен перемещаемый груз. Фактически, любой блок представляет собой рычаг: в случае неподвижного блока — равноплечий.

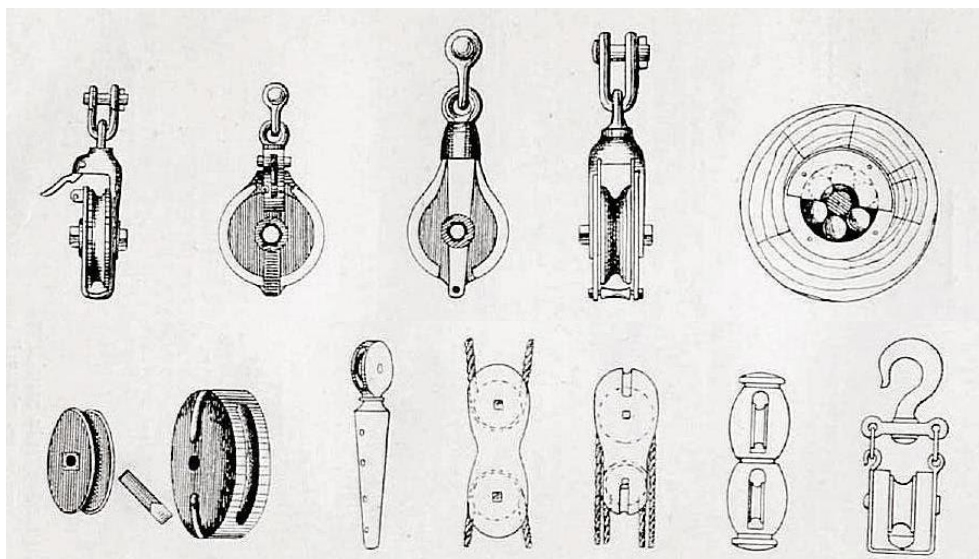


Рис. 1. Примеры блоков

### Лабораторная работа №10

#### Проект «Блок». Сборка изделия

#### Краткие теоретические сведения

Блок — простое механическое устройство, позволяющее уменьшить силу, необходимую для перемещения груза. Представляет собой колесо с желобом по окружности, вращающееся вокруг своей оси: желоб предназначен для каната, цепи, ремня и т. п., к которому присоединен перемещаемый груз. Фактически, любой блок представляет собой рычаг: в случае неподвижного блока — равноплечий.

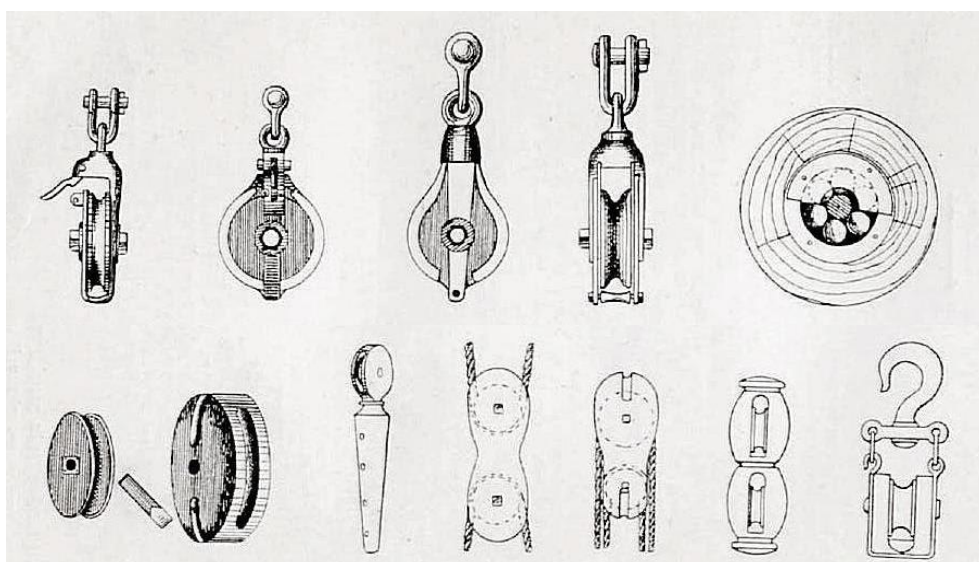


Рис. 1. Примеры блоков

### Лабораторная работа №11

#### Проект «Блок». Создание чертежа

#### Краткие теоретические сведения

Блок — простое механическое устройство, позволяющее уменьшить силу, необходимую для перемещения груза. Представляет собой колесо с желобом по окружности, вращающееся вокруг своей оси: желоб предназначен для каната, цепи, ремня и т. п., к которому присоединен перемещаемый груз. Фактически, любой блок представляет собой рычаг: в случае неподвижного блока — равноплечий.

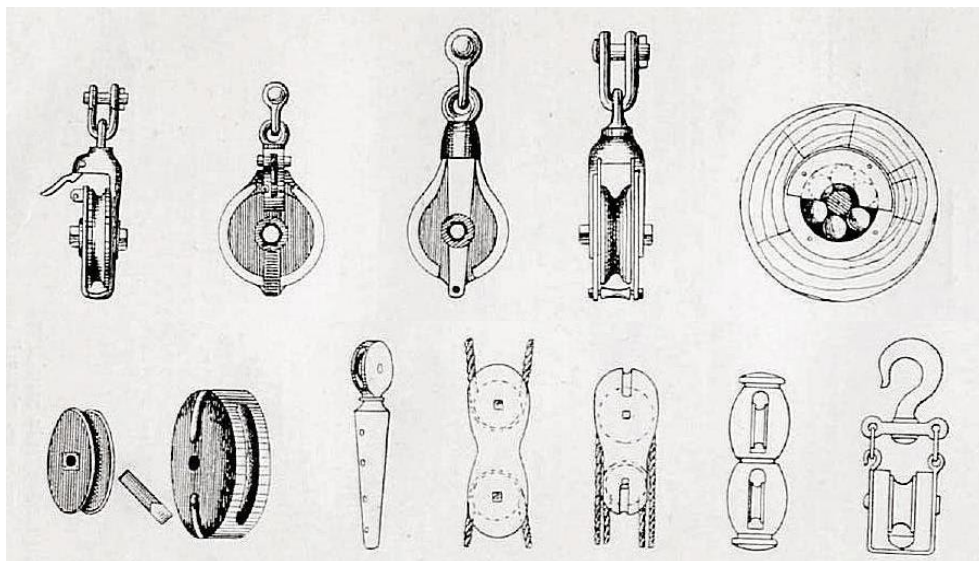


Рис. 1. Примеры блоков

### Лабораторная работа №12

#### Аддитивные технологии

#### Краткие теоретические сведения

В современных технологиях изготовления можно выделить 3 способа производства (рис. 1):

- субтрактивный - постепенное удаление материала (фрезерование, точение, электроэрозионная обработка);
- аддитивный - постепенное добавление материала до придания необходимой формы;
- формирующий - изменение формы механическим воздействием (гибка, ковка, штамповка).

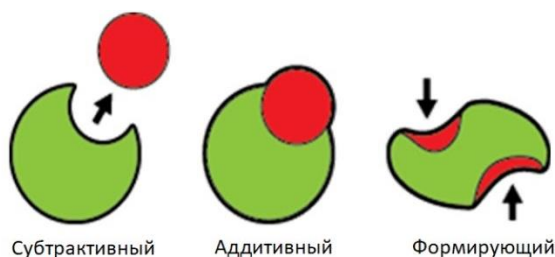
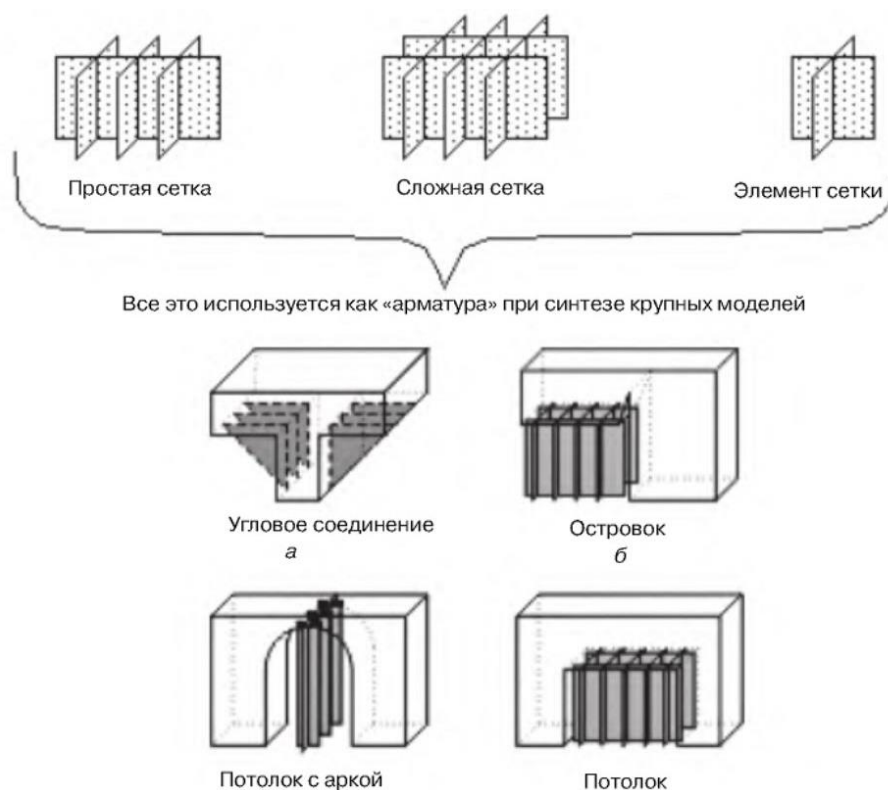


Рис. 1. Схематическое изображение видов производства

Для аддитивного производства применяются различные материалы, включая полимеры, литейные воски, металлы, листовые материалы (металлопрокат, бумага, ПВХ-пленка, гипсовые композиции) и др. С использованием специального программного обеспечения производится разбивка 3D-модели изделия на ряд плоских параллельных сечений, отстоящих друг от друга на малое расстояние (0,01 - 0,4 мм), в соответствии с требованиями конкретной модели оборудования.

Поддержки, то есть внутренние или внешние переборки (рис. 2), создаются на стадии подготовки 3D-модели к печати с помощью различных программ, например, Ultimaker Cura. Поддержки позволяют стабилизировать выступы, консоли на краях модели, предотвратить расслаивание в сложных участках модели, скорректировать возможное искривление слоев на платформе, позволяют легко отделять синтезированную модель от основания-платформы, облегчают синтез сложных моделей, так как последние создаются из нескольких частей.



**Рис. 2.** Примеры поддержек

### ***Лабораторная работа №13***

#### ***FDM-печать***

#### **Краткие теоретические сведения**

Процесс печати заключается в следующем (рис. 1). Материал попадает в экструдер, где нагревается и расплавляется. Экструдер размещает материал на столе через насадку сопла. Весь этот процесс контролируется устройством управления. В идеальном случае весь процесс

происходит внутри изолированного корпуса, в котором поддерживается заданная температура воздуха, что позволяет более точно контролировать слипание слоев и убирать дефекты, которые могут быть связаны с термоусадкой материала. Использование защищенной камеры так же позволяет защитить изделие от коробления и скручивания, повышая адгезию слоев.

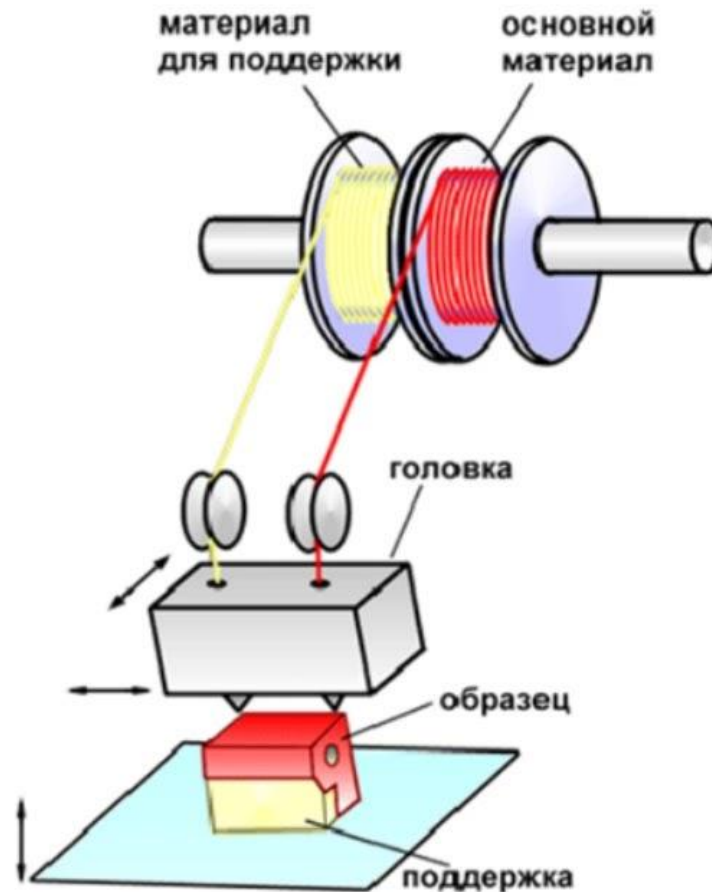


Рис. 1. Принцип работы 3D-принтера

### Лабораторная работа №14

#### Устройство 3D-принтера

#### Краткие теоретические сведения

#### Основные элементы конструкции 3D-принтера

На рис. 1 мы можем видеть типовую конструкцию 3D-принтера. Его основные элементы:

- 1 - корпус, играющий роль скелета для монтажа конструктивных элементов;
- 2 - направляющие, осуществляющие сравнительно свободное перемещение печатающей головки в заданном пространстве;
- 3 - печатающая головка (экструдер) - группа частей, которая выполняет подачу, нагрев и вытеснение (экструзию) расходного материала через сопло на рабочую поверхность;

4 - шаговые двигатели - элементы конструкции 3D-принтера, отвечающие за равномерное перемещение печатающей головки в заданном пространстве;

5 - рабочий стол - строительная платформа 3D-принтера, на которой осуществляется непосредственное создание трехмерного объекта;

6 - электроника - набор элементов, отвечающий за управление и координацию действий принтера в процессе печати.

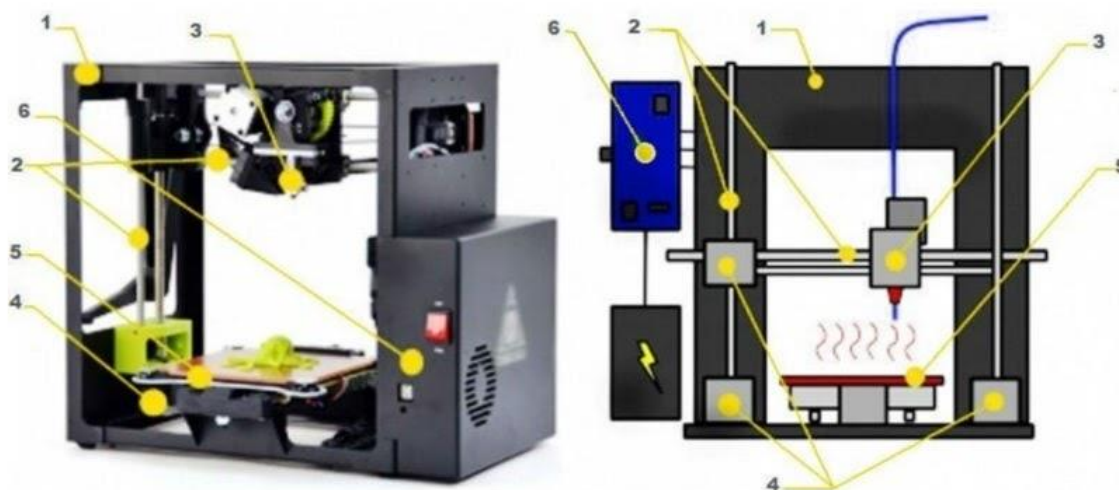


Рис. 1. Конструкция 3D-принтера

### Лабораторная работа №15

#### *Виды пластиков для 3D-печати*

#### **Краткие теоретические сведения**

##### **Виды пластиков для 3D-печати**

В качестве расходных материалов используются всевозможные полимеры, включая акрилонитрилбутадиенстирол (ABS) поликарбонат (PC) полилактид (PLA) полиэтилен высокого давления (HDPE) смеси поликарбоната и ABS-пластика, полифенилсульфон (PPSU) и до. Как правило полимер поставляется в форме наполнителя, изготовленного из чистого пластика. В сообществе энтузиастов 3D-печати существует несколько проектов, направленных на переработку использованного пластика в материалы для 3D-печати. Проекты основаны на выработке расходных материалов с помощью шредеров и переплавляющих устройств и также имеют открытые исходные данные проектов. Изучим пластики подробнее.



Рис. 1. Катушки с пластиком для 3D-принтера

### Практическая работа №16

#### *Проект «Мельница». Моделирование деталей из листового металла.*

#### Краткие теоретические сведения

Детали выполняются в модуле «Листовой металл». Создадим файл детали, затем, в правом верхнем углу нажимаем на инструмент «Преобразовать в листовой металл».

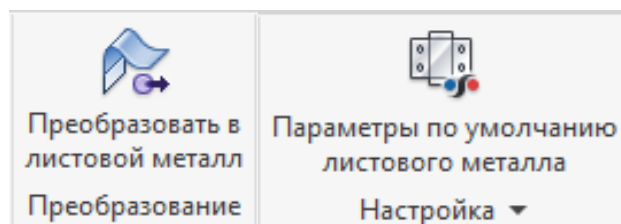


Рис. 1. Кнопки создания детали из листового металла

Перейдем к настройке листового металла. Установим параметры листа согласно рис. 2.

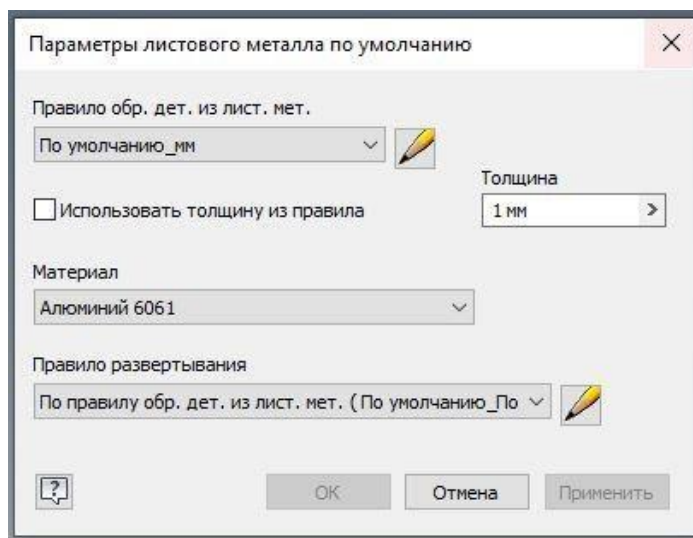


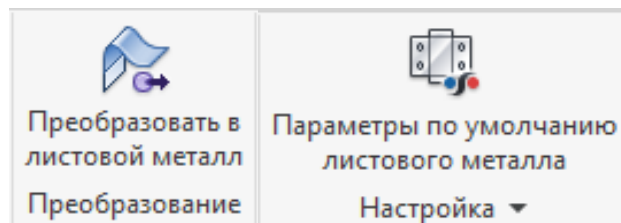
Рис. 2. Окно настроек параметров листового металла

### Практическая работа №17

#### *Проект «Мельница». Моделирование деталей из листового металла.*

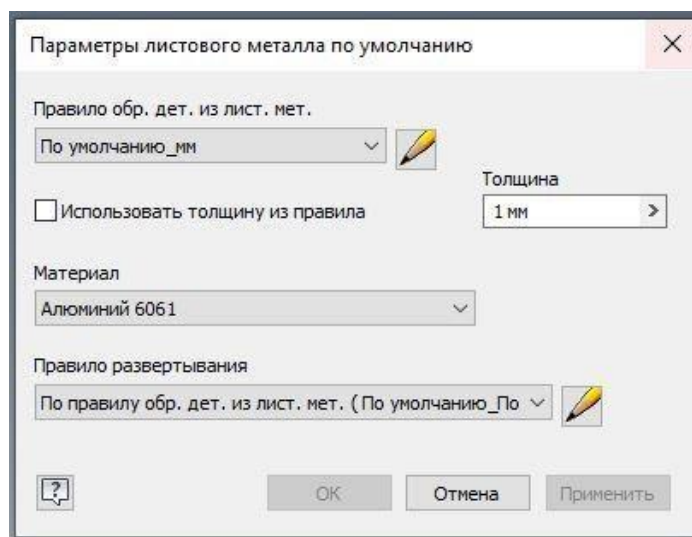
##### Краткие теоретические сведения

Детали выполняются в модуле «Листовой металл». Создадим файл детали, затем, в правом верхнем углу нажимаем на инструмент «Преобразовать в листовой металл».



**Рис. 1.** Кнопки создания детали из листового металла

Перейдем к настройке листового металла. Установим параметры листа согласно рис. 2.



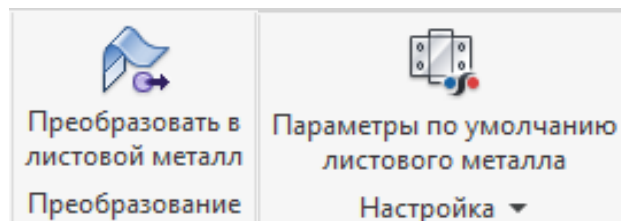
**Рис. 2.** Окно настроек параметров листового металла

### Практическая работа №18

#### *Проект «Мельница». Создание сборочных узлов.*

##### Краткие теоретические сведения

Детали выполняются в модуле «Листовой металл». Создадим файл детали, затем, в правом верхнем углу нажимаем на инструмент «Преобразовать в листовой металл».



**Рис. 1.** Кнопки создания детали из листового металла

Перейдем к настройке листового металла. Установим параметры листа согласно рис. 2.

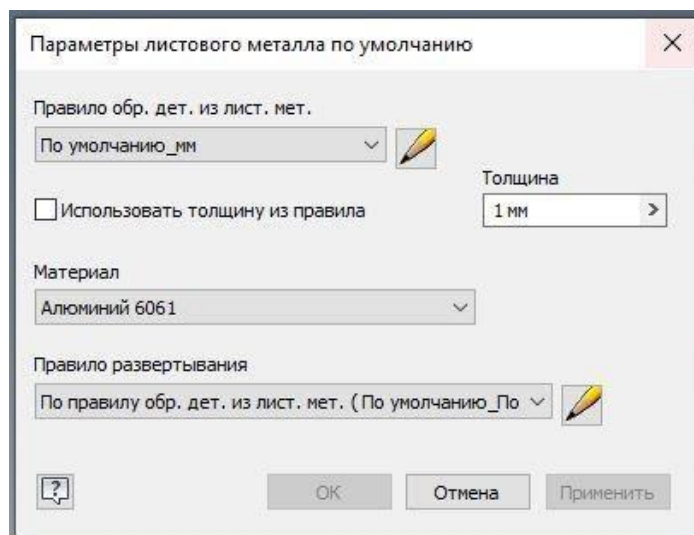


Рис. 2. Окно настроек параметров листового металла

### Практическая работа №19

*Проект «Мельница». Создание сборочных узлов.*

#### Краткие теоретические сведения

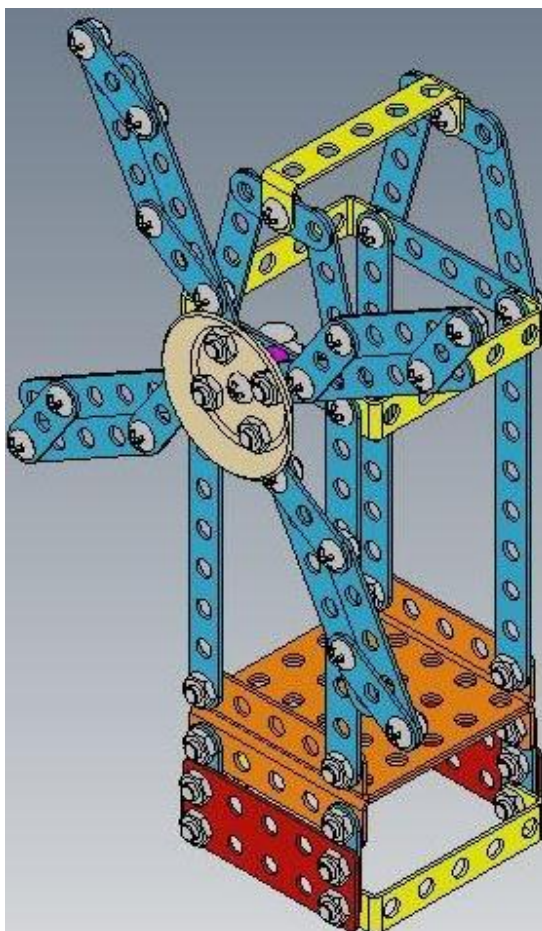


Рис. 1. Окончательный вид сборки

### Практическая работа №20

#### *Проект «Винт Архимеда». Моделирование винтовой поверхности*

##### Краткие теоретические сведения

Архимедов винт — механизм, исторически использовавшийся для передачи воды из низлежащих водоёмов в оросительные каналы. Он был одним из нескольких изобретений и открытий, традиционно приписываемых Архимеду, жившему в III веке до н. э. Архимедов винт стал прообразом шнека.

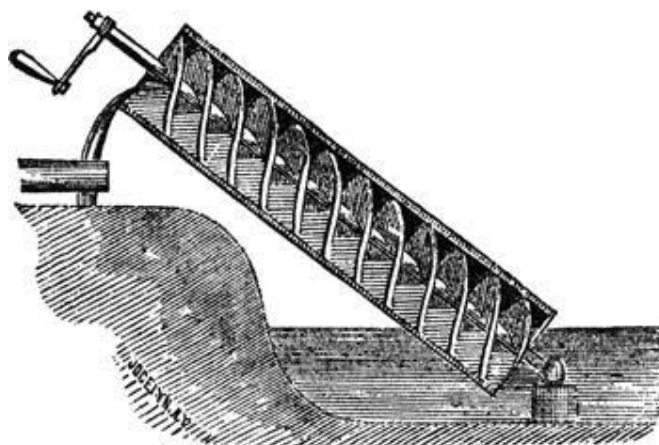


Рис. 1. Винт Архимеда

### Практическая работа №21

#### *Проект «Винт Архимеда». Создание чертежа и анимация сборки.*

##### Краткие теоретические сведения

Архимедов винт — механизм, исторически использовавшийся для передачи воды из низлежащих водоёмов в оросительные каналы. Он был одним из нескольких изобретений и открытий, традиционно приписываемых Архимеду, жившему в III веке до н. э. Архимедов винт стал прообразом шнека.

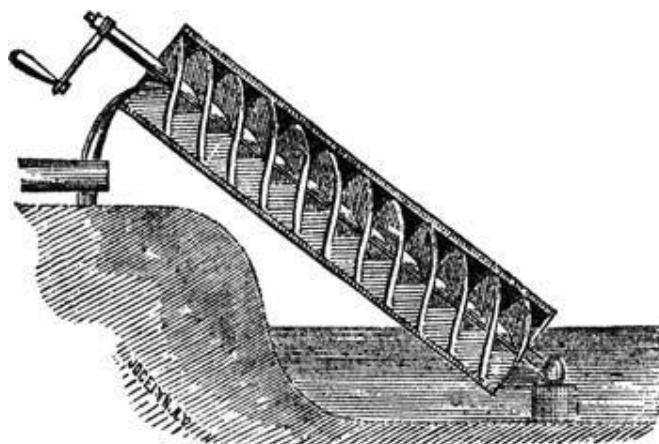
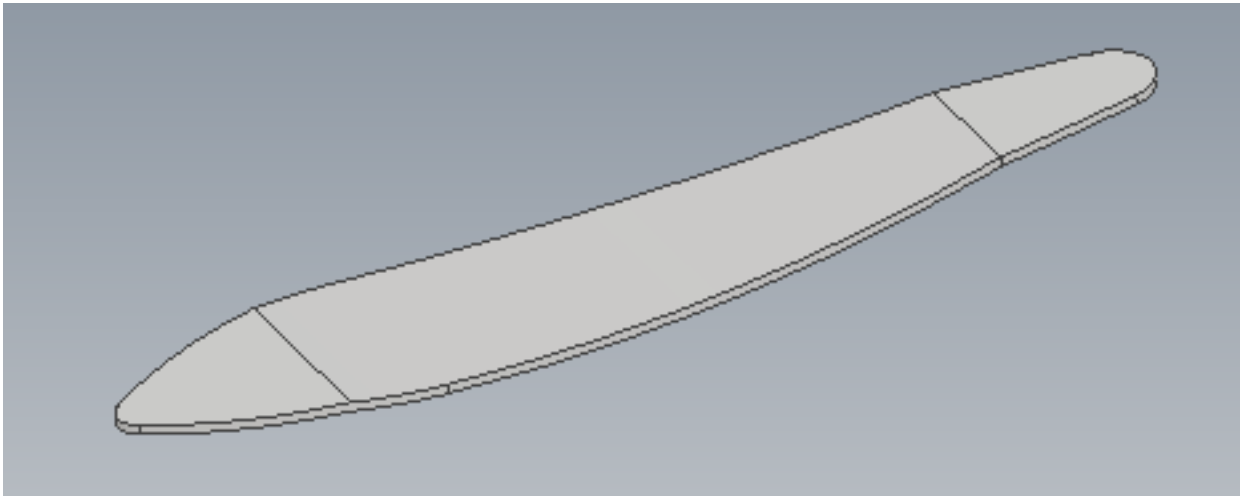


Рис. 1. Винт Архимеда

**Практическая работа №22**

*Проект «Лонгборд». Поверхностное моделирование.*

**Краткие теоретические сведения**

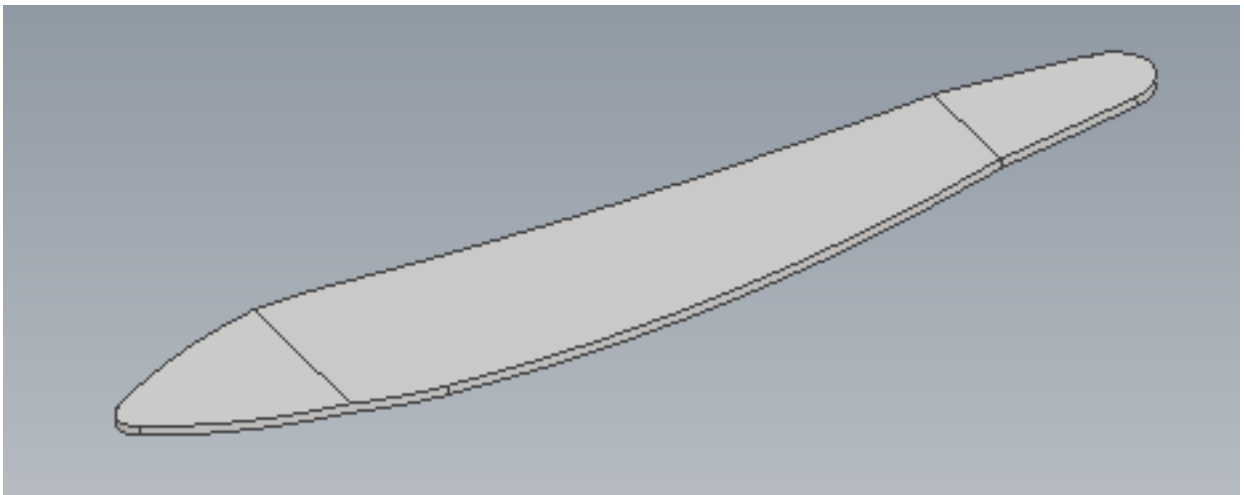


**Рис. 1.** Итоговая модель

**Практическая работа №23**

*Проект «Лонгборд». Проектирование деталей.*

**Краткие теоретические сведения**



**Рис. 1.** Итоговая модель

**Лабораторная работа №24**

*Доработка и оформление выполненных работ*

**Краткие теоретические сведения**

В данной работе не предусмотрено теоретических сведений.

### Контрольная работа №25

#### Защита проектов

#### Краткие теоретические сведения

В данной работе не предусмотрено теоретических сведений.

### Практическая работа №26

#### Проект «Кулачковый насос». Моделирование деталей.

#### Краткие теоретические сведения

##### Принцип работы и применение поршневого насоса

Поршневой насос (плунжерный насос) — один из видов объёмных гидромашин, в котором вытеснителями являются один или несколько поршней (плунжеров), совершающих возвратно-поступательное движение.

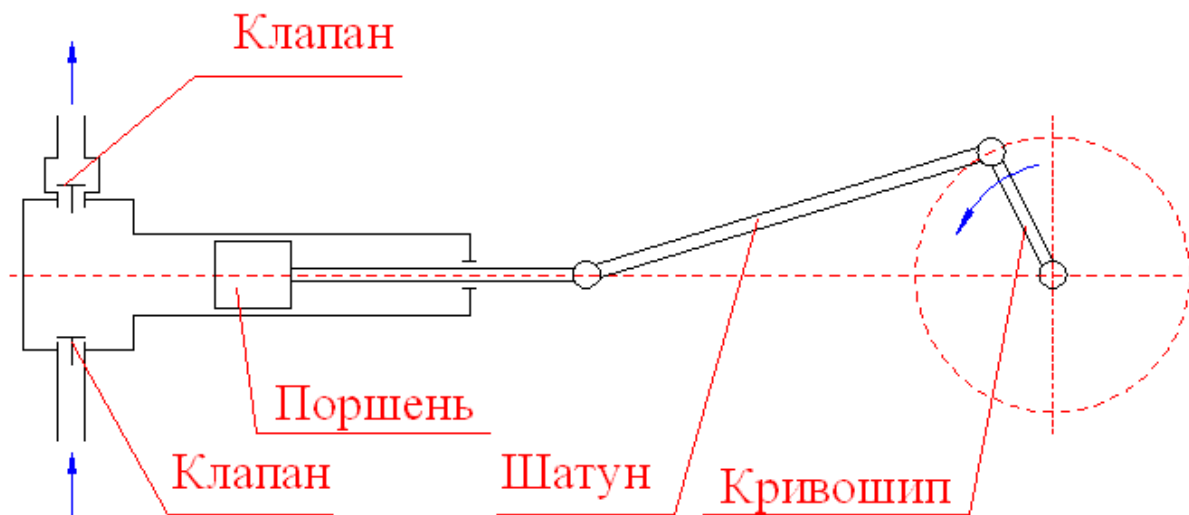


Рис. 1. Структурная схема поршневого насоса

Принцип работы таков: за счет поступательного движения поршня создается разрежение в полости под ним, и туда засасывается жидкость из подводящего (всасывающего) трубопровода. При обратном движении поршня на всасывающем трубопроводе закрывается клапан, предотвращающий протечку жидкости обратно, и открывается клапан на нагнетательном трубопроводе, который был закрыт при всасывании. Туда вытесняется жидкость, которая находилась под поршнем, и процесс повторяется. Недостаток такого насоса в том, что жидкость движется по трубопроводу с различной скоростью (скачками). Этот момент обычно обходят созданием насосов, в которых несколько поршней. Основное преимущество в том, что он способен закачивать жидкость, будучи в момент пуска незаполненным ею (сухое всасывание), и поэтому применяется обычно там, где этим преимуществом необходимо воспользоваться.

Одним из недостатков поршневых насосов, как и других объёмных насосов, являются пульсации подачи и давления. Пульсации можно уменьшить, расположив несколько поршней в ряд и соединив их с одним валом таким образом, чтобы циклы их работы были сдвинуты друг относительно друга по фазе на равные углы. Другим способом борьбы с пульсацией является использование дифференциальной схемы включения насоса), при которой нагнетание жидкости осуществляется не только во время прямого хода поршня, но и во время обратного хода.

Также широко применяют насосы двустороннего действия, у которых как поршневая, так и штоковая полость имеют (в отличие от дифференциальной схемы включения) свою клапанную систему распределения. У таких насосов коэффициент пульсаций ниже, а КПД выше, чем у насосов одностороннего действия.

Поршневые насосы используются с глубокой древности. Известно их применение для целей водоснабжения со II века до нашей эры. В настоящее время поршневые насосы используются в системах водоснабжения, в пищевой и химической промышленности, в быту. Диафрагменные насосы используются, например, в системах подачи топлива в двигателях внутреннего сгорания.

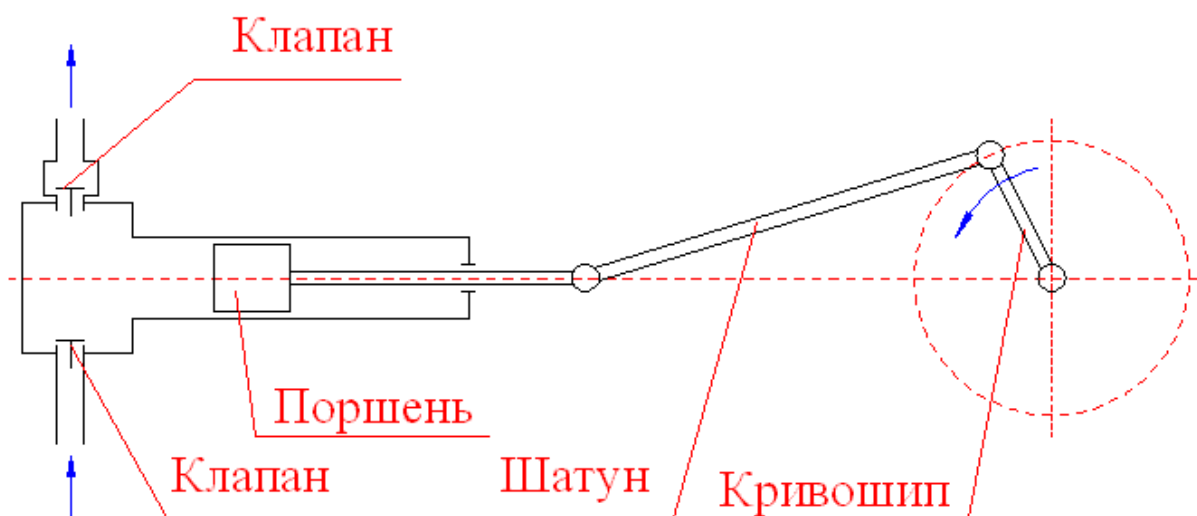
### Практическая работа №27

#### *Проект «Кулачковый насос». Моделирование деталей.*

#### Краткие теоретические сведения

##### Принцип работы и применение поршневого насоса

Поршневой насос (плунжерный насос) — один из видов объёмных гидромашин, в котором вытеснителями являются один или несколько поршней (плунжеров), совершающих возвратно-поступательное движение.



**Рис. 1.** Структурная схема поршневого насоса

Принцип работы таков: за счет поступательного движения поршня создается разрежение в полости под ним, и туда засасывается жидкость из подводящего (всасывающего) трубопровода. При обратном движении поршня на всасывающем трубопроводе закрывается клапан, предотвращающий протечку жидкости обратно, и открывается клапан на нагнетательном трубопроводе, который был закрыт при всасывании. Туда вытесняется жидкость, которая находилась под поршнем, и процесс повторяется. Недостаток такого насоса в том, что жидкость движется по трубопроводу с различной скоростью (скачками). Этот момент обычно обходят созданием насосов, в которых несколько поршней. Основное преимущество в том, что он способен закачивать жидкость, будучи в момент пуска незаполненным ею (сухое всасывание), и поэтому применяется обычно там, где этим преимуществом необходимо воспользоваться.

Одним из недостатков поршневых насосов, как и других объёмных насосов, являются пульсации подачи и давления. Пульсации можно уменьшить, расположив несколько поршней в ряд и соединив их с одним валом таким образом, чтобы циклы их работы были сдвинуты друг относительно друга по фазе на равные углы. Другим способом борьбы с пульсацией является использование дифференциальной схемы включения насоса), при которой нагнетание жидкости осуществляется не только во время прямого хода поршня, но и во время обратного хода.

Также широко применяют насосы двустороннего действия, у которых как поршневая, так и штоковая полость имеют (в отличие от дифференциальной схемы включения) свою клапанную систему распределения. У таких насосов коэффициент пульсаций ниже, а КПД выше, чем у насосов одностороннего действия.

Поршневые насосы используются с глубокой древности. Известно их применение для целей водоснабжения со II века до нашей эры. В настоящее время поршневые насосы используются в системах водоснабжения, в пищевой и химической промышленности, в быту. Диафрагменные насосы используются, например, в системах подачи топлива в двигателях внутреннего сгорания.

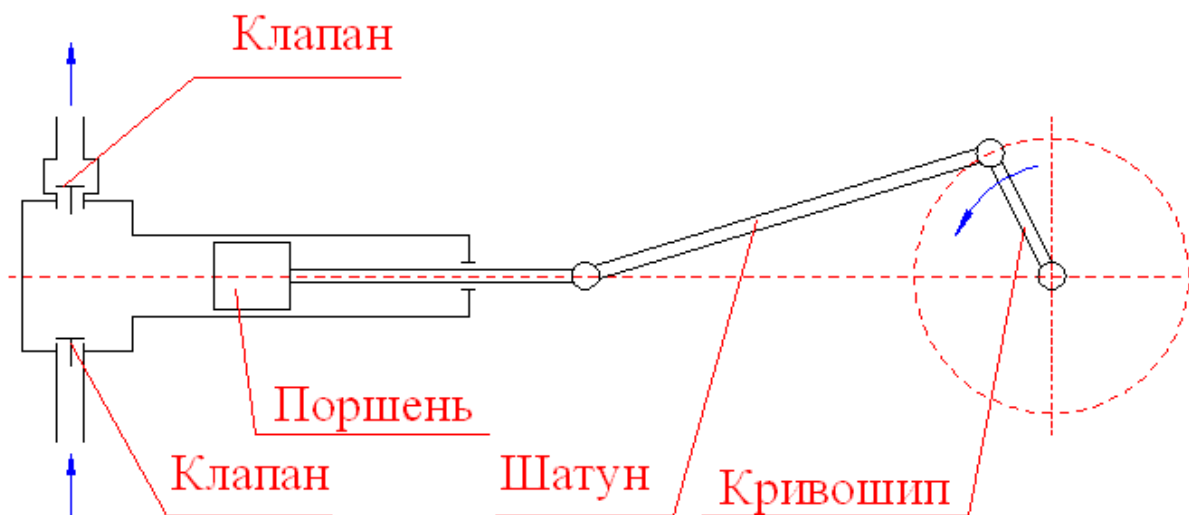
### **Практическая работа №28**

#### ***Проект «Кулачковый насос». Моделирование деталей.***

#### **Краткие теоретические сведения**

##### **Принцип работы и применение поршневого насоса**

Поршневой насос (плунжерный насос) — один из видов объёмных гидромашин, в котором вытеснителями являются один или несколько поршней (плунжеров), совершающих возвратно-поступательное движение.



**Рис. 1.** Структурная схема поршневого насоса

Принцип работы таков: за счет поступательного движения поршня создается разрежение в полости под ним, и туда засасывается жидкость из подводящего (всасывающего) трубопровода. При обратном движении поршня на всасывающем трубопроводе закрывается клапан, предотвращающий протечку жидкости обратно, и открывается клапан на нагнетательном трубопроводе, который был закрыт при всасывании. Туда вытесняется жидкость, которая находилась под поршнем, и процесс повторяется. Недостаток такого насоса в том, что жидкость движется по трубопроводу с различной скоростью (скачками). Этот момент обычно обходят созданием насосов, в которых несколько поршней. Основное преимущество в том, что он способен закачивать жидкость, будучи в момент пуска незаполненным ею (сухое всасывание), и поэтому применяется обычно там, где этим преимуществом необходимо воспользоваться.

Одним из недостатков поршневых насосов, как и других объёмных насосов, являются пульсации подачи и давления. Пульсации можно уменьшить, расположив несколько поршней в ряд и соединив их с одним валом таким образом, чтобы циклы их работы были сдвинуты друг относительно друга по фазе на равные углы. Другим способом борьбы с пульсацией является использование дифференциальной схемы включения насоса), при которой нагнетание жидкости осуществляется не только во время прямого хода поршня, но и во время обратного хода.

Также широко применяют насосы двустороннего действия, у которых как поршневая, так и штоковая полости имеют (в отличие от дифференциальной схемы включения) свою клапанную систему распределения. У таких насосов коэффициент пульсаций ниже, а КПД выше, чем у насосов одностороннего действия.

Поршневые насосы используются с глубокой древности. Известно их применение для целей водоснабжения со II века до нашей эры. В настоящее время поршневые насосы используются в

системах водоснабжения, в пищевой и химической промышленности, в быту. Диафрагменные насосы используются, например, в системах подачи топлива в двигателях внутреннего сгорания.

## Практическая работа №29

### Проект «Кулачковый насос». Моделирование деталей.

#### Краткие теоретические сведения

##### Принцип работы и применение поршневого насоса

Поршневой насос (плунжерный насос) — один из видов объёмных гидромашин, в котором вытеснителями являются один или несколько поршней (плунжеров), совершающих возвратно-поступательное движение.

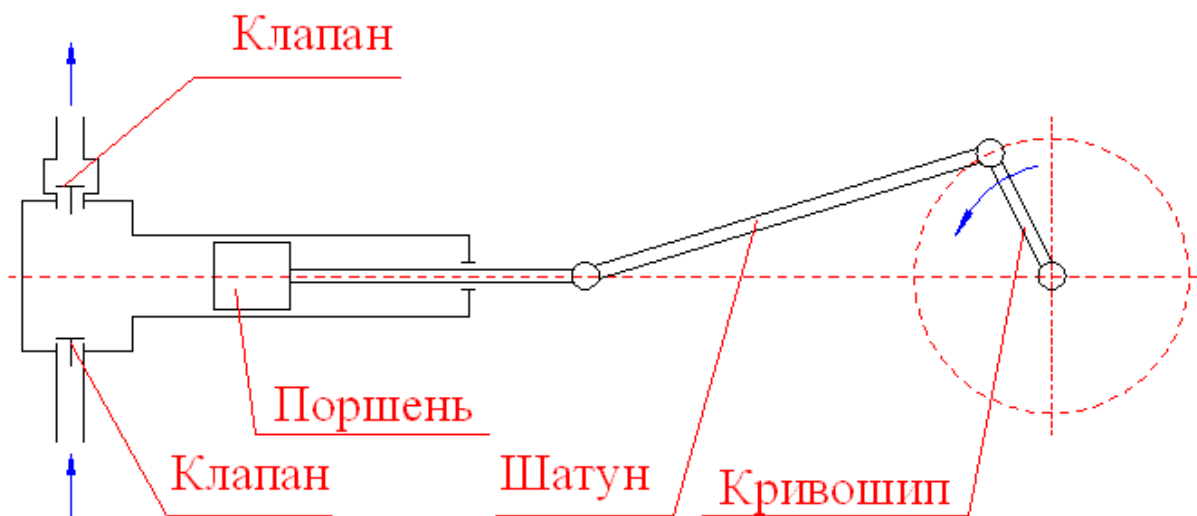


Рис. 1. Структурная схема поршневого насоса

Принцип работы таков: за счет поступательного движения поршня создается разрежение в полости под ним, и туда засасывается жидкость из подводящего (всасывающего) трубопровода. При обратном движении поршня на всасывающем трубопроводе закрывается клапан, предотвращающий протечку жидкости обратно, и открывается клапан на нагнетательном трубопроводе, который был закрыт при всасывании. Туда вытесняется жидкость, которая находилась под поршнем, и процесс повторяется. Недостаток такого насоса в том, что жидкость движется по трубопроводу с различной скоростью (скачками). Этот момент обычно обходят созданием насосов, в которых несколько поршней. Основное преимущество в том, что он способен закачивать жидкость, будучи в момент пуска незаполненным ею (сухое всасывание), и поэтому применяется обычно там, где этим преимуществом необходимо воспользоваться.

Одним из недостатков поршневых насосов, как и других объёмных насосов, являются пульсации подачи и давления. Пульсации можно уменьшить, расположив несколько поршней в ряд

и соединив их с одним валом таким образом, чтобы циклы их работы были сдвинуты друг относительно друга по фазе на равные углы. Другим способом борьбы с пульсацией является использование дифференциальной схемы включения насоса), при которой нагнетание жидкости осуществляется не только во время прямого хода поршня, но и во время обратного хода.

Также широко применяют насосы двустороннего действия, у которых как поршневая, так и штоковая полость имеют (в отличие от дифференциальной схемы включения) свою клапанную систему распределения. У таких насосов коэффициент пульсаций ниже, а КПД выше, чем у насосов одностороннего действия.

Поршневые насосы используются с глубокой древности. Известно их применение для целей водоснабжения со II века до нашей эры. В настоящее время поршневые насосы используются в системах водоснабжения, в пищевой и химической промышленности, в быту. Диафрагменные насосы используются, например, в системах подачи топлива в двигателях внутреннего сгорания.

### Практическая работа №30

#### Проект «Кулачковый насос». Моделирование деталей.

#### Краткие теоретические сведения

##### Принцип работы и применение поршневого насоса

Поршневой насос (плунжерный насос) — один из видов объёмных гидромашин, в котором вытеснителями являются один или несколько поршней (плунжеров), совершающих возвратно-поступательное движение.

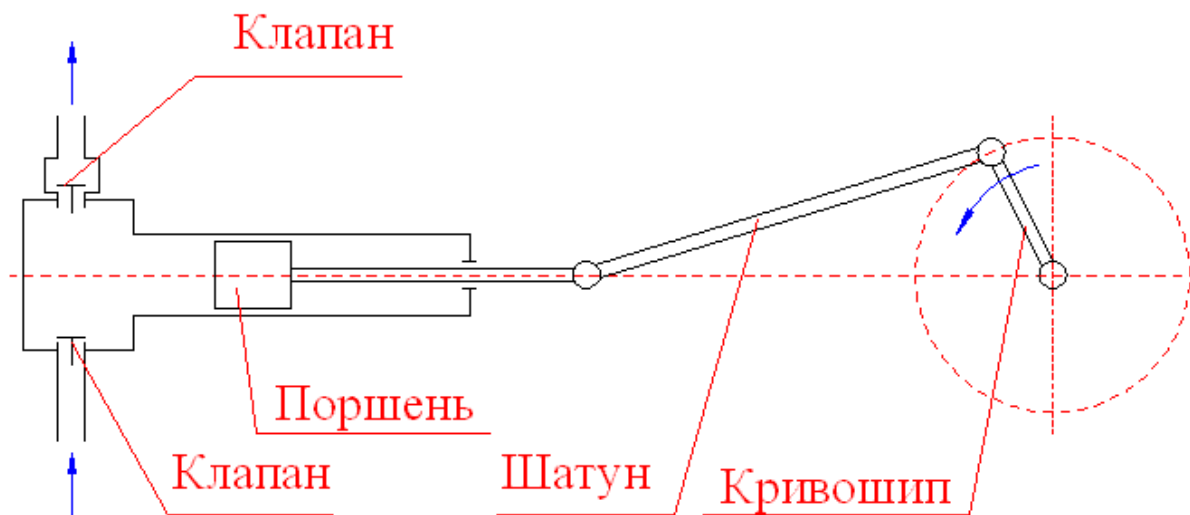


Рис. 1. Структурная схема поршневого насоса

Принцип работы таков: за счет поступательного движения поршня создается разрежение в полости под ним, и туда засасывается жидкость из подводящего (всасывающего) трубопровода. При

обратном движении поршня на всасывающем трубопроводе закрывается клапан, предотвращающий протечку жидкости обратно, и открывается клапан на нагнетательном трубопроводе, который был закрыт при всасывании. Туда вытесняется жидкость, которая находилась под поршнем, и процесс повторяется. Недостаток такого насоса в том, что жидкость движется по трубопроводу с различной скоростью (скачками). Этот момент обычно обходят созданием насосов, в которых несколько поршней. Основное преимущество в том, что он способен закачивать жидкость, будучи в момент пуска незаполненным ею (сухое всасывание), и поэтому применяется обычно там, где этим преимуществом необходимо воспользоваться.

Одним из недостатков поршневых насосов, как и других объёмных насосов, являются пульсации подачи и давления. Пульсации можно уменьшить, расположив несколько поршней в ряд и соединив их с одним валом таким образом, чтобы циклы их работы были сдвинуты друг относительно друга по фазе на равные углы. Другим способом борьбы с пульсацией является использование дифференциальной схемы включения насоса), при которой нагнетание жидкости осуществляется не только во время прямого хода поршня, но и во время обратного хода.

Также широко применяют насосы двустороннего действия, у которых как поршневая, так и штоковая полость имеют (в отличие от дифференциальной схемы включения) свою клапанную систему распределения. У таких насосов коэффициент пульсаций ниже, а КПД выше, чем у насосов одностороннего действия.

Поршневые насосы используются с глубокой древности. Известно их применение для целей водоснабжения со II века до нашей эры. В настоящее время поршневые насосы используются в системах водоснабжения, в пищевой и химической промышленности, в быту. Диафрагменные насосы используются, например, в системах подачи топлива в двигателях внутреннего сгорания.

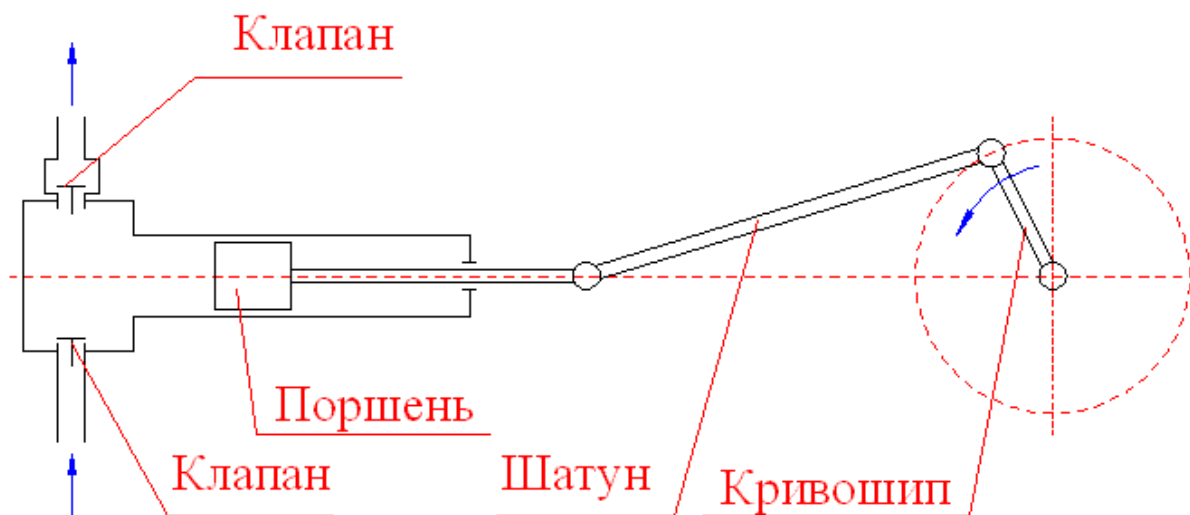
### **Практическая работа №31**

#### ***Проект «Кулачковый насос». Моделирование сложной корпусной детали.***

#### **Краткие теоретические сведения**

##### **Принцип работы и применение поршневого насоса**

Поршневой насос (плунжерный насос) — один из видов объёмных гидромашин, в котором вытеснителями являются один или несколько поршней (плунжеров), совершающих возвратно-поступательное движение.



**Рис. 1.** Структурная схема поршневого насоса

Принцип работы таков: за счет поступательного движения поршня создается разрежение в полости под ним, и туда засасывается жидкость из подводящего (всасывающего) трубопровода. При обратном движении поршня на всасывающем трубопроводе закрывается клапан, предотвращающий протечку жидкости обратно, и открывается клапан на нагнетательном трубопроводе, который был закрыт при всасывании. Туда вытесняется жидкость, которая находилась под поршнем, и процесс повторяется. Недостаток такого насоса в том, что жидкость движется по трубопроводу с различной скоростью (скачками). Этот момент обычно обходят созданием насосов, в которых несколько поршней. Основное преимущество в том, что он способен закачивать жидкость, будучи в момент пуска незаполненным ею (сухое всасывание), и поэтому применяется обычно там, где этим преимуществом необходимо воспользоваться.

Одним из недостатков поршневых насосов, как и других объёмных насосов, являются пульсации подачи и давления. Пульсации можно уменьшить, расположив несколько поршней в ряд и соединив их с одним валом таким образом, чтобы циклы их работы были сдвинуты друг относительно друга по фазе на равные углы. Другим способом борьбы с пульсацией является использование дифференциальной схемы включения насоса), при которой нагнетание жидкости осуществляется не только во время прямого хода поршня, но и во время обратного хода.

Также широко применяют насосы двустороннего действия, у которых как поршневая, так и штоковая полости имеют (в отличие от дифференциальной схемы включения) свою клапанную систему распределения. У таких насосов коэффициент пульсаций ниже, а КПД выше, чем у насосов одностороннего действия.

Поршневые насосы используются с глубокой древности. Известно их применение для целей водоснабжения со II века до нашей эры. В настоящее время поршневые насосы используются в

системах водоснабжения, в пищевой и химической промышленности, в быту. Диафрагменные насосы используются, например, в системах подачи топлива в двигателях внутреннего сгорания.

### Практическая работа №32

#### Проект «Кулачковый насос». Сборка изделия.

#### Краткие теоретические сведения

##### Принцип работы и применение поршневого насоса

Поршневой насос (плунжерный насос) — один из видов объёмных гидромашин, в котором вытеснителями являются один или несколько поршней (плунжеров), совершающих возвратно-поступательное движение.

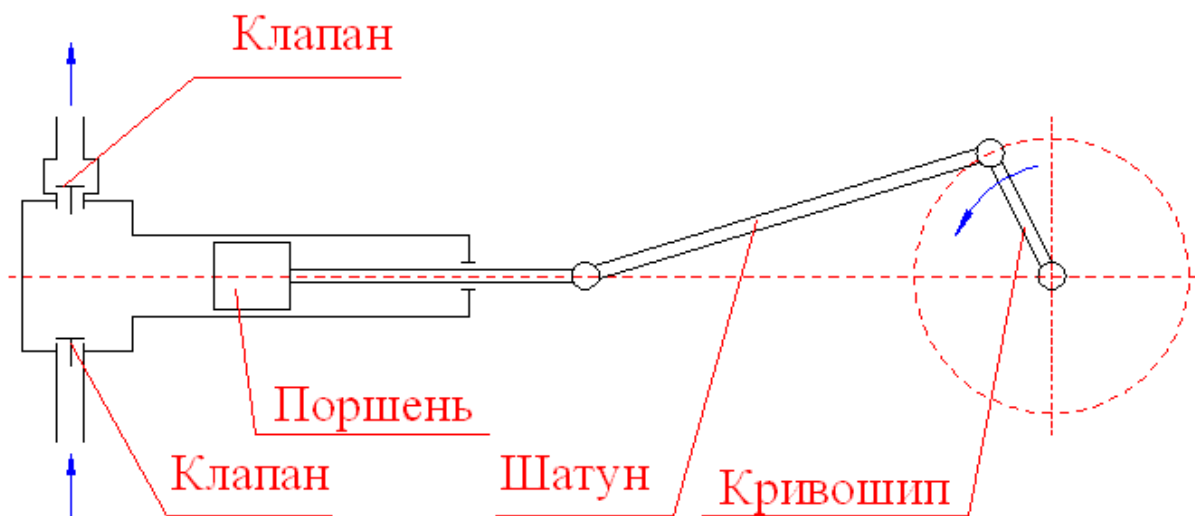


Рис. 1. Структурная схема поршневого насоса

Принцип работы таков: за счет поступательного движения поршня создается разрежение в полости под ним, и туда засасывается жидкость из подводящего (всасывающего) трубопровода. При обратном движении поршня на всасывающем трубопроводе закрывается клапан, предотвращающий протечку жидкости обратно, и открывается клапан на нагнетательном трубопроводе, который был закрыт при всасывании. Туда вытесняется жидкость, которая находилась под поршнем, и процесс повторяется. Недостаток такого насоса в том, что жидкость движется по трубопроводу с различной скоростью (скачками). Этот момент обычно обходят созданием насосов, в которых несколько поршней. Основное преимущество в том, что он способен закачивать жидкость, будучи в момент пуска незаполненным ею (сухое всасывание), и поэтому применяется обычно там, где этим преимуществом необходимо воспользоваться.

Одним из недостатков поршневых насосов, как и других объёмных насосов, являются пульсации подачи и давления. Пульсации можно уменьшить, расположив несколько поршней в ряд

и соединив их с одним валом таким образом, чтобы циклы их работы были сдвинуты друг относительно друга по фазе на равные углы. Другим способом борьбы с пульсацией является использование дифференциальной схемы включения насоса), при которой нагнетание жидкости осуществляется не только во время прямого хода поршня, но и во время обратного хода.

Также широко применяют насосы двустороннего действия, у которых как поршневая, так и штоковая полость имеют (в отличие от дифференциальной схемы включения) свою клапанную систему распределения. У таких насосов коэффициент пульсаций ниже, а КПД выше, чем у насосов одностороннего действия.

Поршневые насосы используются с глубокой древности. Известно их применение для целей водоснабжения со II века до нашей эры. В настоящее время поршневые насосы используются в системах водоснабжения, в пищевой и химической промышленности, в быту. Диафрагменные насосы используются, например, в системах подачи топлива в двигателях внутреннего сгорания.

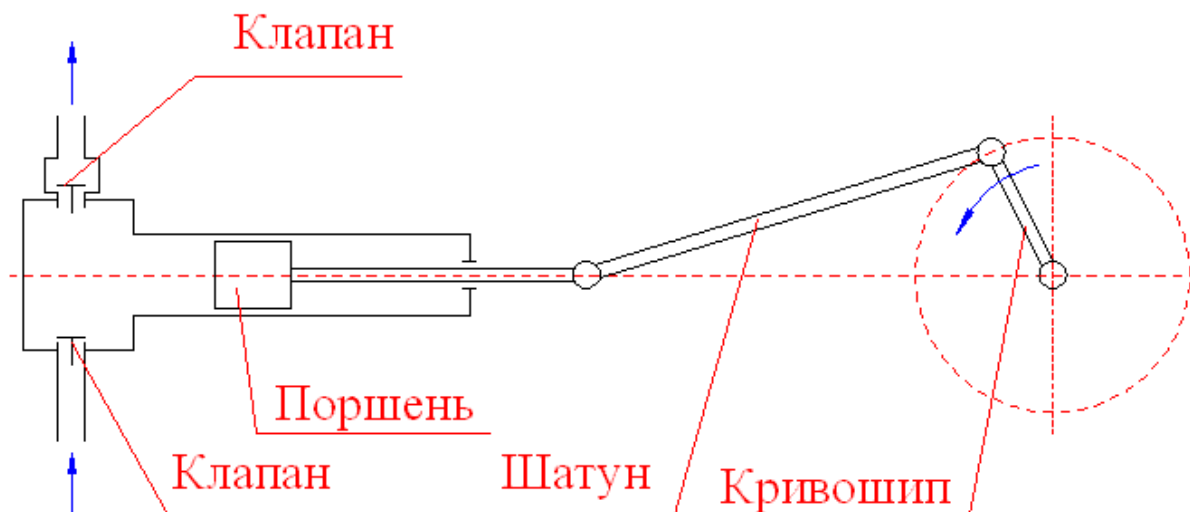
### Практическая работа №33

#### *Проект «Кулачковый насос». Анимация разборки механизма.*

#### Краткие теоретические сведения

##### Принцип работы и применение поршневого насоса

Поршневой насос (плунжерный насос) — один из видов объёмных гидромашин, в котором вытеснителями являются один или несколько поршней (плунжеров), совершающих возвратно-поступательное движение.



**Рис. 1.** Структурная схема поршневого насоса

Принцип работы таков: за счет поступательного движения поршня создается разрежение в полости под ним, и туда засасывается жидкость из подводящего (всасывающего) трубопровода. При

обратном движении поршня на всасывающем трубопроводе закрывается клапан, предотвращающий протечку жидкости обратно, и открывается клапан на нагнетательном трубопроводе, который был закрыт при всасывании. Туда вытесняется жидкость, которая находилась под поршнем, и процесс повторяется. Недостаток такого насоса в том, что жидкость движется по трубопроводу с различной скоростью (скачками). Этот момент обычно обходят созданием насосов, в которых несколько поршней. Основное преимущество в том, что он способен закачивать жидкость, будучи в момент пуска незаполненным ею (сухое всасывание), и поэтому применяется обычно там, где этим преимуществом необходимо воспользоваться.

Одним из недостатков поршневых насосов, как и других объёмных насосов, являются пульсации подачи и давления. Пульсации можно уменьшить, расположив несколько поршней в ряд и соединив их с одним валом таким образом, чтобы циклы их работы были сдвинуты друг относительно друга по фазе на равные углы. Другим способом борьбы с пульсацией является использование дифференциальной схемы включения насоса), при которой нагнетание жидкости осуществляется не только во время прямого хода поршня, но и во время обратного хода.

Также широко применяют насосы двустороннего действия, у которых как поршневая, так и штоковая полость имеют (в отличие от дифференциальной схемы включения) свою клапанную систему распределения. У таких насосов коэффициент пульсаций ниже, а КПД выше, чем у насосов одностороннего действия.

Поршневые насосы используются с глубокой древности. Известно их применение для целей водоснабжения со II века до нашей эры. В настоящее время поршневые насосы используются в системах водоснабжения, в пищевой и химической промышленности, в быту. Диафрагменные насосы используются, например, в системах подачи топлива в двигателях внутреннего сгорания.

### **Лабораторная работа №34**

#### ***«Изучение методов 3D-сканирования»***

#### **Краткие теоретические сведения**

##### **Методы 3D-сканирования**

Задачи модификации технологического процесса на основании анализа изготовленного изделия, изучения собираемости деталей, высокоточного контроля непосредственно на рабочем месте или проведения виртуальных испытаний на основе трехмерных моделей выявили необходимость создания нового класса оборудования, получившего название «3D-сканер».

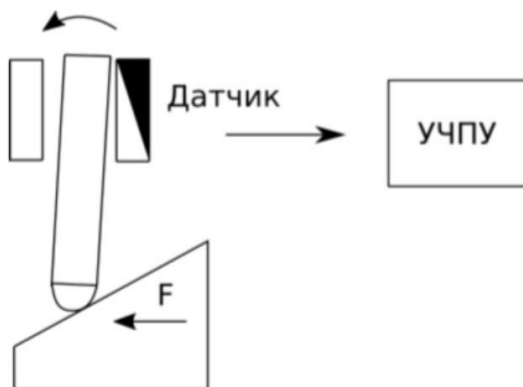
В данный класс оборудования входят различные устройства, метод работы которых зачастую коренным образом отличается друг от друга, но все они позволяют формировать 3D-модель на

основе физического объекта, т.е. производить оцифровку. Наиболее часто используемые методы можно разделить на три группы:

- точечная триангуляция;
- линейная триангуляция;
- интерференционное проецирование.

### **Точечная триангуляция**

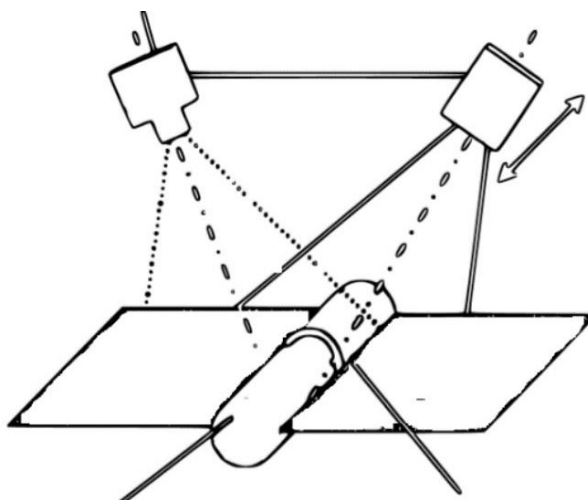
При использовании точечной триангуляции с помощью щупа в один момент времени получают координаты одной точки. Схема действия представлена на рис. 1. Для получения всей модели изделия производится обход по характерным точкам. Если объект измерения представляет собой сложную деталь, то количество измерений приходится увеличивать пропорционально сложности. Поверхность между ближайшими измеренными точками выстраивается по математическим алгоритмам, тем самым вносится погрешность в построение модели. Также объект должен быть зафиксирован на протяжении всего процесса измерения. Контактным методом возможно измерять только относительно твердые поверхности.



**Рис. 1.** Схема сканирования методом точечной триангуляции

### **Линейная триангуляция**

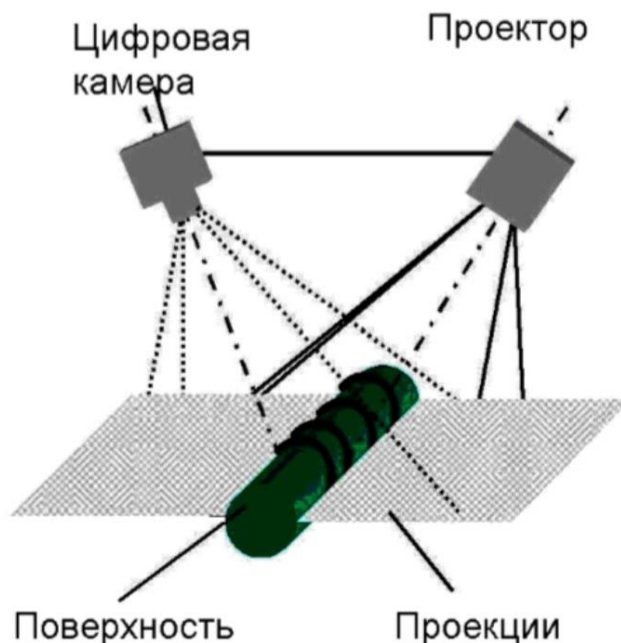
При линейной триангуляции с помощью луча лазера или источника света проецируется полоса, которая считывается цифровой камерой. Схема действия систем, основанных на данном методе, приведена на рис. 2. Последовательно проецируя полосу на все поверхности, объект охватывается полностью. Считанные полосы преобразуются в координаты составляющих их точек. В связи с особенностями проецирования полосы, возникают ограничения по возможности сканирования объектов. На деталях могут быть зоны, недоступные для систем лазерного сканирования.



**Рис. 2.** Схематическое изображение метода линейной триангуляции

### Интерференционное проецирование

Интерференционные 3D-сканеры основаны на проецировании белого света, поверх считываемого цифровыми камерами участка поверхности. Схема работы систем, основанных на данном методе, приведена на рис. 3. Цифровой камерой считывается положение точек объекта сразу со всей измерительной площади за счет проецирования множества линий на участок поверхности. Система сканирования проводит автоматический сдвиг линии и получает координаты со всего участка поверхности изделия. Для получения полной модели изделие сканируется с разных сторон. За одно измерение проецируется несколько интерференционных картин, покрывающих всю исследуемую область. Используя снимки с камер и учитывая постоянство угла между камерами, программным обеспечением системы определяются координаты точек на поверхности объекта.



**Рис. 3.** Схематическое изображение метода интерференционного проецирования

Метод точечной триангуляции предоставляет повышенную точность сканирования по сравнению с другими за счет определения положения точек поверхности контактным способом. Метод линейной триангуляции уступает по точности всем представленным методам сканирования. Скорость работы при линейной триангуляции намного больше, чем у точечной, но ниже, чем у интерференционного проецирования. На методе интерференционного проецирования основан ряд мобильных систем.

Таким образом, в зависимости от требований имеется возможность выбрать метод, позволяющий получить оптимальные характеристики для конкретной задачи.

По окончании теоретической части преподавателем проводится контрольная проверка полученных учащимися знаний, ответы на возникающие вопросы. Ученики заполняют отчеты о выполнении работы, преподаватель проверяет качество заполнения отчета, особое внимание уделяя пункту о возникших у ученика трудностях - по возможности, необходимо дать соответствующее пояснение.

### **Лабораторная работа №35**

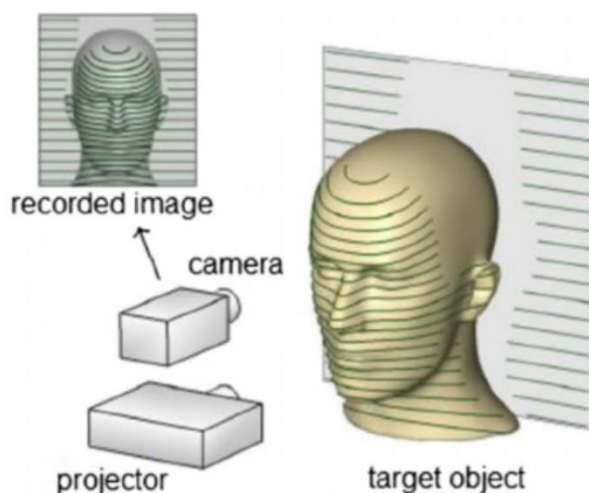
#### ***«Особенности 3D-сканирования объекта среднего диапазона»***

#### **Краткие теоретические сведения**

##### **3D-сканирование объектов среднего диапазона**

Для сканирования в рамках среднего диапазона (от 30-40 см до 1-2 м) часто используются ручные 3D-сканеры, которые сочетают достаточную точность с мобильностью и скоростью построения 3D-моделей. Часто для таких задач используют 3D-сканеры компании Artec - Eva, Spider, Leo.

3D-сканер Artec представляет собой видеокамеру, регистрирующую кадры, каждый из которых является объемным изображением. Сканеры Artec отличаются простотой использования и дружелюбным интерфейсом, поэтому идеально подходят для учебного процесса. Однако, как и все сканеры, они довольно требовательны к вычислительным мощностям компьютера, с которыми они используются. Процедура сканирования заключается в том, чтобы сделать снимки с разных сторон объекта и под переменными углами. Оборудование автоматически создает единую сетку из зарегистрированных кадров с помощью поставляемого вместе со сканером программного обеспечения. Сканер в процессе работы использует метод структурного света, принцип которого представлен на рис. 1.



**Рис. 1.** Принцип работы 3D-сканера по методу структурного света

Следует отметить, что черные и зеркальные объекты практически не поддаются сканированию. В качестве варианта сканирования таких объектов можно использовать дополнительные инструменты, например, аэрозоли, которые наносятся на объект сканирования и тем самым матируют его. Специальные аэрозоли для сканирования легко смываются с модели, не оставляя никаких дефектов - например, таким способом в промышленности сканируют автомобили.

Сканеры Artec позволяют получать объекты достаточно высокой точности. Самым распространенным из них является Artec Eva (рис. 2).



**Рис. 2.** 3D-сканер Artec Eva

Программное обеспечение и функции сканера помогают ему захватывать широчайший спектр цветовых решений (до 24 бит). Оборудование автоматически обрабатывает информацию о геометрии и цвете объекта, что помогает на высоком уровне объединить все это в текстурную модель. Сканер получил возможность работать с самыми разными 3D-приложениями, что в свою очередь упростило процесс редактирования и просмотра 3D-моделей.

Процедура сканирования состоит из трех этапов: съемки, обработки, экспорта. В результате будет получена качественная 3D-модель объекта.

Для начала нужно нацелить 3D-сканер на нужный объект. Специфика расположений камеры сканера позволяет сканировать объекты различной величины (от маленькой игрушки до автомобиля). Сам объект в процессе сканирования должен находиться на расстоянии от 40 см до 1 м от камеры.

Затем инициируем сканирование. Правильное сканирование выполнить не сложно, так как при возникновении каких-либо затруднений или ошибок система автоматически подает визуальные и звуковые сигналы. Такие сигналы она подает в случае, если теряет опорную точку и не понимает, как поместить текущий скан на общий скан модели. Для того чтобы избавиться от ошибки, достаточно вернуть объект в поле зрения сканера и продолжить работы с места, где сканер потерял точку. При этом стоит быть осторожным, так как при возобновлении сканирования ПО не всегда однозначно располагает объект при дальнейшем сканировании. В качестве рекомендации, если уже отсканирована достаточно большая зона, стоит остановить процесс сканирования и начать новый скан. После окончания сканирования объекта полученные сканы можно объединить внутренними средствами ПО сканера Artec.

Есть два базовых способа сканирования объекта - вращение камеры и вращение объекта. В первом случае процедура сканирования предполагает перемещение 3D-сканера вокруг всего объекта. Система запускает процесс выравнивания сканируемой поверхности в режиме реального времени, что позволяет запустить сканирование точно, и правильно определить необходимый объем работы. При этом пользователь может выполнять сканирование в любой удобной последовательности, подстраиваться под ситуацию и уделить больше внимания труднодоступным областям сканирования. Во втором случае сканер жестко закрепляется на штативе, а объект вращается в поле зрения сканера, например, с использованием поворотного стола.

После выполнения сканирования и объединения всех сканов в один объект, сканер предлагает возможность оптимизации сетки, сглаживания поверхности и заполнения полостей и разрывов в полученном скане.

После постобработки скана ПО позволяет экспортировать результаты сканирования в самые распространенные 3D-форматы: ASCII, AOP, STL, PLY, VRML, OBJ. Благодаря этому можно будет

работать с самыми современными 3D-приложениями: CopyCAD, Autodesk Maya, Geomagic, Rapidform, Pixologic ZBrush, 3DMax, Autocad, Blender и др.

По окончании теоретической части преподавателем проводится контрольная проверка полученных учащимися знаний, ответы на возникающие вопросы. Ученики заполняют отчеты о выполнении работы, преподаватель проверяет качество заполнения отчета, особое внимание уделяя пункту о возникших у ученика трудностях - по возможности, необходимо дать соответствующее пояснение.

### **Лабораторная работа №36**

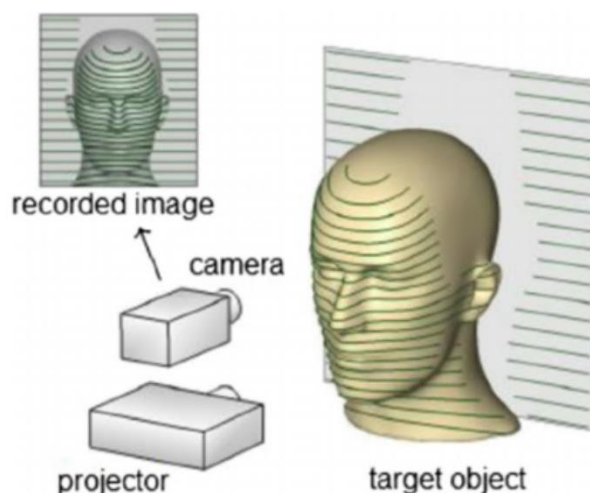
#### **«Выполнение 3D-сканирования объекта»**

#### **Краткие теоретические сведения**

##### **3D-сканирование объектов среднего диапазона**

Для сканирования в рамках среднего диапазона (от 30-40 см до 1-2 м) часто используются ручные 3D-сканеры, которые сочетают достаточную точность с мобильностью и скоростью построения 3D-моделей. Часто для таких задач используют 3D-сканеры компании Artec - Eva, Spider, Leo.

3D-сканер Artec представляет собой видеокамеру, регистрирующую кадры, каждый из которых является объемным изображением. Сканеры Artec отличаются простотой использования и дружелюбным интерфейсом, поэтому идеально подходят для учебного процесса. Однако, как и все сканеры, они довольно требовательны к вычислительным мощностям компьютера, с которым они используются. Процедура сканирования заключается в том, чтобы сделать снимки с разных сторон объекта и под переменными углами. Оборудование автоматически создает единую сетку из зарегистрированных кадров с помощью поставляемого вместе со сканером программного обеспечения. Сканер в процессе работы использует метод структурного света, принцип которого представлен на рис. 1.



**Рис. 1.** Принцип работы 3D-сканера по методу структурного света

Следует отметить, что черные и зеркальные объекты практически не поддаются сканированию. В качестве варианта сканирования таких объектов можно использовать дополнительные инструменты, например, аэрозоли, которые наносятся на объект сканирования и тем самым матируют его. Специальные аэрозоли для сканирования легко смываются с модели, не оставляя никаких дефектов - например, таким способом в промышленности сканируют автомобили.

Сканеры Artec позволяют получать объекты достаточно высокой точности. Самым распространенным из них является Artec Eva (рис. 2).



**Рис. 2.** 3D-сканер Artec Eva

Программное обеспечение и функции сканера помогают ему захватывать широчайший спектр цветовых решений (до 24 бит). Оборудование автоматически обрабатывает информацию о геометрии и цвете объекта, что помогает на высоком уровне объединить все это в текстурную модель. Сканер получил возможность работать с самыми разными 3D-приложениями, что в свою очередь упростило процесс редактирования и просмотра 3D-моделей.

Процедура сканирования состоит из трех этапов: съемки, обработки, экспорта. В результате будет получена качественная 3D-модель объекта.

Для начала нужно нацелить 3D-сканер на нужный объект. Специфика расположений камеры сканера позволяет сканировать объекты различной величины (от маленькой игрушки до

автомобиля). Сам объект в процессе сканирования должен находиться на расстоянии от 40 см до 1 м от камеры.

Затем инициируем сканирование. Правильное сканирование выполнить не сложно, так как при возникновении каких-либо затруднений или ошибок система автоматически подает визуальные и звуковые сигналы. Такие сигналы она подает в случае, если теряет опорную точку и не понимает, как поместить текущий скан на общий скан модели. Для того чтобы избавиться от ошибки, достаточно вернуть объект в поле зрения сканера и продолжить работы с места, где сканер потерял точку. При этом стоит быть осторожным, так как при возобновлении сканирования ПО не всегда однозначно располагает объект при дальнейшем сканировании. В качестве рекомендации, если уже отсканирована достаточно большая зона, стоит остановить процесс сканирования и начать новый скан. После окончания сканирования объекта полученные сканы можно объединить внутренними средствами ПО сканера Artec.

Есть два базовых способа сканирования объекта - вращение камеры и вращение объекта. В первом случае процедура сканирования предполагает перемещение 3D-сканера вокруг всего объекта. Система запускает процесс выравнивания сканируемой поверхности в режиме реального времени, что позволяет запустить сканирование точно, и правильно определить необходимый объем работы. При этом пользователь может выполнять сканирование в любой удобной последовательности, подстраиваться под ситуацию и уделить больше внимания труднодоступным областям сканирования. Во втором случае сканер жестко закрепляется на штативе, а объект вращается в поле зрения сканера, например, с использованием поворотного стола.

После выполнения сканирования и объединения всех сканов в один объект, сканер предлагает возможность оптимизации сетки, сглаживания поверхности и заполнения полостей и разрывов в полученном скане.

После постобработки скана ПО позволяет экспортировать результаты сканирования в самые распространенные 3D-форматы: ASCII, AOP, STL, PLY, VRML, OBJ. Благодаря этому можно будет работать с самыми современными 3D-приложениями: CopyCAD, Autodesk Maya, Geomagic, Rapidform, Pixologic ZBrush, 3DMax, Autocad, Blender и др.

По окончании теоретической части преподавателем проводится контрольная проверка полученных учащимися знаний, ответы на возникающие вопросы. Ученики заполняют отчеты о выполнении работы, преподаватель проверяет качество заполнения отчета, особое внимание уделяя пункту о возникших у ученика трудностях - по возможности, необходимо дать соответствующее пояснение.

**Лабораторная работа №37**

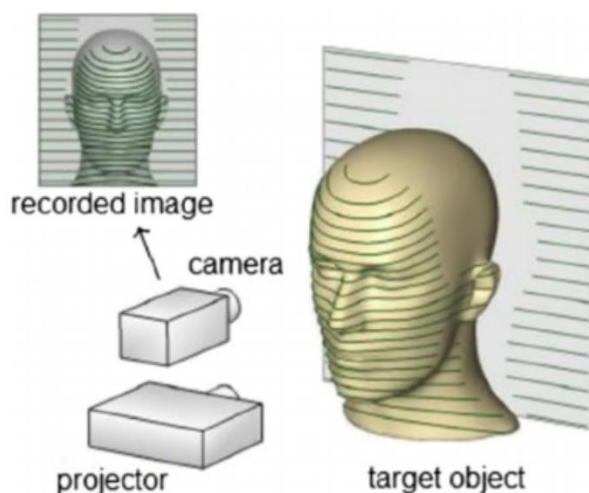
**Лабораторная работа «Обработка результата 3D-сканирования»**

**Краткие теоретические сведения**

**3D-сканирование объектов среднего диапазона**

Для сканирования в рамках среднего диапазона (от 30-40 см до 1-2 м) часто используются ручные 3D-сканеры, которые сочетают достаточную точность с мобильностью и скоростью построения 3D-моделей. Часто для таких задач используют 3D-сканеры компании Artec - Eva, Spider, Leo.

3D-сканер Artec представляет собой видеокамеру, регистрирующую кадры, каждый из которых является объемным изображением. Сканеры Artec отличаются простотой использования и дружелюбным интерфейсом, поэтому идеально подходят для учебного процесса. Однако, как и все сканеры, они довольно требовательны к вычислительным мощностям компьютера, с которым они используются. Процедура сканирования заключается в том, чтобы сделать снимки с разных сторон объекта и под переменными углами. Оборудование автоматически создает единую сетку из зарегистрированных кадров с помощью поставляемого вместе со сканером программного обеспечения. Сканер в процессе работы использует метод структурного света, принцип которого представлен на рис. 1.



**Рис. 1.** Принцип работы 3D-сканера по методу структурного света

Следует отметить, что черные и зеркальные объекты практически не поддаются сканированию. В качестве варианта сканирования таких объектов можно использовать дополнительные инструменты, например, аэрозоли, которые наносятся на объект сканирования и тем самым матируют его. Специальные аэрозоли для сканирования легко смываются с модели, не оставляя никаких дефектов - например, таким способом в промышленности сканируют автомобили.

Сканеры Artec позволяют получать объекты достаточно высокой точности. Самым распространенным из них является Artec Eva (рис. 2).



**Рис. 2.** 3D-сканер Artec Eva

Программное обеспечение и функции сканера помогают ему захватывать широчайший спектр цветовых решений (до 24 бит). Оборудование автоматически обрабатывает информацию о геометрии и цвете объекта, что помогает на высоком уровне объединить все это в текстурную модель. Сканер получил возможность работать с самыми разными 3D-приложениями, что в свою очередь упростило процесс редактирования и просмотра 3D-моделей.

Процедура сканирования состоит из трех этапов: съемки, обработки, экспорта. В результате будет получена качественная 3D-модель объекта.

Для начала нужно нацелить 3D-сканер на нужный объект. Специфика расположений камеры сканера позволяет сканировать объекты различной величины (от маленькой игрушки до автомобиля). Сам объект в процессе сканирования должен находиться на расстоянии от 40 см до 1 м от камеры.

Затем инициируем сканирование. Правильное сканирование выполнить не сложно, так как при возникновении каких-либо затруднений или ошибок система автоматически подает визуальные и звуковые сигналы. Такие сигналы она подает в случае, если теряет опорную точку и не понимает, как поместить текущий скан на общий скан модели. Для того чтобы избавиться от ошибки, достаточно вернуть объект в поле зрения сканера и продолжить работы с места, где сканер потерял точку. При этом стоит быть осторожным, так как при возобновлении сканирования ПО не всегда

однозначно располагает объект при дальнейшем сканировании. В качестве рекомендации, если уже отсканирована достаточно большая зона, стоит остановить процесс сканирования и начать новый скан. После окончания сканирования объекта полученные сканы можно объединить внутренними средствами ПО сканера Artes.

Есть два базовых способа сканирования объекта - вращение камеры и вращение объекта. В первом случае процедура сканирования предполагает перемещение 3D-сканера вокруг всего объекта. Система запускает процесс выравнивания сканируемой поверхности в режиме реального времени, что позволяет запустить сканирование точно, и правильно определить необходимый объем работы. При этом пользователь может выполнять сканирование в любой удобной последовательности, подстраиваться под ситуацию и уделить больше внимания труднодоступным областям сканирования. Во втором случае сканер жестко закрепляется на штативе, а объект вращается в поле зрения сканера, например, с использованием поворотного стола.

После выполнения сканирования и объединения всех сканов в один объект, сканер предлагает возможность оптимизации сетки, сглаживания поверхности и заполнения полостей и разрывов в полученном скане.

После постобработки скана ПО позволяет экспортировать результаты сканирования в самые распространенные 3D-форматы: ASCII, AOP, STL, PLY, VRML, OBJ. Благодаря этому можно будет работать с самыми современными 3D-приложениями: CopyCAD, Autodesk Maya, Geomagic, Rapidform, Pixologic ZBrush, 3DMax, Autocad, Blender и др.

По окончании теоретической части преподавателем проводится контрольная проверка полученных учащимися знаний, ответы на возникающие вопросы. Ученики заполняют отчеты о выполнении работы, преподаватель проверяет качество заполнения отчета, особое внимание уделяя пункту о возникших у ученика трудностях - по возможности, необходимо дать соответствующее пояснение.

### **Практическая работа №38**

#### ***Проект «Подшипник». Применение и конструкция.***

#### **Краткие теоретические сведения**

#### **Изучение конструкции подшипников и их применение в механизмах**



**Рис. 1.** Подшипники

Подшипник — сборочный узел, являющийся частью опоры или упора и поддерживающий вал, ось или иную подвижную конструкцию с заданной жесткостью. Фиксирует положение в пространстве, обеспечивает вращение, качение с наименьшим сопротивлением, воспринимает и передаёт нагрузку от подвижного узла на другие части конструкции.

По принципу работы все подшипники можно разделить на несколько типов:

- подшипники качения;
- подшипники скольжения;

К подшипникам скольжения также относят:

- газостатические подшипники;
- газодинамические подшипники;
- гидростатические подшипники;
- гидродинамические подшипники;
- магнитные подшипники.

Основные типы подшипников, которые применяются в машиностроении - качения и скольжения.

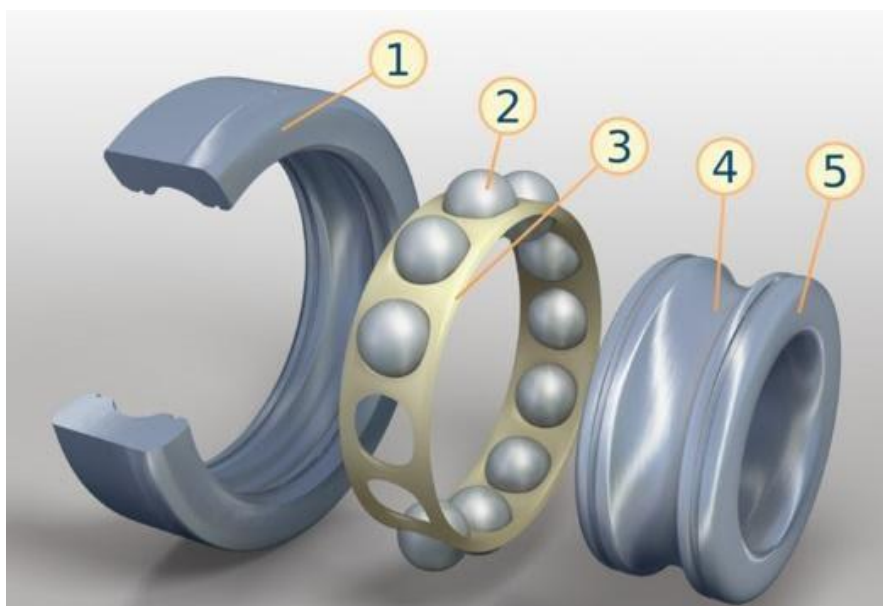
**Практическая работа №39**

**Проект «Подшипник». Моделирование деталей.**

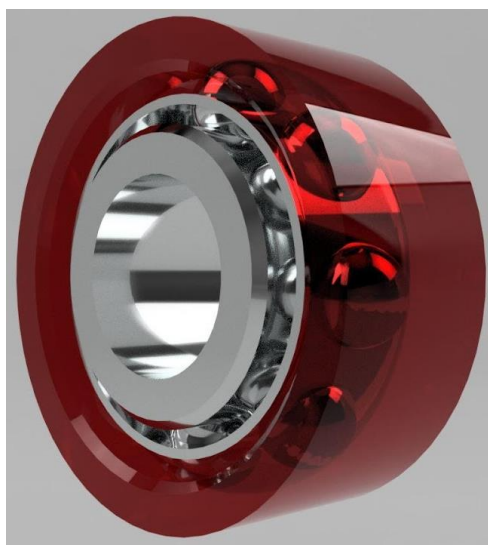
**Краткие теоретические сведения**

Приступить к выполнению типового проекта «Подшипник». Подшипник будет состоять из следующих компонентов:

- 1) внешнее кольцо;
- 2) шарик (тело качения);
- 3) сепаратор;
- 4) внутреннее кольцо.



**Рис. 1.** Компоненты подшипника



**Рис. 2.** Итоговый проект

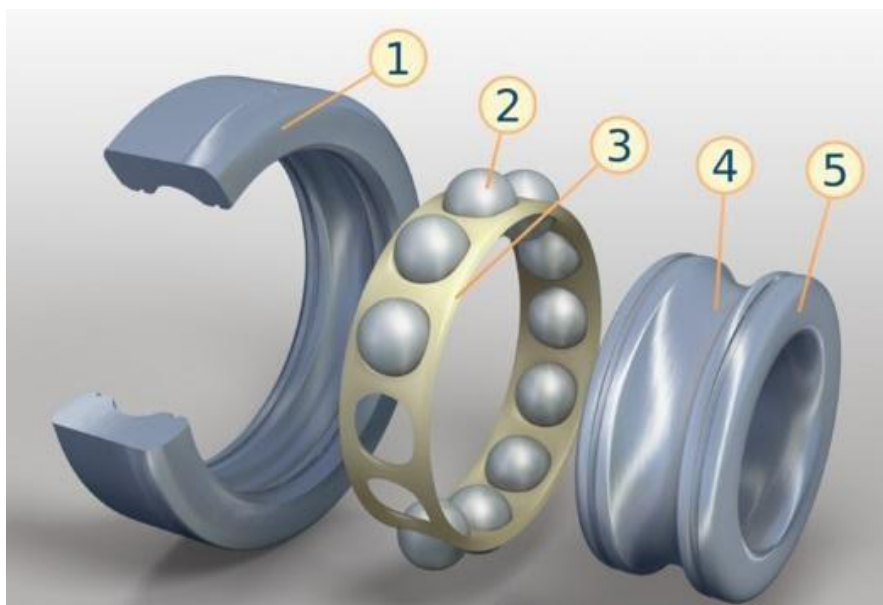
**Практическая работа №40**

***Проект «Подшипник». Сборка изделия.***

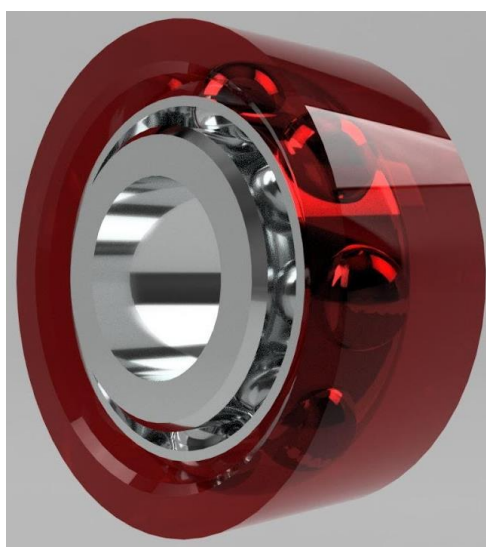
**Краткие теоретические сведения**

Приступить к выполнению типового проекта «Подшипник». Подшипник будет состоять из следующих компонентов:

- 1) внешнее кольцо;
- 2) шарик (тело качения);
- 3) сепаратор;
- 4) внутреннее кольцо.



**Рис. 1.** Компоненты подшипника



**Рис. 2.** Итоговый проект

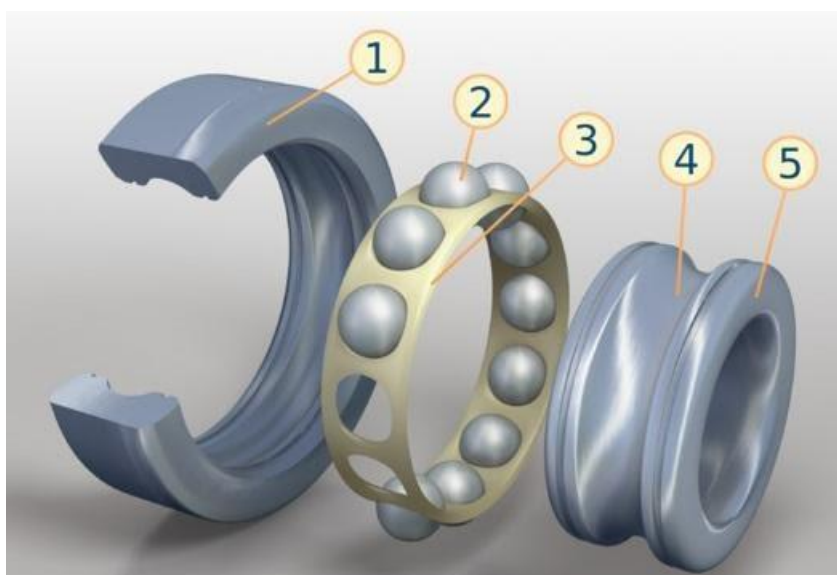
### Практическая работа №41

#### *Проект «Подшипник». Создание фотореалистичного изображения изделия и анимации его работы.*

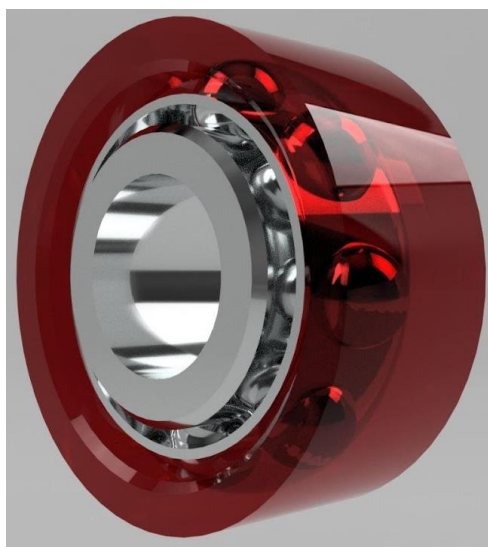
#### Краткие теоретические сведения

Приступить к выполнению типового проекта «Подшипник». Подшипник будет состоять из следующих компонентов:

- 1) внешнее кольцо;
- 2) шарик (тело качения);
- 3) сепаратор;
- 4) внутреннее кольцо.



**Рис. 1.** Компоненты подшипника



**Рис. 2.** Итоговый проект

## Практическая работа №42.

### Проект «Редуктор». Зубчатые механизмы и передаточное отношение.

#### Краткие теоретические сведения

Редукторы (латинского слова **reductor**) получили широкое распространение во всех отраслях промышленного и аграрного хозяйства, поэтому их производство с каждым годом увеличивается, появляются новые модификации, совершенствуются уже существующие модели.

Редуктор служит для снижения частоты вращения тихоходного вала и увеличения усилия на выходном валу. Редуктор может иметь одну или несколько ступеней, цель которых увеличение передаточного отношения. По типу механической передачи редукторы могут быть червячными, коническими, планетарными или цилиндрическими. Конструктивно редуктор выполнен как отдельное изделие, работающее в паре с электродвигателем и установленное с ним на одной раме. Промышленностью сегодня выпускаются редукторы общего и специального назначения.

Редукторы общего назначения могут применяться во многих случаях и отвечают общим требованиям. Специальные же редукторы имеют нестандартные характеристики подходящие под определенные требования.

#### Классификация, основные параметры редукторов

В зависимости от типа зубчатой передачи **редукторы бывают цилиндрические, конические, волновые, планетарные, глобоидные и червячные**. Широко применяются комбинированные редукторы, состоящие из нескольких совмещенных в одном корпусе типов передач (цилиндроконические, цилиндروحервячные и т.д.).



**Рис. 1. Зубчатые передачи**

Конструктивно редукторы могут передавать вращение между перекрещивающимися, пересекающимися и параллельными валами.

Так, например, цилиндрические редукторы позволяют передать вращение между параллельными валами, конические - между пересекающимися, а червячные - между пересекающимися валами.

Общее передаточное число может достигать до нескольких десятков тысяч и зависит от количества ступеней в редукторе. Широкое применение нашли редукторы, состоящие из одной, двух или трех ступеней, причем они могут, как описывалось выше, совмещать разные типы зубчатых передач.

### Классификация зубчатых передач; возможности, достоинства, недостатки разных видов зубчатых передач.

Меньшее из пары зубчатых колес принято называть шестерней (трибом), большее – колесом. Термин «зубчатое колесо» можно применять как к шестерне, так и к колесу зубчатой передачи. Индексы «1» и «2» присваивают соответственно параметрам шестерни и колеса.

Зацепление зубчатых колес можно кинематически представить, как качение без скольжения друг по другу двух поверхностей, называемых начальными. Для цилиндрических передач это цилиндры, для конических – конусы. Точку качения начальных поверхностей определяют, как полюс зацепления. По числу пар зацепляющихся колес зубчатые передачи бывают одно-, двух- и многоступенчатыми.

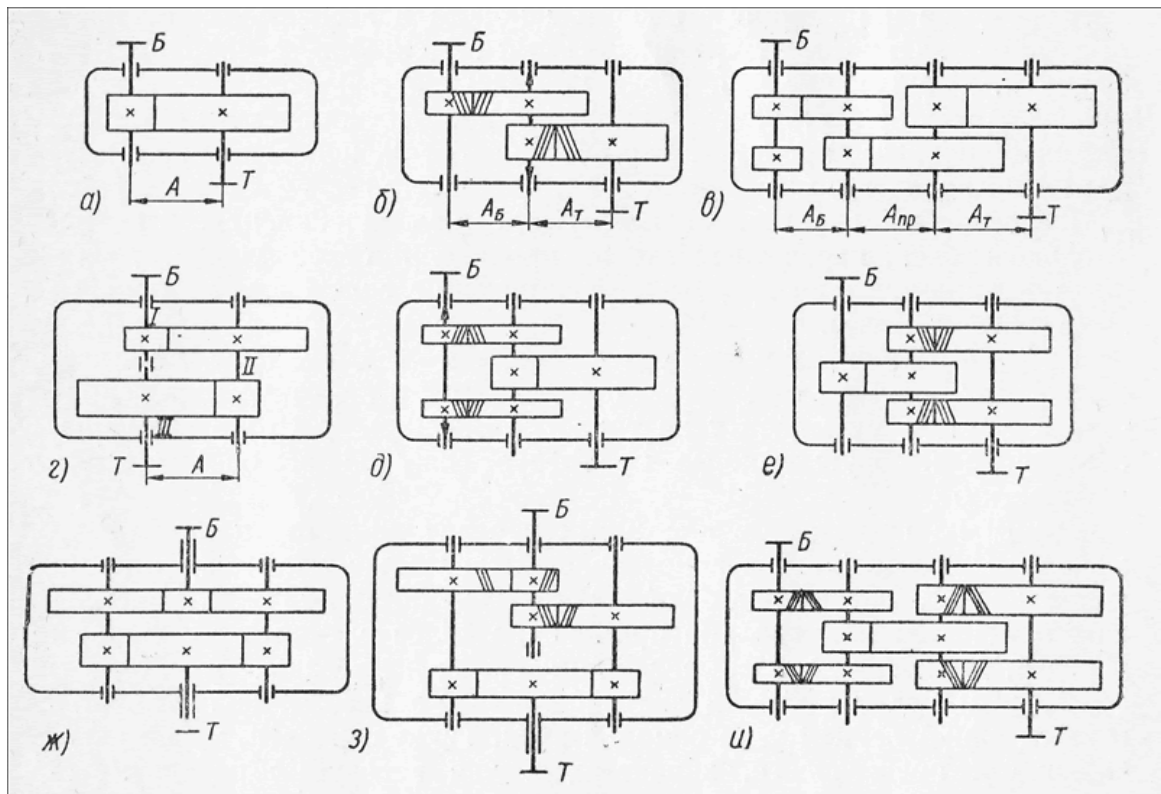
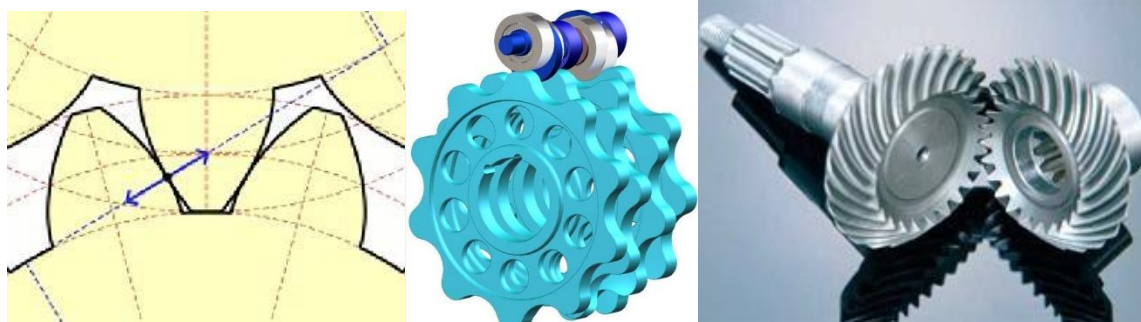


Рис. 2. Зубчатые передачи

По профилю зубьев: очертания зуба в плоскости поперечного сечения профиль зуба; эвольвентные, циклоидальные, круговые (зацепление Новикова).



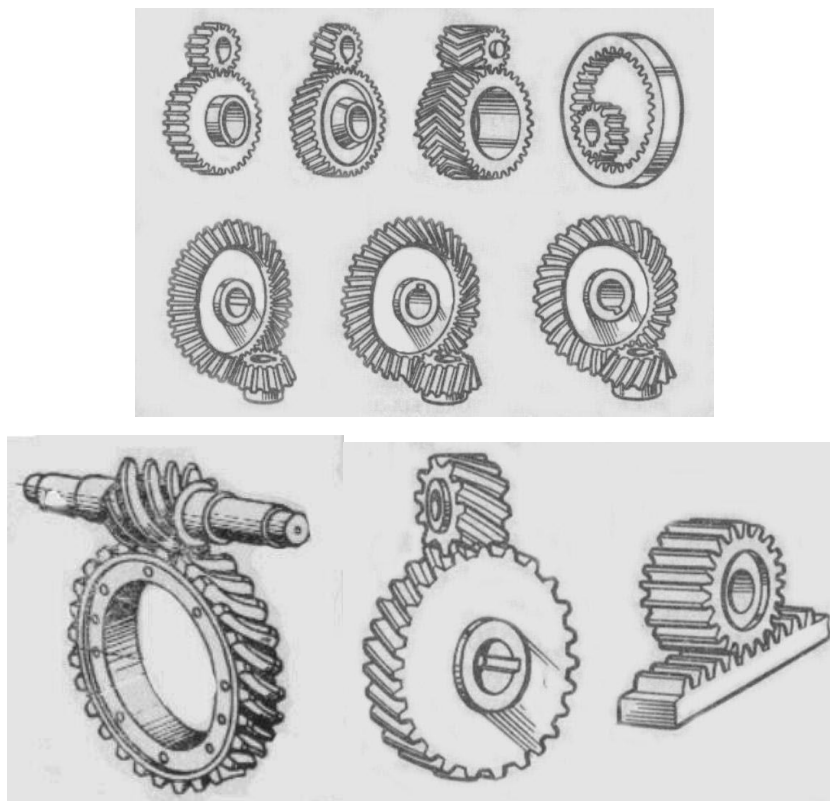
**Рис. 3.** Зацепления зубьев

По взаимному расположению осей их делят на цилиндрические – с параллельными осями, конические – с пересекающимися осями, на червячные, винтовые – со скрещивающимися в пространстве осями.

Зацепление зубчатых колес может быть внешним и внутренним.

Реечные зубчатые передачи преобразуют вращательное движение в поступательное или наоборот.

По расположению зубьев относительно образующих начальной поверхности колеса зубчатые передачи делят на прямозубые и косозубые, шевронные и с круговым зубом.



**Рис. 4.** Зубчатые передачи

**Прямозубыми** называются колеса (передачи), направление каждого зуба которых совпадает с образующей начальной поверхности (цилиндра или конуса).

**Косозубыми** называются зубчатые колеса, направление каждого зуба которых составляет некоторый постоянный угол с образующей начальной поверхности.

Обладают рядом достоинств по сравнению с прямозубыми: благодаря наличию угла наклона зубья вступают в зацепление по своей длине постепенно, что обеспечивает более равномерную и плавную работу и естественно, снижение шума механизма вследствие большего коэффициента перекрытия. У косозубых колес минимальное число зубьев при котором не происходит подрезания, меньше, чем у прямозубых. Косозубые передачи позволяют подобрать при заданном межосевом расстоянии за счет изменения угла наклона пару колес со стандартным модулем.

К недостаткам косозубых передач следует отнести более сложное изготовление колес по сравнению с прямозубыми и появление дополнительного осевого усилия, передаваемого на опоры. Для устранения осевого усилия можно применять шевронные зубчатые колеса. Венец шевронного колеса состоит из участков с правым и левым направлением зубьев. Зубья такого колеса могут быть нарезаны на одном ободе или венец состоит из жесткого соединения двух косозубых колес с разным направлением наклона зубьев. Шевронные колеса сложнее в изготовлении косозубых.



**Рис. 5.** Шевронная передача

**Шевронными** называются колеса, зубчатый венец которых образуется из двух рядов косых зубьев противоположного направления.

Для устранения осевого усилия можно применять шевронные зубчатые колеса. Венец шевронного колеса состоит из участков с правым и левым направлением зубьев. Зубья такого колеса могут быть нарезаны на одном ободе или венец состоит из жесткого соединения двух косозубых колес с разным направлением наклона зубьев. Шевронные колеса сложнее в изготовлении косозубых.



**Рис. 6.** Коническая передача

**Конические** колеса могут быть прямозубыми, косозубыми и с круговым зубом.

Конические зубчатые колеса применяют для передачи вращательного движения между валами, оси которых пересекаются под некоторым углом.

Преимущественно применяют прямозубые конические колеса и только тогда, когда нельзя использовать цилиндрические. Это объясняется большей сложностью изготовления и сборки конических передач. Одно из колес конических передач из-за пересечения осей валов располагается консольно, что создает дополнительные трудности при конструировании опор. Кроме того, валы и опоры нагружаются не только радиальными, но и осевыми силами. Применение более сложных опор приводит к снижению КПД и к большему шуму, чем при применении цилиндрических передач.

Наибольшее распространение получили передачи с эвольвентным профилем зубьев. Во-первых, эвольвентное зацепление мало чувствительно к отклонениям межосевого расстояния, не нарушается правильность зацепления. Во-вторых, профиль зубьев инструмента для нарезания эвольвентных зубчатых колес может быть прямолинейным, сравнительно простое изготовление и контроль инструмента и колес, одним инструментом можно нарезать колеса с разным числом зубьев. Траекторией точки контакта эвольвентных профилей зубьев является прямая линия.

По характеру своей работы передачи могут быть реверсивные и неревверсивные. По конструктивному выполнению корпуса зубчатые передачи бывают открытыми и закрытыми. Открытые не имеют защиты от попадания пыли и грязи, закрытые передачи имеют жесткий корпус и работают в масляной ванне.

По величине окружной скорости различают передачи – тихоходные (до 3 м/с), средних скоростей (3 ... 15 м/с) и быстроходные (свыше 15 м/с).

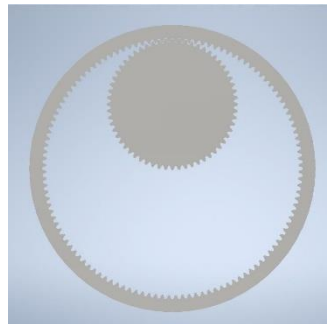
**Червячные** передачи применяют, когда оси ведущего и ведомого валов перекрещиваются под углом 90°.



**Рис. 7.** Червячная передача

Достоинством червячных передач по сравнению с зубчатыми является возможность получить большие передаточные отношения (числа) в одной ступени, до 80 в силовых передачах и до нескольких сотен в кинематических. Червячным редукторам присущи также бесшумность в работе; высокая плавность зацепления; компактность; свойство самоторможения, заключающееся в невозможности передачи вращения от колеса к червяку, что позволяет исключать из привода тормозные устройства; надежность и простота эксплуатации.

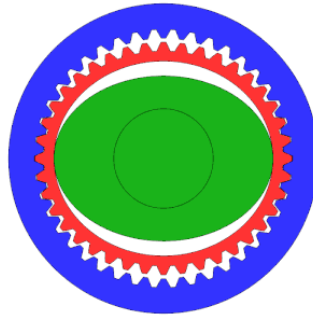
Недостатками червячных передач являются большое относительное скольжение сопряженных поверхностей в зацеплении; большие потери на трение; малый КПД; значительный нагрев зацепляющихся элементов в силовых передачах, что требует специальных мер для дополнительного охлаждения; высокая сложность и точность изготовления и сборки.



**Рис. 8.** Планетарная передача

**Планетарными** называют многосвязные механизмы, в которых обязательно есть зубчатые колеса с движущимися геометрическими осями.

Планетарные передачи позволяют получать большие передаточные отношения при малых габаритах и массе механизма, снимать с одной (центральной) оси движения с разными угловыми скоростями. Планетарные механизмы широко используются в шкальных отсчетных устройствах, где подвижное центральное колесо связывают со шкалой грубого отсчета, а водило – со шкалой точного отсчета; в механизмах настройки. Недостатками планетарных передач являются повышенное требование к точности изготовления, относительно большой мертвый ход, уменьшение КПД с ростом передаточного отношения.



**Рис. 9.** Волновая передача

**Волновые** зубчатые механизмы имеют ряд достоинств: большие передаточные отношения (50 ... 250 в одноступенчатой передаче) при малых габаритах и массе; высокие точность и плавность вследствие уменьшения общей ошибки при большом числе зацепляющихся зубьев и минимальный мертвый ход; высокий КПД (0,7 ... 0,9) благодаря малым скоростям скольжения в зацеплении; возможность передачи вращательного движения в герметически закрытое пространство или через непроницаемую перегородку. Двухступенчатая схема волновой передачи позволяет получать передаточные отношения до нескольких тысяч.

По сравнению с планетарными передачами волновые имеют большие КПД, точность и меньший мертвый ход.

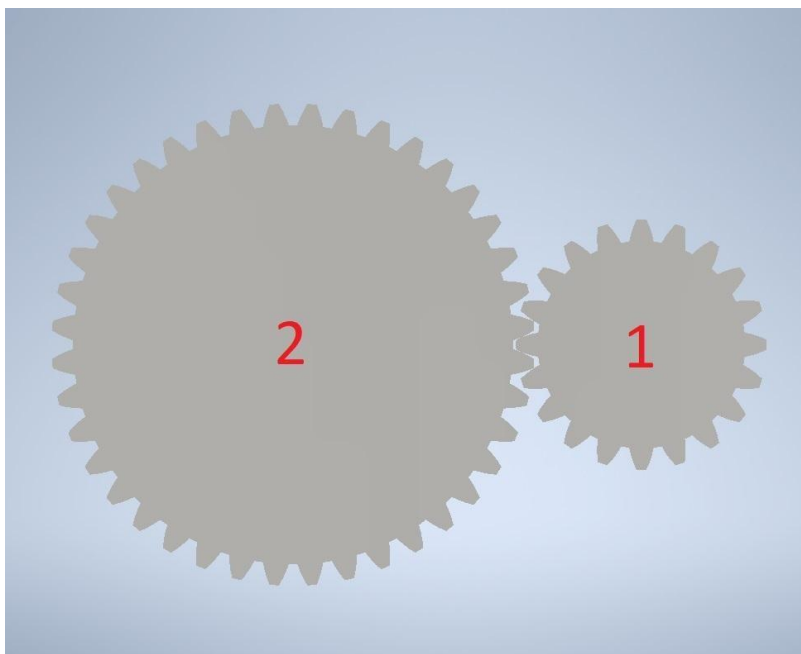
К недостаткам волновых передач относятся сложность изготовления и невозможность получения малых передаточных отношений (меньше 50).

Применяются волновые передачи в кинематических и силовых приводах с большим передаточным отношением; в отсчетных устройствах повышенной точности; как привод для передачи движения в герметизированное пространство.

### **Расчет передаточного отношения**

Для того чтобы определить передаточное отношение, нужно иметь по крайней мере две шестерни, сцепленные друг с другом; такое сцепление называется зубчатой передачей. Как правило, первая шестерня является ведущей шестерней (крепится к валу двигателя), а вторая – ведомой шестерней (крепится к валу нагрузки). Между ведущей и ведомой шестернями может быть сколь угодно много шестерен. Они называются промежуточными.

Сейчас будет рассмотрена передача с двумя шестернями. Для определения передаточного отношения эти шестерни должны быть сцеплены друг с другом (то есть их зубья сцеплены и одна шестерня поворачивает другую). Например, дана небольшая ведущая шестерня (шестерня 1) и большая ведомая шестерня (шестерня 2).



**Рис. 10.** Системы из двух шестерён

Простейший способ найти передаточное отношение между двумя шестернями – сравнить количество зубьев на каждой из них. Необходимо определить количества зубьев на ведущей шестерне. В данном примере меньшая (ведущая) шестерня имеет 20 зубьев, а большая (ведомая) шестерня имеет 30 зубьев.

Необходимо разделить количество зубьев ведомой шестерни на количество зубьев ведущей шестерни, чтобы вычислить передаточное отношение. В зависимости от условий задачи, можно записать ответ в виде десятичной дроби, обыкновенной дроби или в виде отношения (х:у).

В данном примере:  $40/20 = 2$ . Так же ответ можно записать в виде  $4/2$  или  $2:1$ .

Такое передаточное отношение означает, что меньшая ведущая шестерня должна совершить два оборота, чтобы большая ведомая шестерня совершила один оборот. Это имеет смысл, так как ведомая шестерня больше, а значит вращается медленнее.

## Практическая работа №43.

### Проект «Редуктор». Проектирование зубчатого зацепления.

#### Краткие теоретические сведения

Редукторы (латинского слова **reductor**) получили широкое распространение во всех отраслях промышленного и аграрного хозяйства, поэтому их производство с каждым годом увеличивается, появляются новые модификации, совершенствуются уже существующие модели.

Редуктор служит для снижения частоты вращения тихоходного вала и увеличения усилия на выходном валу. Редуктор может иметь одну или несколько ступеней, цель которых увеличение передаточного отношения. По типу механической передачи редукторы могут быть червячными, коническими, планетарными или цилиндрическими. Конструктивно редуктор выполнен как отдельное изделие, работающее в паре с электродвигателем и установленное с ним на одной раме. Промышленностью сегодня выпускаются редукторы общего и специального назначения.

Редукторы общего назначения могут применяться во многих случаях и отвечают общим требованиям. Специальные же редукторы имеют нестандартные характеристики подходящие под определенные требования.

#### Классификация, основные параметры редукторов

В зависимости от типа зубчатой передачи **редукторы бывают цилиндрические, конические, волновые, планетарные, глобоидные и червячные**. Широко применяются комбинированные редукторы, состоящие из нескольких совмещенных в одном корпусе типов передач (цилиндроконические, цилиндروحервячные и т.д.).



**Рис. 1. Зубчатые передачи**

Конструктивно редукторы могут передавать вращение между перекрещивающимися, пересекающимися и параллельными валами.

Так, например, цилиндрические редукторы позволяют передать вращение между параллельными валами, конические - между пересекающимися, а червячные - между пересекающимися валами.

Общее передаточное число может достигать до нескольких десятков тысяч и зависит от количества ступеней в редукторе. Широкое применение нашли редукторы, состоящие из одной, двух или трех ступеней, причем они могут, как описывалось выше, совмещать разные типы зубчатых передач.

### Классификация зубчатых передач; возможности, достоинства, недостатки разных видов зубчатых передач.

Меньшее из пары зубчатых колес принято называть шестерней (трибом), большее – колесом. Термин «зубчатое колесо» можно применять как к шестерне, так и к колесу зубчатой передачи. Индексы «1» и «2» присваивают соответственно параметрам шестерни и колеса.

Зацепление зубчатых колес можно кинематически представить, как качение без скольжения друг по другу двух поверхностей, называемых начальными. Для цилиндрических передач это цилиндры, для конических – конусы. Точку качения начальных поверхностей определяют, как полюс зацепления. По числу пар зацепляющихся колес зубчатые передачи бывают одно-, двух- и многоступенчатыми.

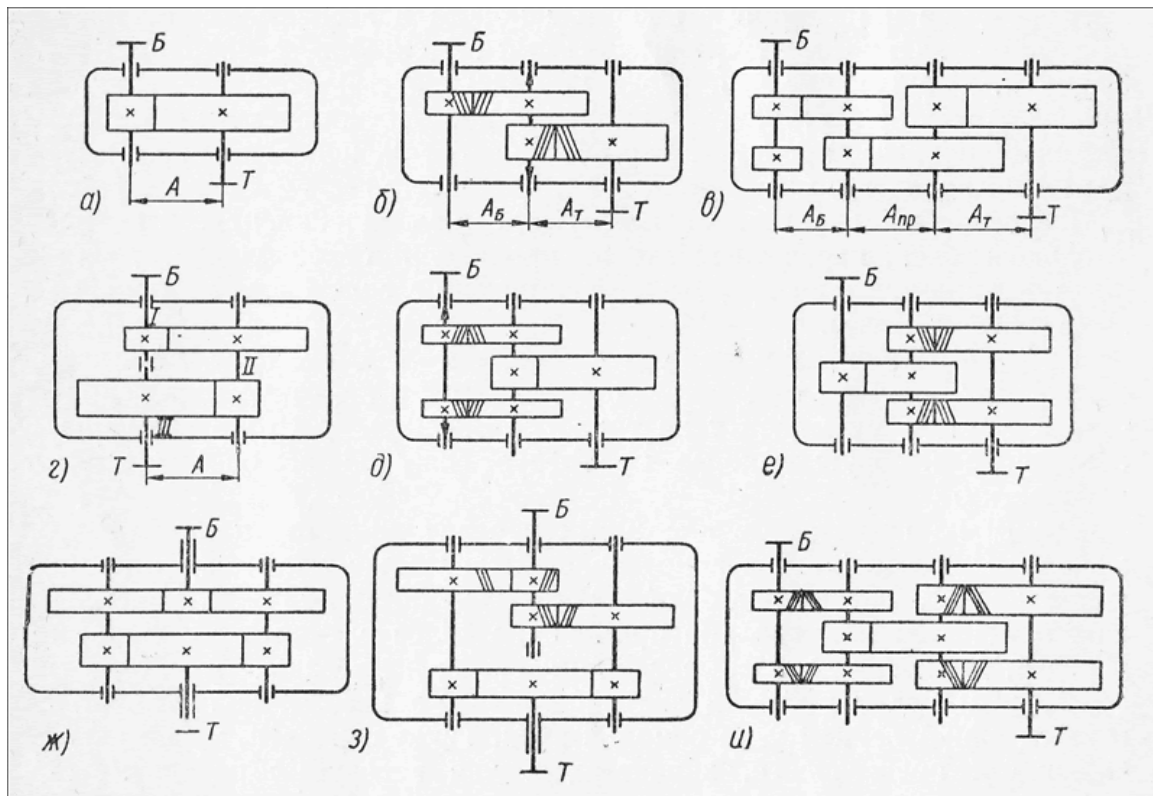
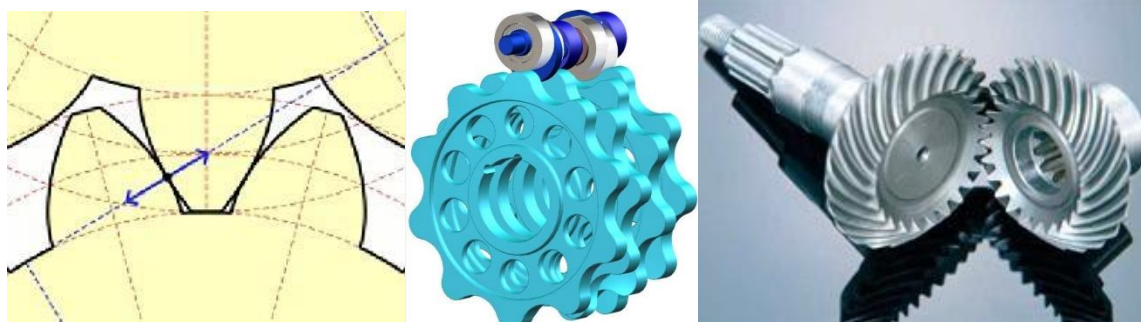


Рис. 2. Зубчатые передачи

По профилю зубьев: очертания зуба в плоскости поперечного сечения профиль зуба; эвольвентные, циклоидальные, круговые (зацепление Новикова).



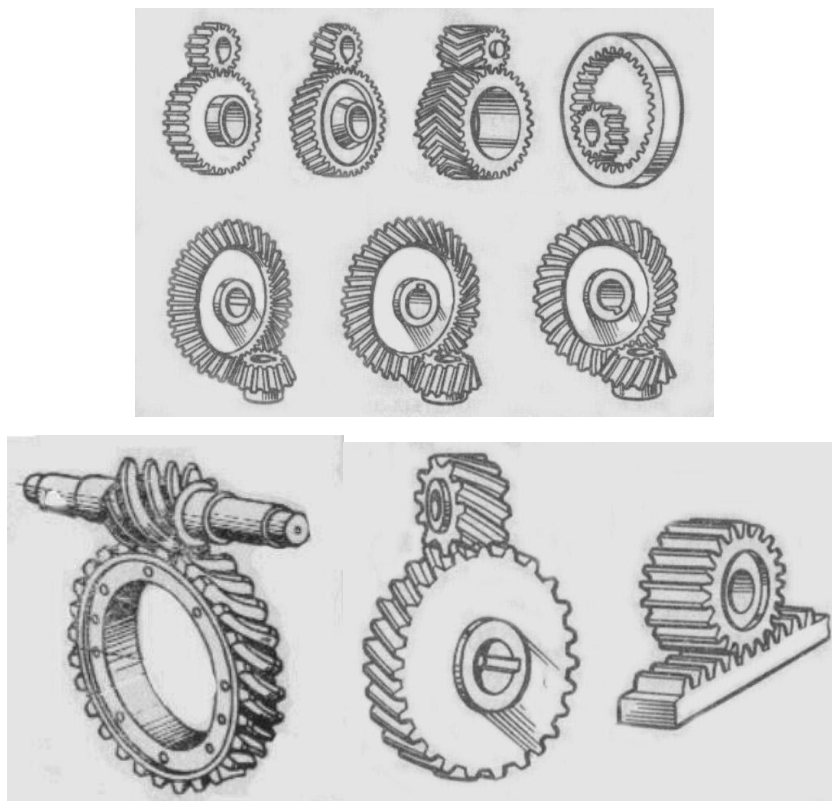
**Рис. 3.** Зацепления зубьев

По взаимному расположению осей их делят на цилиндрические – с параллельными осями, конические – с пересекающимися осями, на червячные, винтовые – со скрещивающимися в пространстве осями.

Зацепление зубчатых колес может быть внешним и внутренним.

Реечные зубчатые передачи преобразуют вращательное движение в поступательное или наоборот.

По расположению зубьев относительно образующих начальной поверхности колеса зубчатые передачи делят на прямозубые и косозубые, шевронные и с круговым зубом.



**Рис. 4.** Зубчатые передачи

**Прямозубыми** называются колеса (передачи), направление каждого зуба которых совпадает с образующей начальной поверхности (цилиндра или конуса).

**Косозубыми** называются зубчатые колеса, направление каждого зуба которых составляет некоторый постоянный угол с образующей начальной поверхности.

Обладают рядом достоинств по сравнению с прямозубыми: благодаря наличию угла наклона зубья вступают в зацепление по своей длине постепенно, что обеспечивает более равномерную и плавную работу и естественно, снижение шума механизма вследствие большего коэффициента перекрытия. У косозубых колес минимальное число зубьев при котором не происходит подрезания, меньше, чем у прямозубых. Косозубые передачи позволяют подобрать при заданном межосевом расстоянии за счет изменения угла наклона пару колес со стандартным модулем.

К недостаткам косозубых передач следует отнести более сложное изготовление колес по сравнению с прямозубыми и появление дополнительного осевого усилия, передаваемого на опоры. Для устранения осевого усилия можно применять шевронные зубчатые колеса. Венец шевронного колеса состоит из участков с правым и левым направлением зубьев. Зубья такого колеса могут быть нарезаны на одном ободе или венец состоит из жесткого соединения двух косозубых колес с разным направлением наклона зубьев. Шевронные колеса сложнее в изготовлении косозубых.



**Рис. 5.** Шевронная передача

**Шевронными** называются колеса, зубчатый венец которых образуется из двух рядов косых зубьев противоположного направления.

Для устранения осевого усилия можно применять шевронные зубчатые колеса. Венец шевронного колеса состоит из участков с правым и левым направлением зубьев. Зубья такого колеса могут быть нарезаны на одном ободе или венец состоит из жесткого соединения двух косозубых колес с разным направлением наклона зубьев. Шевронные колеса сложнее в изготовлении косозубых.



**Рис. 6.** Коническая передача

**Конические** колеса могут быть прямозубыми, косозубыми и с круговым зубом.

Конические зубчатые колеса применяют для передачи вращательного движения между валами, оси которых пересекаются под некоторым углом.

Преимущественно применяют прямозубые конические колеса и только тогда, когда нельзя использовать цилиндрические. Это объясняется большей сложностью изготовления и сборки конических передач. Одно из колес конических передач из-за пересечения осей валов располагается консольно, что создает дополнительные трудности при конструировании опор. Кроме того, валы и опоры нагружаются не только радиальными, но и осевыми силами. Применение более сложных опор приводит к снижению КПД и к большему шуму, чем при применении цилиндрических передач.

Наибольшее распространение получили передачи с эвольвентным профилем зубьев. Во-первых, эвольвентное зацепление мало чувствительно к отклонениям межосевого расстояния, не нарушается правильность зацепления. Во-вторых, профиль зубьев инструмента для нарезания эвольвентных зубчатых колес может быть прямолинейным, сравнительно простое изготовление и контроль инструмента и колес, одним инструментом можно нарезать колеса с разным числом зубьев. Траекторией точки контакта эвольвентных профилей зубьев является прямая линия.

По характеру своей работы передачи могут быть реверсивные и неревверсивные. По конструктивному выполнению корпуса зубчатые передачи бывают открытыми и закрытыми. Открытые не имеют защиты от попадания пыли и грязи, закрытые передачи имеют жесткий корпус и работают в масляной ванне.

По величине окружной скорости различают передачи – тихоходные (до 3 м/с), средних скоростей (3 ... 15 м/с) и быстроходные (свыше 15 м/с).

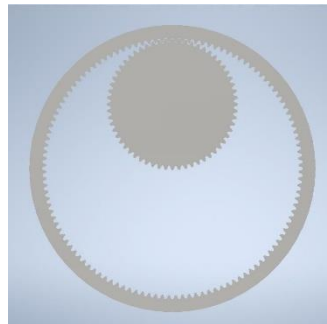
**Червячные** передачи применяют, когда оси ведущего и ведомого валов перекрещиваются под углом 90°.



**Рис. 7.** Червячная передача

Достоинством червячных передач по сравнению с зубчатыми является возможность получить большие передаточные отношения (числа) в одной ступени, до 80 в силовых передачах и до нескольких сотен в кинематических. Червячным редукторам присущи также бесшумность в работе; высокая плавность зацепления; компактность; свойство самоторможения, заключающееся в невозможности передачи вращения от колеса к червяку, что позволяет исключать из привода тормозные устройства; надежность и простота эксплуатации.

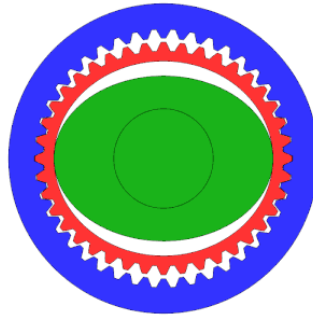
Недостатками червячных передач являются большое относительное скольжение сопряженных поверхностей в зацеплении; большие потери на трение; малый КПД; значительный нагрев зацепляющихся элементов в силовых передачах, что требует специальных мер для дополнительного охлаждения; высокая сложность и точность изготовления и сборки.



**Рис. 8.** Планетарная передача

**Планетарными** называют многозвенные механизмы, в которых обязательно есть зубчатые колеса с движущимися геометрическими осями.

Планетарные передачи позволяют получать большие передаточные отношения при малых габаритах и массе механизма, снимать с одной (центральной) оси движения с разными угловыми скоростями. Планетарные механизмы широко используются в шкальных отсчетных устройствах, где подвижное центральное колесо связывают со шкалой грубого отсчета, а водило – со шкалой точного отсчета; в механизмах настройки. Недостатками планетарных передач являются повышенное требование к точности изготовления, относительно большой мертвый ход, уменьшение КПД с ростом передаточного отношения.



**Рис. 9.** Волновая передача

**Волновые** зубчатые механизмы имеют ряд достоинств: большие передаточные отношения (50 ... 250 в одноступенчатой передаче) при малых габаритах и массе; высокие точность и плавность вследствие уменьшения общей ошибки при большом числе зацепляющихся зубьев и минимальный мертвый ход; высокий КПД (0,7 ... 0,9) благодаря малым скоростям скольжения в зацеплении; возможность передачи вращательного движения в герметически закрытое пространство или через непроницаемую перегородку. Двухступенчатая схема волновой передачи позволяет получать передаточные отношения до нескольких тысяч.

По сравнению с планетарными передачами волновые имеют большие КПД, точность и меньший мертвый ход.

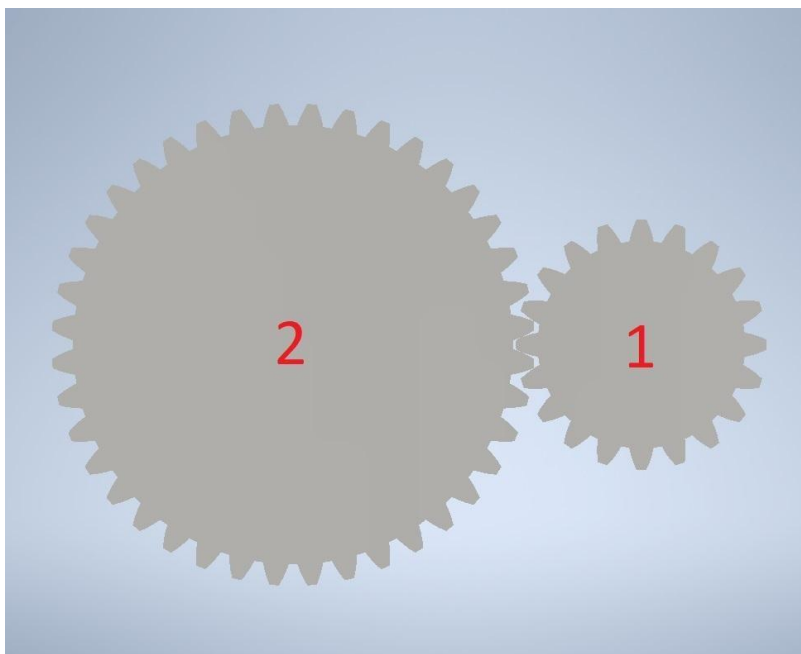
К недостаткам волновых передач относятся сложность изготовления и невозможность получения малых передаточных отношений (меньше 50).

Применяются волновые передачи в кинематических и силовых приводах с большим передаточным отношением; в отсчетных устройствах повышенной точности; как привод для передачи движения в герметизированное пространство.

### **Расчет передаточного отношения**

Для того чтобы определить передаточное отношение, нужно иметь по крайней мере две шестерни, сцепленные друг с другом; такое сцепление называется зубчатой передачей. Как правило, первая шестерня является ведущей шестерней (крепится к валу двигателя), а вторая – ведомой шестерней (крепится к валу нагрузки). Между ведущей и ведомой шестернями может быть сколь угодно много шестерен. Они называются промежуточными.

Сейчас будет рассмотрена передача с двумя шестернями. Для определения передаточного отношения эти шестерни должны быть сцеплены друг с другом (то есть их зубья сцеплены и одна шестерня поворачивает другую). Например, дана небольшая ведущая шестерня (шестерня 1) и большая ведомая шестерня (шестерня 2).



**Рис. 10.** Системы из двух шестерён

Простейший способ найти передаточное отношение между двумя шестернями – сравнить количество зубьев на каждой из них. Необходимо определить количества зубьев на ведущей шестерне. В данном примере меньшая (ведущая) шестерня имеет 20 зубьев, а большая (ведомая) шестерня имеет 30 зубьев.

Необходимо разделить количество зубьев ведомой шестерни на количество зубьев ведущей шестерни, чтобы вычислить передаточное отношение. В зависимости от условий задачи, можно записать ответ в виде десятичной дроби, обыкновенной дроби или в виде отношения (х:у).

В данном примере:  $40/20 = 2$ . Так же ответ можно записать в виде  $4/2$  или  $2:1$ .

Такое передаточное отношение означает, что меньшая ведущая шестерня должна совершить два оборота, чтобы большая ведомая шестерня совершила один оборот. Это имеет смысл, так как ведомая шестерня больше, а значит вращается медленнее.

## Практическая работа №45.

### Проект «Редуктор». Моделирование крышки редуктора.

#### Краткие теоретические сведения

Редукторы (латинского слова **reductor**) получили широкое распространение во всех отраслях промышленного и аграрного хозяйства, поэтому их производство с каждым годом увеличивается, появляются новые модификации, совершенствуются уже существующие модели.

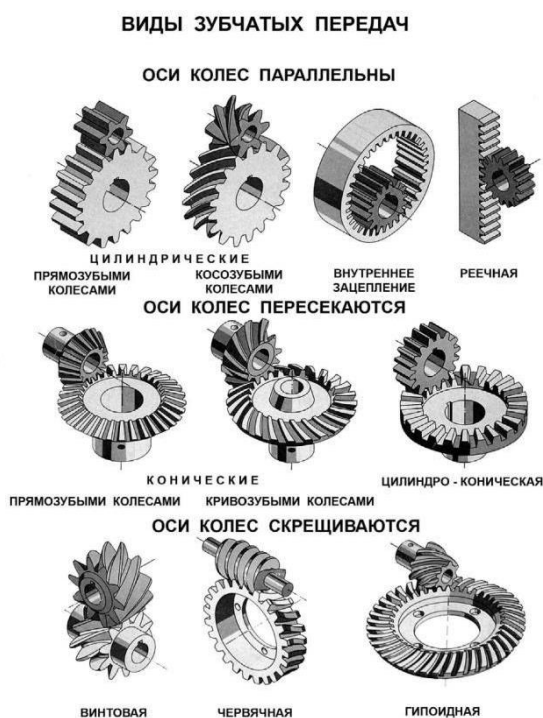
Редуктор служит для снижения частоты вращения тихоходного вала и увеличения усилия на выходном валу. Редуктор может иметь одну или несколько ступеней, цель которых увеличение передаточного отношения. По типу механической передачи редукторы могут быть червячными, коническими, планетарными или цилиндрическими. Конструктивно редуктор выполнен как отдельное изделие, работающее в паре с электродвигателем и установленное с ним на одной раме.

Промышленностью сегодня выпускаются редукторы общего и специального назначения.

Редукторы общего назначения могут применяться во многих случаях и отвечают общим требованиям. Специальные же редукторы имеют нестандартные характеристики подходящие под определенные требования.

#### Классификация, основные параметры редукторов

В зависимости от типа зубчатой передачи **редукторы бывают цилиндрические, конические, волновые, планетарные, глобоидные и червячные**. Широко применяются комбинированные редукторы, состоящие из нескольких совмещенных в одном корпусе типов передач (цилиндроконические, цилиндروحервячные и т.д.).



**Рис. 1. Зубчатые передачи**

Конструктивно редукторы могут передавать вращение между перекрещивающимися, пересекающимися и параллельными валами.

Так, например, цилиндрические редукторы позволяют передать вращение между параллельными валами, конические - между пересекающимися, а червячные - между пересекающимися валами.

Общее передаточное число может достигать до нескольких десятков тысяч и зависит от количества ступеней в редукторе. Широкое применение нашли редукторы, состоящие из одной, двух или трех ступеней, причем они могут, как описывалось выше, совмещать разные типы зубчатых передач.

### Классификация зубчатых передач; возможности, достоинства, недостатки разных видов зубчатых передач.

Меньшее из пары зубчатых колес принято называть шестерней (трибом), большее – колесом. Термин «зубчатое колесо» можно применять как к шестерне, так и к колесу зубчатой передачи. Индексы «1» и «2» присваивают соответственно параметрам шестерни и колеса.

Зацепление зубчатых колес можно кинематически представить, как качение без скольжения друг по другу двух поверхностей, называемых начальными. Для цилиндрических передач это цилиндры, для конических – конусы. Точку качения начальных поверхностей определяют, как полюс зацепления. По числу пар зацепляющихся колес зубчатые передачи бывают одно-, двух- и многоступенчатыми.

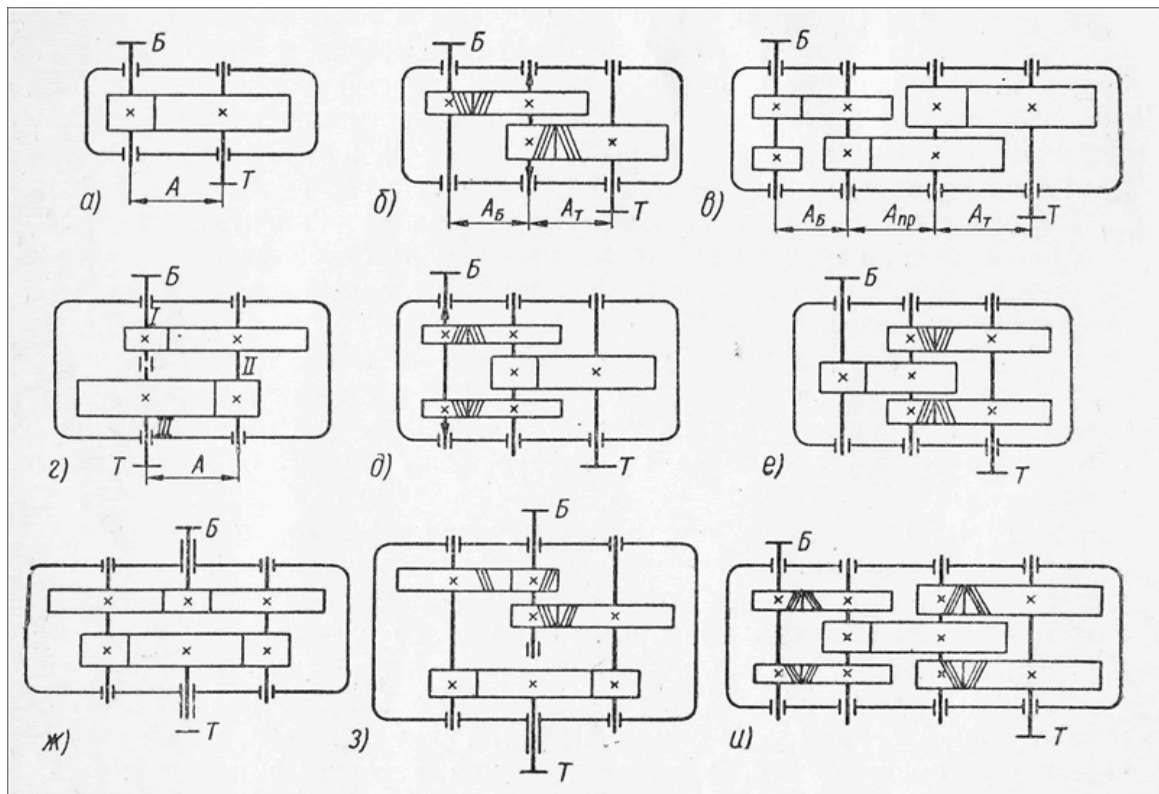
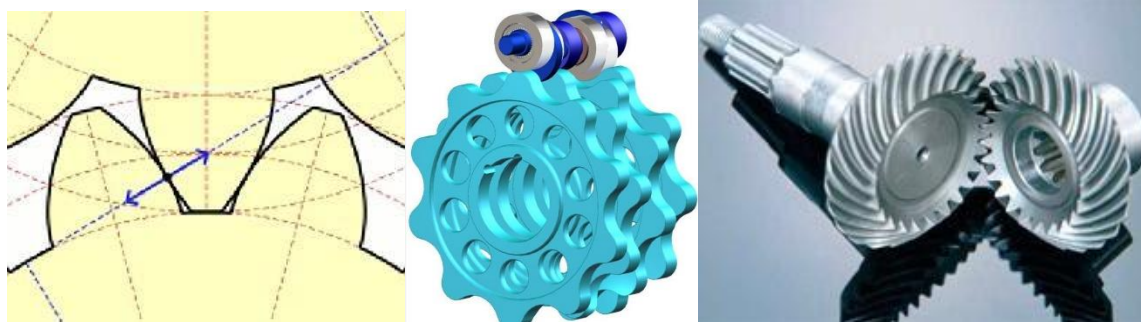


Рис. 2. Зубчатые передачи

По профилю зубьев: очертания зуба в плоскости поперечного сечения профиль зуба; эвольвентные, циклоидальные, круговые (зацепление Новикова).



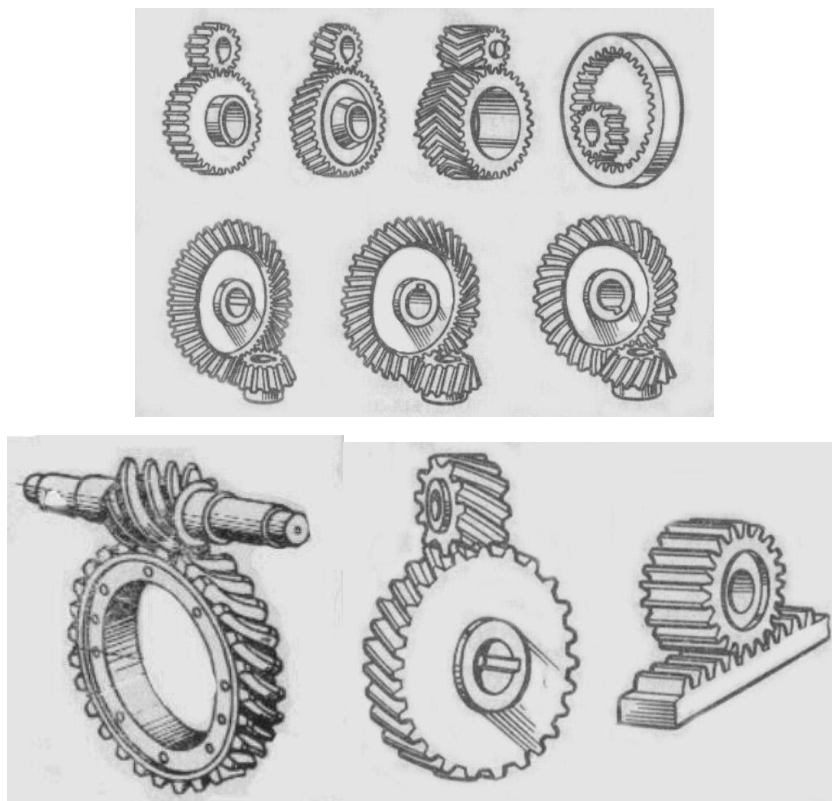
**Рис. 3.** Зацепления зубьев

По взаимному расположению осей их делят на цилиндрические – с параллельными осями, конические – с пересекающимися осями, на червячные, винтовые – со скрещивающимися в пространстве осями.

Зацепление зубчатых колес может быть внешним и внутренним.

Реечные зубчатые передачи преобразуют вращательное движение в поступательное или наоборот.

По расположению зубьев относительно образующих начальной поверхности колеса зубчатые передачи делят на прямозубые и косозубые, шевронные и с круговым зубом.



**Рис. 4.** Зубчатые передачи

**Прямозубыми** называются колеса (передачи), направление каждого зуба которых совпадает с образующей начальной поверхности (цилиндра или конуса).

**Косозубыми** называются зубчатые колеса, направление каждого зуба которых составляет некоторый постоянный угол с образующей начальной поверхности.

Обладают рядом достоинств по сравнению с прямозубыми: благодаря наличию угла наклона зубья вступают в зацепление по своей длине постепенно, что обеспечивает более равномерную и плавную работу и естественно, снижение шума механизма вследствие большего коэффициента перекрытия. У косозубых колес минимальное число зубьев при котором не происходит подрезания, меньше, чем у прямозубых. Косозубые передачи позволяют подобрать при заданном межосевом расстоянии за счет изменения угла наклона пару колес со стандартным модулем.

К недостаткам косозубых передач следует отнести более сложное изготовление колес по сравнению с прямозубыми и появление дополнительного осевого усилия, передаваемого на опоры. Для устранения осевого усилия можно применять шевронные зубчатые колеса. Венец шевронного колеса состоит из участков с правым и левым направлением зубьев. Зубья такого колеса могут быть нарезаны на одном ободе или венец состоит из жесткого соединения двух косозубых колес с разным направлением наклона зубьев. Шевронные колеса сложнее в изготовлении косозубых.



**Рис. 5.** Шевронная передача

**Шевронными** называются колеса, зубчатый венец которых образуется из двух рядов косых зубьев противоположного направления.

Для устранения осевого усилия можно применять шевронные зубчатые колеса. Венец шевронного колеса состоит из участков с правым и левым направлением зубьев. Зубья такого колеса могут быть нарезаны на одном ободе или венец состоит из жесткого соединения двух косозубых колес с разным направлением наклона зубьев. Шевронные колеса сложнее в изготовлении косозубых.



**Рис. 6.** Коническая передача

**Конические** колеса могут быть прямозубыми, косозубыми и с круговым зубом.

Конические зубчатые колеса применяют для передачи вращательного движения между валами, оси которых пересекаются под некоторым углом.

Преимущественно применяют прямозубые конические колеса и только тогда, когда нельзя использовать цилиндрические. Это объясняется большей сложностью изготовления и сборки конических передач. Одно из колес конических передач из-за пересечения осей валов располагается консольно, что создает дополнительные трудности при конструировании опор. Кроме того, валы и опоры нагружаются не только радиальными, но и осевыми силами. Применение более сложных опор приводит к снижению КПД и к большему шуму, чем при применении цилиндрических передач.

Наибольшее распространение получили передачи с эвольвентным профилем зубьев. Во-первых, эвольвентное зацепление мало чувствительно к отклонениям межосевого расстояния, не нарушается правильность зацепления. Во-вторых, профиль зубьев инструмента для нарезания эвольвентных зубчатых колес может быть прямолинейным, сравнительно простое изготовление и контроль инструмента и колес, одним инструментом можно нарезать колеса с разным числом зубьев. Траекторией точки контакта эвольвентных профилей зубьев является прямая линия.

По характеру своей работы передачи могут быть реверсивные и неревверсивные. По конструктивному выполнению корпуса зубчатые передачи бывают открытыми и закрытыми. Открытые не имеют защиты от попадания пыли и грязи, закрытые передачи имеют жесткий корпус и работают в масляной ванне.

По величине окружной скорости различают передачи – тихоходные (до 3 м/с), средних скоростей (3 ... 15 м/с) и быстроходные (свыше 15 м/с).

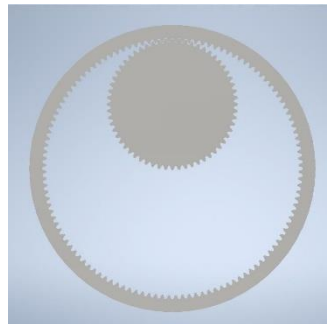
**Червячные** передачи применяют, когда оси ведущего и ведомого валов перекрещиваются под углом  $90^\circ$ .



**Рис. 7.** Червячная передача

Достоинством червячных передач по сравнению с зубчатыми является возможность получить большие передаточные отношения (числа) в одной ступени, до 80 в силовых передачах и до нескольких сотен в кинематических. Червячным редукторам присущи также бесшумность в работе; высокая плавность зацепления; компактность; свойство самоторможения, заключающееся в невозможности передачи вращения от колеса к червяку, что позволяет исключать из привода тормозные устройства; надежность и простота эксплуатации.

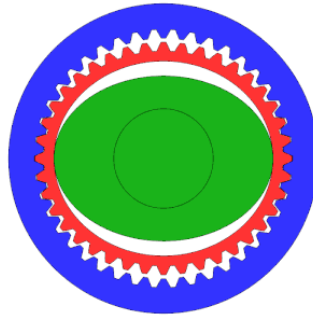
Недостатками червячных передач являются большое относительное скольжение сопряженных поверхностей в зацеплении; большие потери на трение; малый КПД; значительный нагрев зацепляющихся элементов в силовых передачах, что требует специальных мер для дополнительного охлаждения; высокая сложность и точность изготовления и сборки.



**Рис. 8.** Планетарная передача

**Планетарными** называют многосвязные механизмы, в которых обязательно есть зубчатые колеса с движущимися геометрическими осями.

Планетарные передачи позволяют получать большие передаточные отношения при малых габаритах и массе механизма, снимать с одной (центральной) оси движения с разными угловыми скоростями. Планетарные механизмы широко используются в шкальных отсчетных устройствах, где подвижное центральное колесо связывают со шкалой грубого отсчета, а водило – со шкалой точного отсчета; в механизмах настройки. Недостатками планетарных передач являются повышенное требование к точности изготовления, относительно большой мертвый ход, уменьшение КПД с ростом передаточного отношения.



**Рис. 9.** Волновая передача

**Волновые** зубчатые механизмы имеют ряд достоинств: большие передаточные отношения (50 ... 250 в одноступенчатой передаче) при малых габаритах и массе; высокие точность и плавность вследствие уменьшения общей ошибки при большом числе зацепляющихся зубьев и минимальный мертвый ход; высокий КПД (0,7 ... 0,9) благодаря малым скоростям скольжения в зацеплении; возможность передачи вращательного движения в герметически закрытое пространство или через непроницаемую перегородку. Двухступенчатая схема волновой передачи позволяет получать передаточные отношения до нескольких тысяч.

По сравнению с планетарными передачами волновые имеют большие КПД, точность и меньший мертвый ход.

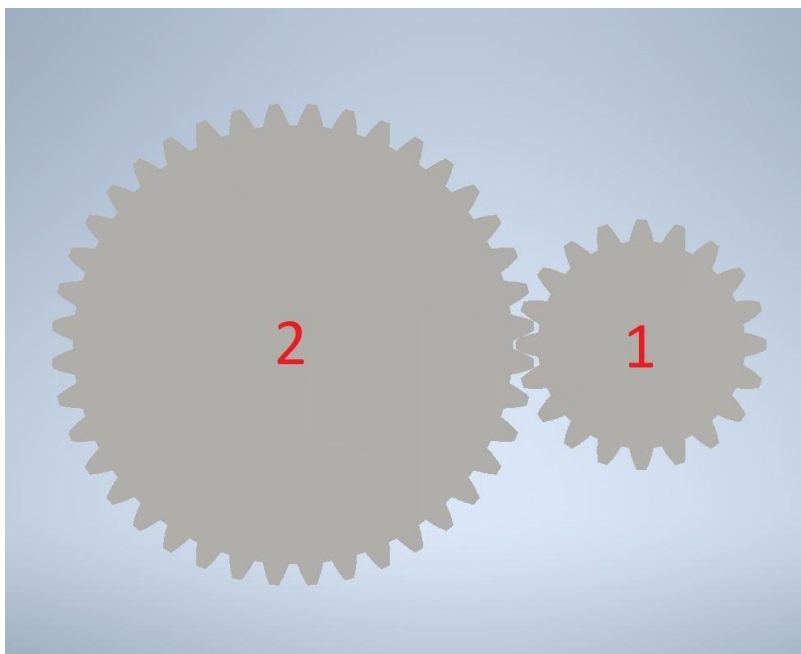
К недостаткам волновых передач относятся сложность изготовления и невозможность получения малых передаточных отношений (меньше 50).

Применяются волновые передачи в кинематических и силовых приводах с большим передаточным отношением; в отсчетных устройствах повышенной точности; как привод для передачи движения в герметизированное пространство.

### **Расчет передаточного отношения**

Для того чтобы определить передаточное отношение, нужно иметь по крайней мере две шестерни, сцепленные друг с другом; такое сцепление называется зубчатой передачей. Как правило, первая шестерня является ведущей шестерней (крепится к валу двигателя), а вторая – ведомой шестерней (крепится к валу нагрузки). Между ведущей и ведомой шестернями может быть сколь угодно много шестерен. Они называются промежуточными.

Сейчас будет рассмотрена передача с двумя шестернями. Для определения передаточного отношения эти шестерни должны быть сцеплены друг с другом (то есть их зубья сцеплены и одна шестерня поворачивает другую). Например, дана небольшая ведущая шестерня (шестерня 1) и большая ведомая шестерня (шестерня 2).



**Рис. 10.** Системы из двух шестерён

Простейший способ найти передаточное отношение между двумя шестернями – сравнить количество зубьев на каждой из них. Необходимо определить количества зубьев на ведущей шестерне. В данном примере меньшая (ведущая) шестерня имеет 20 зубьев, а большая (ведомая) шестерня имеет 30 зубьев.

Необходимо разделить количество зубьев ведомой шестерни на количество зубьев ведущей шестерни, чтобы вычислить передаточное отношение. В зависимости от условий задачи, можно записать ответ в виде десятичной дроби, обыкновенной дроби или в виде отношения (х:у).

В данном примере:  $40/20 = 2$ . Так же ответ можно записать в виде  $4/2$  или  $2:1$ .

Такое передаточное отношение означает, что меньшая ведущая шестерня должна совершить два оборота, чтобы большая ведомая шестерня совершила один оборот. Это имеет смысл, так как ведомая шестерня больше, а значит вращается медленнее.

#### **Практическая работа №46.**

##### ***Проект «Редуктор». Назначение динамических зависимостей и сборка изделия.***

#### **Краткие теоретические сведения**

Редукторы (латинского слова **reductor**) получили широкое распространение во всех отраслях промышленного и аграрного хозяйства, поэтому их производство с каждым годом увеличивается, появляются новые модификации, совершенствуются уже существующие модели.

Редуктор служит для снижения частоты вращения тихоходного вала и увеличения усилия на выходном валу. Редуктор может иметь одну или несколько ступеней, цель которых увеличение

передаточного отношения. По типу механической передачи редукторы могут быть червячными, коническими, планетарными или цилиндрическими. Конструктивно редуктор выполнен как отдельное изделие, работающее в паре с электродвигателем и установленное с ним на одной раме. Промышленностью сегодня выпускаются редукторы общего и специального назначения.

Редукторы общего назначения могут применяться во многих случаях и отвечают общим требованиям. Специальные же редукторы имеют нестандартные характеристики подходящие под определенные требования.

### Классификация, основные параметры редукторов

В зависимости от типа зубчатой передачи редукторы бывают цилиндрические, конические, волновые, планетарные, глобоидные и червячные. Широко применяются комбинированные редукторы, состоящие из нескольких совмещенных в одном корпусе типов передач (цилиндроконические, цилиндروحервячные и т.д.).



**Рис. 1. Зубчатые передачи**

Конструктивно редукторы могут передавать вращение между перекрещивающимися, пересекающимися и параллельными валами.

Так, например, цилиндрические редукторы позволяют передать вращение между параллельными валами, конические - между пересекающимися, а червячные - между пересекающимися валами.

Общее передаточное число может достигать до нескольких десятков тысяч и зависит от количества ступеней в редукторе. Широкое применение нашли редукторы, состоящие из одной, двух или трех ступеней, причем они могут, как описывалось выше, совмещать разные типы зубчатых передач.

## Классификация зубчатых передач; возможности, достоинства, недостатки разных видов зубчатых передач.

Меньшее из пары зубчатых колес принято называть шестерней (трибом), большее – колесом. Термин «зубчатое колесо» можно применять как к шестерне, так и к колесу зубчатой передачи. Индексы «1» и «2» присваивают соответственно параметрам шестерни и колеса.

Зацепление зубчатых колес можно кинематически представить, как качение без скольжения друг по другу двух поверхностей, называемых начальными. Для цилиндрических передач это цилиндры, для конических – конусы. Точку качения начальных поверхностей определяют, как полюс зацепления. По числу пар зацепляющихся колес зубчатые передачи бывают одно-, двух- и многоступенчатыми.

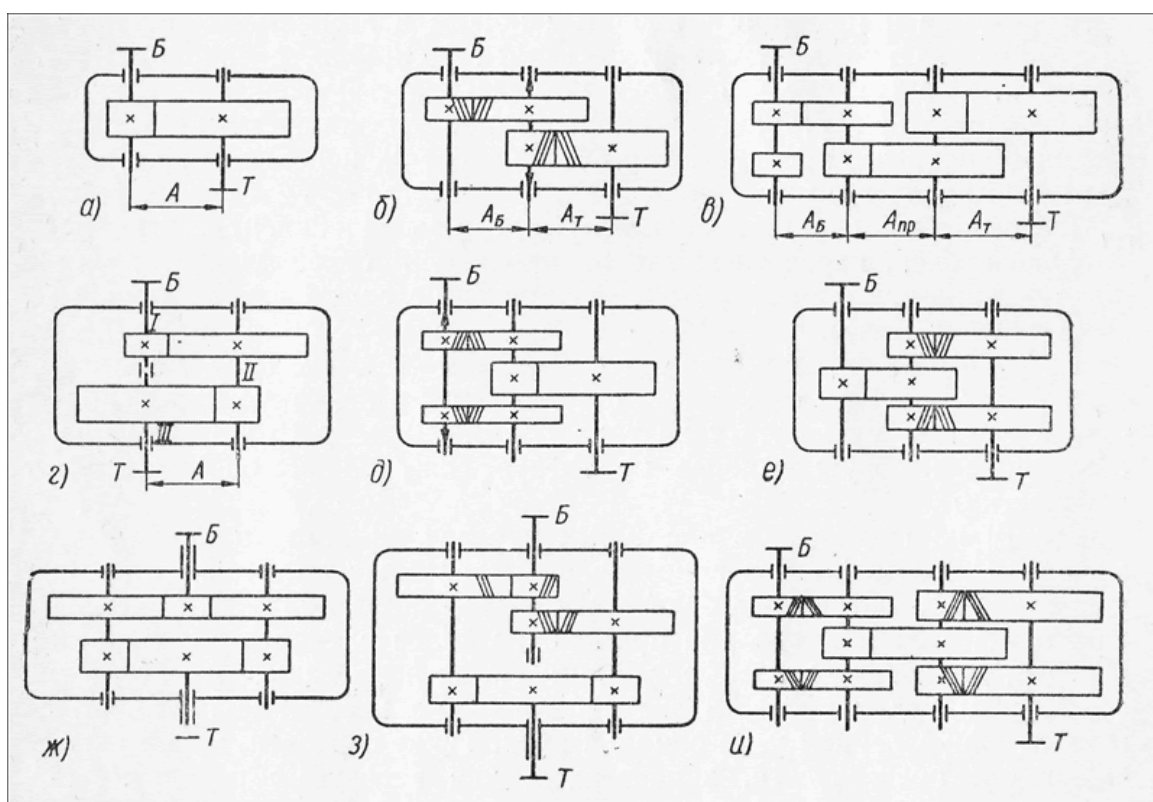
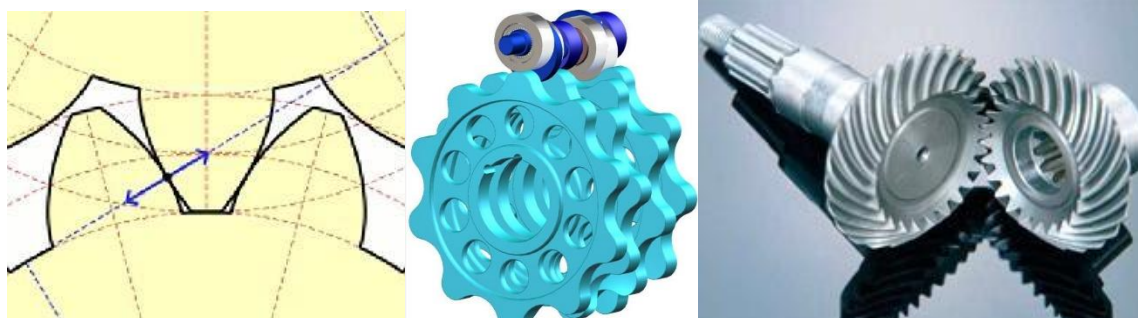


Рис. 2. Зубчатые передачи

По профилю зубьев: очертания зуба в плоскости поперечного сечения профиль зуба; эвольвентные, циклоидальные, круговые (зацепление Новикова).



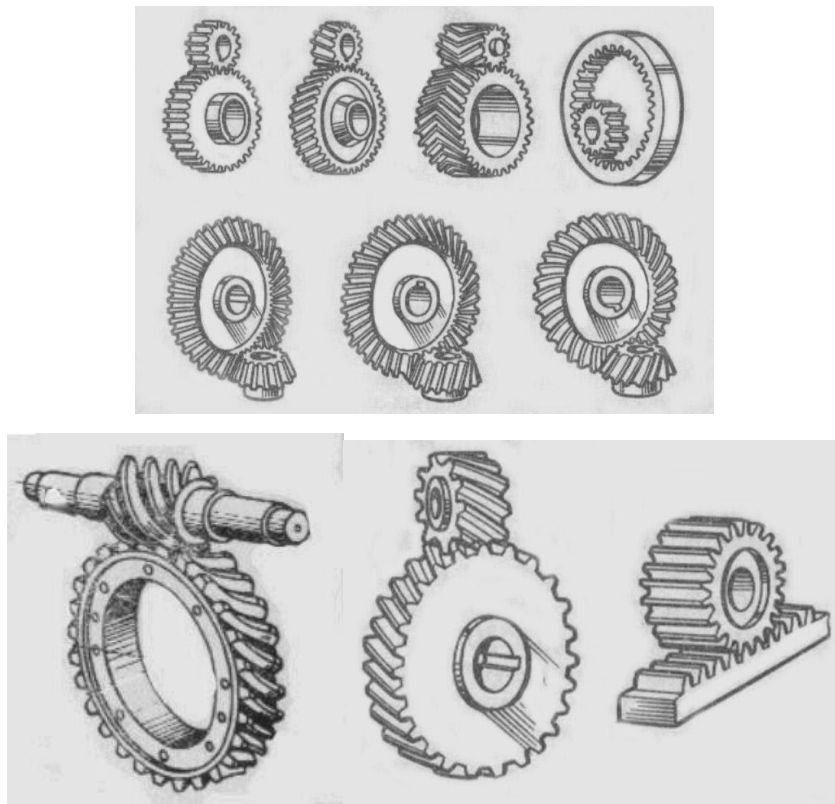
**Рис. 3.** Зацепления зубьев

По взаимному расположению осей их делят на цилиндрические – с параллельными осями, конические – с пересекающимися осями, на червячные, винтовые – со скрещивающимися в пространстве осями.

Зацепление зубчатых колес может быть внешним и внутренним.

Реечные зубчатые передачи преобразуют вращательное движение в поступательное или наоборот.

По расположению зубьев относительно образующих начальной поверхности колеса зубчатые передачи делят на прямозубые и косозубые, шевронные и с круговым зубом.



**Рис. 4.** Зубчатые передачи

**Прямозубыми** называются колеса (передачи), направление каждого зуба которых совпадает с образующей начальной поверхности (цилиндра или конуса).

**Косозубыми** называются зубчатые колеса, направление каждого зуба которых составляет некоторый постоянный угол с образующей начальной поверхности.

Обладают рядом достоинств по сравнению с прямозубыми: благодаря наличию угла наклона зубья вступают в зацепление по своей длине постепенно, что обеспечивает более равномерную и плавную работу и естественно, снижение шума механизма вследствие большего коэффициента перекрытия. У косозубых колес минимальное число зубьев при котором не происходит подрезания,

меньше, чем у прямозубых. Косозубые передачи позволяют подобрать при заданном межосевом расстоянии за счет изменения угла наклона пару колес со стандартным модулем.

К недостаткам косозубых передач следует отнести более сложное изготовление колес по сравнению с прямозубыми и появление дополнительного осевого усилия, передаваемого на опоры. Для устранения осевого усилия можно применять шевронные зубчатые колеса. Венец шевронного колеса состоит из участков с правым и левым направлением зубьев. Зубья такого колеса могут быть нарезаны на одном ободе или венец состоит из жесткого соединения двух косозубых колес с разным направлением наклона зубьев. Шевронные колеса сложнее в изготовлении косозубых.



Рис. 5. Шевронная передача

**Шевронными** называются колеса, зубчатый венец которых образуется из двух рядов косых зубьев противоположного направления.

Для устранения осевого усилия можно применять шевронные зубчатые колеса. Венец шевронного колеса состоит из участков с правым и левым направлением зубьев. Зубья такого колеса могут быть нарезаны на одном ободе или венец состоит из жесткого соединения двух косозубых колес с разным направлением наклона зубьев. Шевронные колеса сложнее в изготовлении косозубых.



Рис. 6. Коническая передача

**Конические** колеса могут быть прямозубыми, косозубыми и с круговым зубом.

Конические зубчатые колеса применяют для передачи вращательного движения между валами, оси которых пересекаются под некоторым углом.

Преимущественно применяют прямозубые конические колеса и только тогда, когда нельзя использовать цилиндрические. Это объясняется большей сложностью изготовления и сборки конических передач. Одно из колес конических передач из-за пересечения осей валов располагается консольно, что создает дополнительные трудности при конструировании опор. Кроме того, валы и опоры нагружаются не только радиальными, но и осевыми силами. Применение более сложных опор приводит к снижению КПД и к большему шуму, чем при применении цилиндрических передач.

Наибольшее распространение получили передачи с эвольвентным профилем зубьев. Во-первых, эвольвентное зацепление мало чувствительно к отклонениям межосевого расстояния, не нарушается правильность зацепления. Во-вторых, профиль зубьев инструмента для нарезания эвольвентных зубчатых колес может быть прямолинейным, сравнительно простое изготовление и контроль инструмента и колес, одним инструментом можно нарезать колеса с разным числом зубьев. Траекторией точки контакта эвольвентных профилей зубьев является прямая линия.

По характеру своей работы передачи могут быть реверсивные и нереверсивные. По конструктивному выполнению корпуса зубчатые передачи бывают открытыми и закрытыми. Открытые не имеют защиты от попадания пыли и грязи, закрытые передачи имеют жесткий корпус и работают в масляной ванне.

По величине окружной скорости различают передачи – тихоходные (до 3 м/с), средних скоростей (3 ... 15 м/с) и быстроходные (свыше 15 м/с).

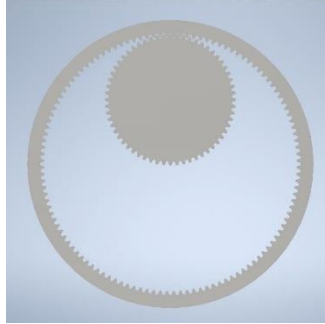
**Червячные** передачи применяют, когда оси ведущего и ведомого валов перекрещиваются под углом 90°.



**Рис. 7.** Червячная передача

Достоинством червячных передач по сравнению с зубчатыми является возможность получить большие передаточные отношения (числа) в одной ступени, до 80 в силовых передачах и до нескольких сотен в кинематических. Червячным редукторам присущи также бесшумность в работе; высокая плавность зацепления; компактность; свойство самоторможения, заключающееся в невозможности передачи вращения от колеса к червяку, что позволяет исключать из привода тормозные устройства; надежность и простота эксплуатации.

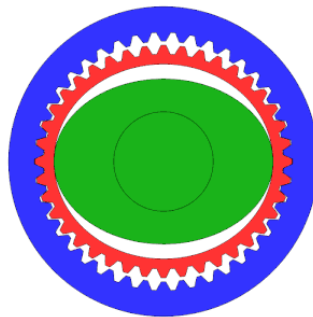
Недостатками червячных передач являются большое относительное скольжение сопряженных поверхностей в зацеплении; большие потери на трение; малый КПД; значительный нагрев зацепляющихся элементов в силовых передачах, что требует специальных мер для дополнительного охлаждения; высокая сложность и точность изготовления и сборки.



**Рис. 8.** Планетарная передача

**Планетарными** называют многосменные механизмы, в которых обязательно есть зубчатые колеса с движущимися геометрическими осями.

Планетарные передачи позволяют получать большие передаточные отношения при малых габаритах и массе механизма, снимать с одной (центральной) оси движения с разными угловыми скоростями. Планетарные механизмы широко используются в шкальных отсчетных устройствах, где подвижное центральное колесо связывают со шкалой грубого отсчета, а водило – со шкалой точного отсчета; в механизмах настройки. Недостатками планетарных передач являются повышенное требование к точности изготовления, относительно большой мертвый ход, уменьшение КПД с ростом передаточного отношения.



**Рис. 9.** Волновая передача

**Волновые** зубчатые механизмы имеют ряд достоинств: большие передаточные отношения (50 ... 250 в одноступенчатой передаче) при малых габаритах и массе; высокие точность и плавность вследствие уменьшения общей ошибки при большом числе зацепляющихся зубьев и минимальный мертвый ход; высокий КПД (0,7 ... 0,9) благодаря малым скоростям скольжения в зацеплении;

возможность передачи вращательного движения в герметически закрытое пространство или через непроницаемую перегородку. Двухступенчатая схема волновой передачи позволяет получать передаточные отношения до нескольких тысяч.

По сравнению с планетарными передачами волновые имеют большие КПД, точность и меньший мертвый ход.

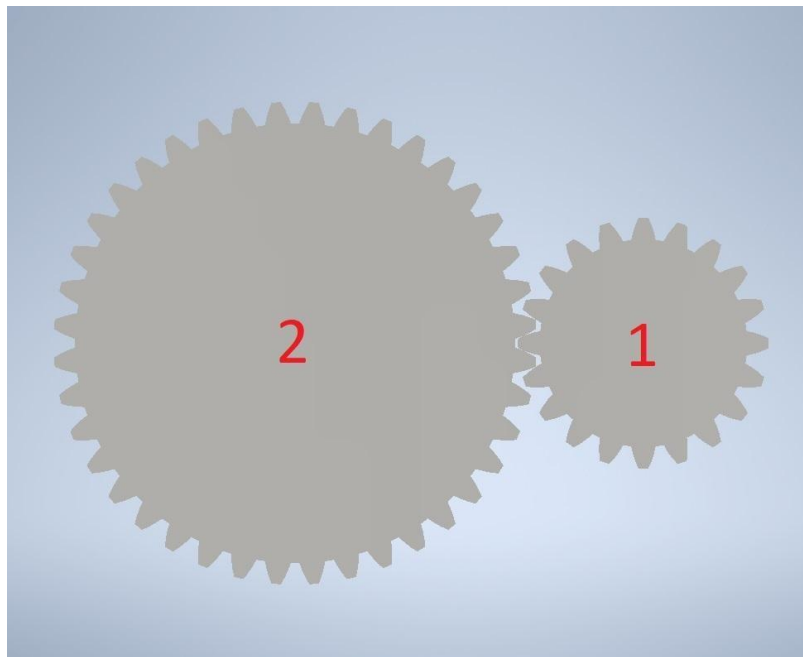
К недостаткам волновых передач относятся сложность изготовления и невозможность получения малых передаточных отношений (меньше 50).

Применяются волновые передачи в кинематических и силовых приводах с большим передаточным отношением; в отсчетных устройствах повышенной точности; как привод для передачи движения в герметизированное пространство.

### Расчет передаточного отношения

Для того чтобы определить передаточное отношение, нужно иметь по крайней мере две шестерни, сцепленные друг с другом; такое сцепление называется зубчатой передачей. Как правило, первая шестерня является ведущей шестерней (крепится к валу двигателя), а вторая – ведомой шестерней (крепится к валу нагрузки). Между ведущей и ведомой шестернями может быть сколько угодно много шестерен. Они называются промежуточными.

Сейчас будет рассмотрена передача с двумя шестернями. Для определения передаточного отношения эти шестерни должны быть сцеплены друг с другом (то есть их зубья сцеплены и одна шестерня поворачивает другую). Например, дана небольшая ведущая шестерня (шестерня 1) и большая ведомая шестерня (шестерня 2).



**Рис. 10.** Системы из двух шестерён

Простейший способ найти передаточное отношение между двумя шестернями – сравнить количество зубьев на каждой из них. Необходимо определить количества зубьев на ведущей шестерне. В данном примере меньшая (ведущая) шестерня имеет 20 зубьев, а большая (ведомая) шестерня имеет 30 зубьев.

Необходимо разделить количество зубьев ведомой шестерни на количество зубьев ведущей шестерни, чтобы вычислить передаточное отношение. В зависимости от условий задачи, можно записать ответ в виде десятичной дроби, обыкновенной дроби или в виде отношения (х:у).

В данном примере:  $40/20 = 2$ . Так же ответ можно записать в виде  $4/2$  или  $2:1$ .

Такое передаточное отношение означает, что меньшая ведущая шестерня должна совершить два оборота, чтобы большая ведомая шестерня совершила один оборот. Это имеет смысл, так как ведомая шестерня больше, а значит вращается медленнее.

### **Практическая работа №48.**

#### ***Проект «Редуктор». Анимация разборки механизма.***

#### **Краткие теоретические сведения**

Редукторы (латинского слова **reductor**) получили широкое распространение во всех отраслях промышленного и аграрного хозяйства, поэтому их производство с каждым годом увеличивается, появляются новые модификации, совершенствуются уже существующие модели.

Редуктор служит для снижения частоты вращения тихоходного вала и увеличения усилия на выходном валу. Редуктор может иметь одну или несколько ступеней, цель которых увеличение передаточного отношения. По типу механической передачи редукторы могут быть червячными, коническими, планетарными или цилиндрическими. Конструктивно редуктор выполнен как отдельное изделие, работающее в паре с электродвигателем и установленное с ним на одной раме.

Промышленностью сегодня выпускаются редукторы общего и специального назначения.

Редукторы общего назначения могут применяться во многих случаях и отвечают общим требованиям. Специальные же редукторы имеют нестандартные характеристики подходящие под определенные требования.

#### **Классификация, основные параметры редукторов**

В зависимости от типа зубчатой передачи **редукторы бывают цилиндрические, конические, волновые, планетарные, глобоидные и червячные**. Широко применяются комбинированные редукторы, состоящие из нескольких совмещенных в одном корпусе типов передач (цилиндроконические, цилиндروحервячные и т.д.).



**Рис. 1. Зубчатые передачи**

Конструктивно редукторы могут передавать вращение между перекрещивающимися, пересекающимися и параллельными валами.

Так, например, цилиндрические редукторы позволяют передать вращение между параллельными валами, конические - между пересекающимися, а червячные - между перекрещивающимися валами.

Общее передаточное число может достигать до нескольких десятков тысяч и зависит от количества ступеней в редукторе. Широкое применение нашли редукторы, состоящие из одной, двух или трех ступеней, причем они могут, как описывалось выше, совмещать разные типы зубчатых передач.

**Классификация зубчатых передач; возможности, достоинства, недостатки разных видов зубчатых передач.**

Меньшее из пары зубчатых колес принято называть шестерней (трибом), большее – колесом. Термин «зубчатое колесо» можно применять как к шестерне, так и к колесу зубчатой передачи. Индексы «1» и «2» присваивают соответственно параметрам шестерни и колеса.

Зацепление зубчатых колес можно кинематически представить, как качение без скольжения друг по другу двух поверхностей, называемых начальными. Для цилиндрических передач это цилиндры, для конических – конусы. Точку качения начальных поверхностей определяют, как полюс зацепления. По числу пар зацепляющихся колес зубчатые передачи бывают одно-, двух- и многоступенчатыми.

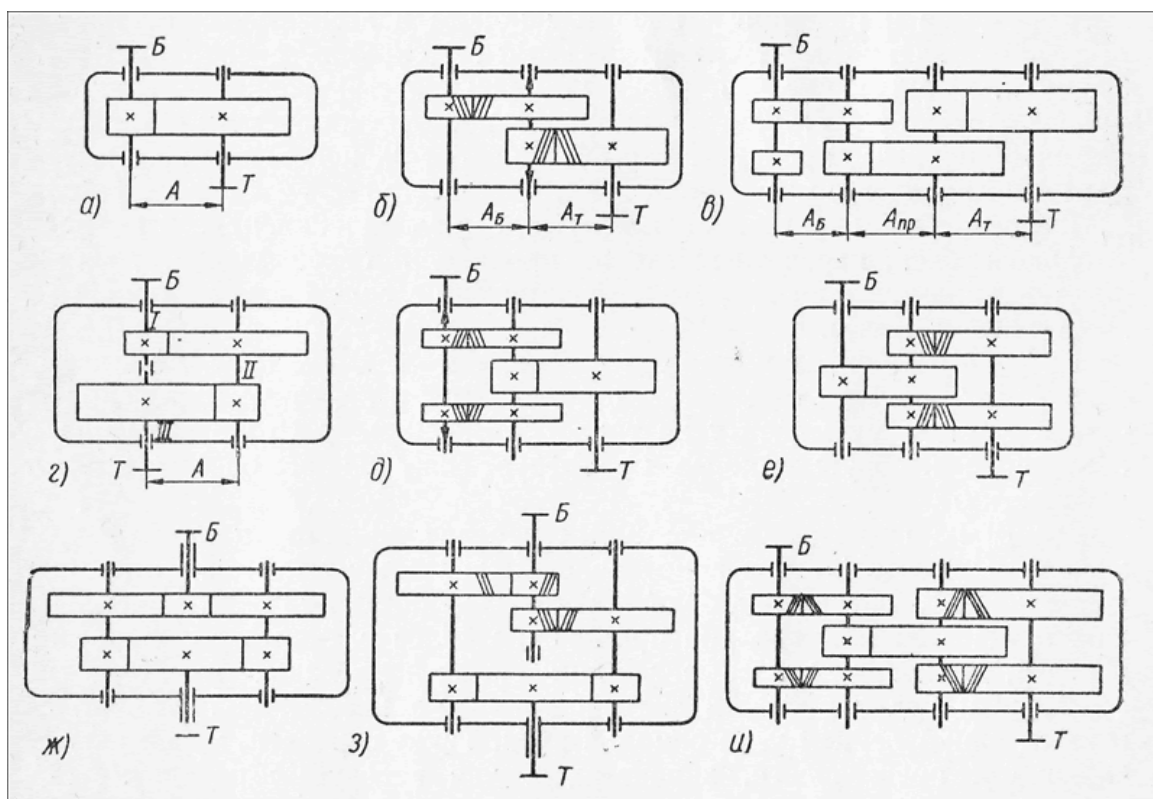


Рис. 2. Зубчатые передачи

По профилю зубьев: очертания зуба в плоскости поперечного сечения профиль зуба; эвольвентные, циклоидальные, круговые (зацепление Новикова).

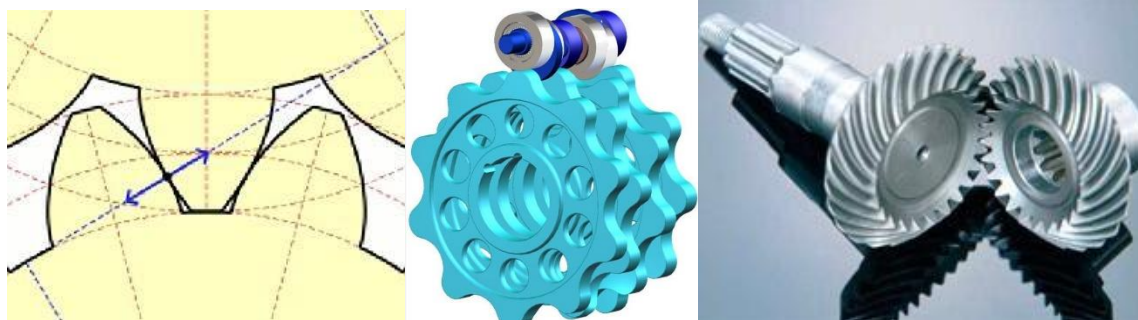


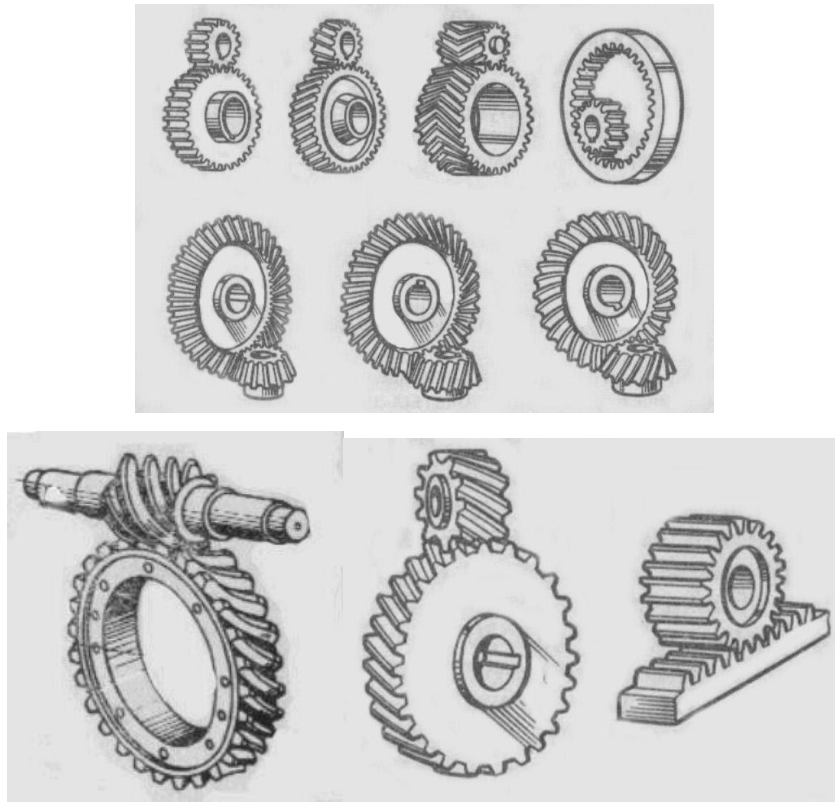
Рис. 3. Зацепления зубьев

По взаимному расположению осей их делят на цилиндрические – с параллельными осями, конические – с пересекающимися осями, на червячные, винтовые – со скрещивающимися в пространстве осями.

Зацепление зубчатых колес может быть внешним и внутренним.

Реечные зубчатые передачи преобразуют вращательное движение в поступательное или наоборот.

По расположению зубьев относительно образующих начальной поверхности колеса зубчатые передачи делят на прямозубые и косозубые, шевронные и с круговым зубом.



**Рис. 4.** Зубчатые передачи

**Прямозубыми** называются колеса (передачи), направление каждого зуба которых совпадает с образующей начальной поверхности (цилиндра или конуса).

**Косозубыми** называются зубчатые колеса, направление каждого зуба которых составляет некоторый постоянный угол с образующей начальной поверхности.

Обладают рядом достоинств по сравнению с прямозубыми: благодаря наличию угла наклона зубья вступают в зацепление по своей длине постепенно, что обеспечивает более равномерную и плавную работу и естественно, снижение шума механизма вследствие большего коэффициента перекрытия. У косозубых колес минимальное число зубьев при котором не происходит подрезания, меньше, чем у прямозубых. Косозубые передачи позволяют подобрать при заданном межосевом расстоянии за счет изменения угла наклона пару колес со стандартным модулем.

К недостаткам косозубых передач следует отнести более сложное изготовление колес по сравнению с прямозубыми и появление дополнительного осевого усилия, передаваемого на опоры. Для устранения осевого усилия можно применять шевронные зубчатые колеса. Венец шевронного колеса состоит из участков с правым и левым направлением зубьев. Зубья такого колеса могут быть нарезаны на одном ободе или венец состоит из жесткого соединения двух косозубых колес с разным направлением наклона зубьев. Шевронные колеса сложнее в изготовлении косозубых.



**Рис. 5.** Шевронная передача

**Шевронными** называются колеса, зубчатый венец которых образуется из двух рядов косых зубьев противоположного направления.

Для устранения осевого усилия можно применять шевронные зубчатые колеса. Венец шевронного колеса состоит из участков с правым и левым направлением зубьев. Зубья такого колеса могут быть нарезаны на одном ободе или венец состоит из жесткого соединения двух косозубых колес с разным направлением наклона зубьев. Шевронные колеса сложнее в изготовлении косозубых.



**Рис. 6.** Коническая передача

**Конические** колеса могут быть прямозубыми, косозубыми и с круговым зубом.

Конические зубчатые колеса применяют для передачи вращательного движения между валами, оси которых пересекаются под некоторым углом.

Преимущественно применяют прямозубые конические колеса и только тогда, когда нельзя использовать цилиндрические. Это объясняется большей сложностью изготовления и сборки конических передач. Одно из колес конических передач из-за пересечения осей валов располагается консольно, что создает дополнительные трудности при конструировании опор. Кроме того, валы и опоры нагружаются не только радиальными, но и осевыми силами. Применение более сложных опор приводит к снижению КПД и к большому шуму, чем при применении цилиндрических передач.

Наибольшее распространение получили передачи с эвольвентным профилем зубьев. Во-первых, эвольвентное зацепление мало чувствительно к отклонениям межосевого расстояния, не нарушается правильность зацепления. Во-вторых, профиль зубьев инструмента для нарезания эвольвентных зубчатых колес может быть прямолинейным, сравнительно простое изготовление и контроль инструмента и колес, одним инструментом можно нарезать колеса с разным числом зубьев. Траекторией точки контакта эвольвентных профилей зубьев является прямая линия.

По характеру своей работы передачи могут быть реверсивные и неревверсивные. По конструктивному выполнению корпуса зубчатые передачи бывают открытыми и закрытыми. Открытые не имеют защиты от попадания пыли и грязи, закрытые передачи имеют жесткий корпус и работают в масляной ванне.

По величине окружной скорости различают передачи – тихоходные (до 3 м/с), средних скоростей (3 ... 15 м/с) и быстроходные (свыше 15 м/с).

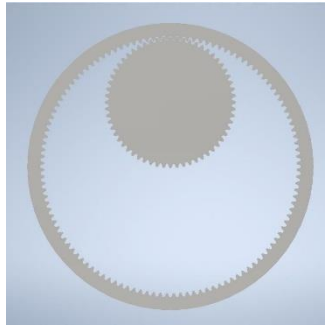
**Червячные** передачи применяют, когда оси ведущего и ведомого валов перекрещиваются под углом 90°.



**Рис. 7.** Червячная передача

Достоинством червячных передач по сравнению с зубчатыми является возможность получить большие передаточные отношения (числа) в одной ступени, до 80 в силовых передачах и до нескольких сотен в кинематических. Червячным редукторам присущи также бесшумность в работе; высокая плавность зацепления; компактность; свойство самоторможения, заключающееся в невозможности передачи вращения от колеса к червяку, что позволяет исключать из привода тормозные устройства; надежность и простота эксплуатации.

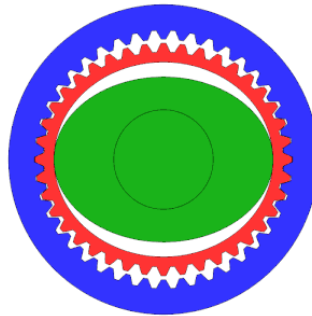
Недостатками червячных передач являются большое относительное скольжение сопряженных поверхностей в зацеплении; большие потери на трение; малый КПД; значительный нагрев зацепляющихся элементов в силовых передачах, что требует специальных мер для дополнительного охлаждения; высокая сложность и точность изготовления и сборки.



**Рис. 8.** Планетарная передача

**Планетарными** называют многосвязные механизмы, в которых обязательно есть зубчатые колеса с движущимися геометрическими осями.

Планетарные передачи позволяют получать большие передаточные отношения при малых габаритах и массе механизма, снимать с одной (центральной) оси движения с разными угловыми скоростями. Планетарные механизмы широко используются в шкальных отсчетных устройствах, где подвижное центральное колесо связывают со шкалой грубого отсчета, а водило – со шкалой точного отсчета; в механизмах настройки. Недостатками планетарных передач являются повышенное требование к точности изготовления, относительно большой мертвый ход, уменьшение КПД с ростом передаточного отношения.



**Рис. 9.** Волновая передача

**Волновые** зубчатые механизмы имеют ряд достоинств: большие передаточные отношения (50 ... 250 в одноступенчатой передаче) при малых габаритах и массе; высокие точность и плавность вследствие уменьшения общей ошибки при большом числе зацепляющихся зубьев и минимальный мертвый ход; высокий КПД (0,7 ... 0,9) благодаря малым скоростям скольжения в зацеплении; возможность передачи вращательного движения в герметически закрытое пространство или через непроницаемую перегородку. Двухступенчатая схема волновой передачи позволяет получать передаточные отношения до нескольких тысяч.

По сравнению с планетарными передачами волновые имеют большие КПД, точность и меньший мертвый ход.

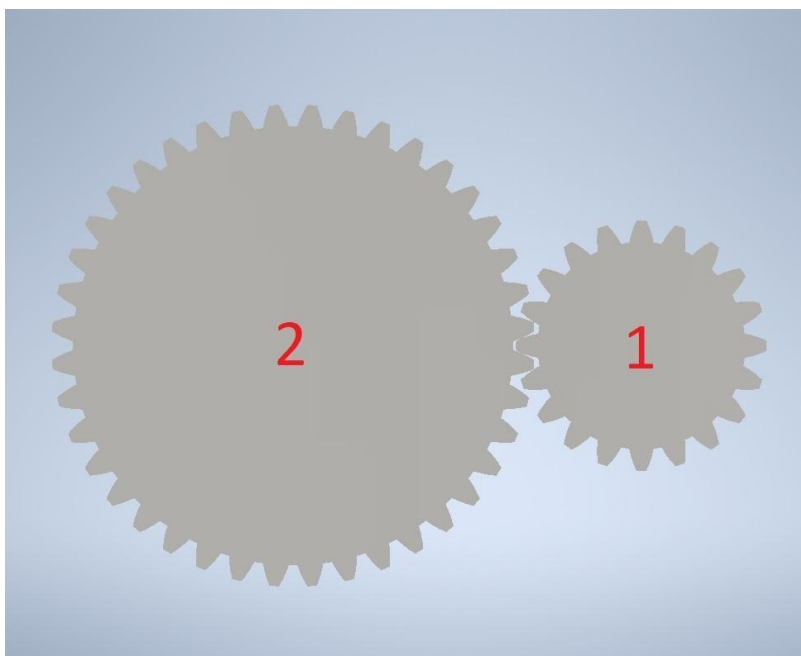
К недостаткам волновых передач относятся сложность изготовления и невозможность получения малых передаточных отношений (меньше 50).

Применяются волновые передачи в кинематических и силовых приводах с большим передаточным отношением; в отсчетных устройствах повышенной точности; как привод для передачи движения в герметизированное пространство.

### Расчет передаточного отношения

Для того чтобы определить передаточное отношение, нужно иметь по крайней мере две шестерни, сцепленные друг с другом; такое сцепление называется зубчатой передачей. Как правило, первая шестерня является ведущей шестерней (крепится к валу двигателя), а вторая – ведомой шестерней (крепится к валу нагрузки). Между ведущей и ведомой шестернями может быть сколько угодно много шестерен. Они называются промежуточными.

Сейчас будет рассмотрена передача с двумя шестернями. Для определения передаточного отношения эти шестерни должны быть сцеплены друг с другом (то есть их зубья сцеплены и одна шестерня поворачивает другую). Например, дана небольшая ведущая шестерня (шестерня 1) и большая ведомая шестерня (шестерня 2).



**Рис. 10.** Системы из двух шестерён

Простейший способ найти передаточное отношение между двумя шестернями – сравнить количество зубьев на каждой из них. Необходимо определить количества зубьев на ведущей

шестерне. В данном примере меньшая (ведущая) шестерня имеет 20 зубьев, а большая (ведомая) шестерня имеет 30 зубьев.

Необходимо разделить количество зубьев ведомой шестерни на количество зубьев ведущей шестерни, чтобы вычислить передаточное отношение. В зависимости от условий задачи, можно записать ответ в виде десятичной дроби, обыкновенной дроби или в виде отношения (х:у).

В данном примере:  $40/20 = 2$ . Так же ответ можно записать в виде  $4/2$  или  $2:1$ .

Такое передаточное отношение означает, что меньшая ведущая шестерня должна совершить два оборота, чтобы большая ведомая шестерня совершила один оборот. Это имеет смысл, так как ведомая шестерня больше, а значит вращается медленнее.

#### **Лабораторная работа №49.**

##### ***Лабораторная работа «Доработка и оформление выполненных работ»***

##### **Краткие теоретические сведения**

В данной работе не предусмотрено теоретических сведений.

#### **Практическая работа №50**

##### ***Контрольная работа «Защита проектов»***

##### **Краткие теоретические сведения**

В данной работе не предусмотрено теоретических сведений.