

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Тобольский педагогический институт им. Д.И. Менделеева (филиал) Тюменского  
государственного университета

УТВЕРЖДАЮ  
Директор  
Шилов С.П.



ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ

**ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ**

44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)  
Профиль: Сервис мехатронных систем  
Форма обучения очная

## 1. Паспорт оценочных материалов по дисциплине

### 1.1. Перечень компетенций

| Код и наименование компетенции  | Планируемые результаты обучения:<br>(знаниевые/функциональные)   |
|---|--|
| УК-1 - Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач | Знает базовые компоненты и особенности их применения в мехатронных и робототехнических системах  |
|   | Знает стандарты оформления конструкторской (ЕСКД) и технической (ЕСТД) документации.   |
|   | Умеет читать и оформлять техническую документацию в соответствии со стандартами ЕСКД и ЕСТД  |
|   | Может осуществлять поиск и оценку информации, необходимой для проектирования и разработки модулей мехатронных и робототехнических систем                   |
| ОПК-8 - Способен осуществлять педагогическую деятельность на основе специальных научных знаний  | Знает специфику командной проектной деятельности в области технических наук  |
|   | Может организовывать командное взаимодействие в процессе проектирования и разработки деталей и модулей мехатронных и робототехнических модулей и устройств |

### 1.2. Паспорт оценочных средств по дисциплине

| № п/п | Темы дисциплины (модуля) / Разделы (этапы) практики* в ходе текущего контроля, вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен, с указанием семестра) | Код и содержание компетенции (или ее части) | Оценочные материалы (виды и количество)                                 |
|-------|--|---|---|
| 1     | 2  | 3   | 4   |
| 1     | Основы становления мехатронных устройств   | УК-1  | Задания для самостоятельной работы                                      |
| 2     | Мехатронные модули и их классификация  | УК-1  | Задания для самостоятельной работы                                      |
| 3     | Структура мехатронных модулей  | УК-1  | Задания для самостоятельной работы                                      |
| 4     | Кинематическая точность мехатронных модулей  | УК-1  | Задания для самостоятельной работы                                      |
| 5     | Основы конструирования технических объектов и мехатронных модулей  | УК-1  | Задания для самостоятельной работы<br>Лабораторные работы 1             |
| 6     | Электродвигатели   | УК-1, ОПК-8                                 | Лабораторные работы 2 - 6.<br>Задания для самостоятельной работы        |
| 7     | Преобразователи движения   | УК-1, ОПК-8                                 | Лабораторные работы 7 - 10.<br>Задания для самостоятельной работы. Тест |
| 8     | Тормозные устройства   | УК-1, ОПК-8                                 | Лабораторные работы 11.<br>Задания для самостоятельной работы           |
| 9     | Направляющие   | УК-1, ОПК-8                                 | Лабораторные работы 12 - 15.<br>Задания для самостоятельной             |

|    |                                |             |  |
|----|--------------------------------|-------------|--|
|    |                                |             | работы   |
| 10 | Информационные устройства      | УК-1, ОПК-8 | Лабораторные работы 16 - 19.<br>Задания для самостоятельной работы |
| 11 | Надежность мехатронных модулей | УК-1, ОПК-8 | Лабораторные работы 20<br>Задания для самостоятельной работы       |

## 2. Виды и характеристика оценочных средств

Текущий контроль осуществляется проверкой наличия конспектов лекций, выполнения заданий в ходе практических занятий, тестовых заданий и самостоятельной работы.

### 2.1. Тестовые задания

#### *Критерии оценивания текстовых заданий*

При составлении/подборе тестовых заданий заранее проектируется необходимый уровень сложности теста. Сложность теста определяется пятью уровнями:

2. Репродуктивный, основными операциями которого являются воспроизведение информации и ее преобразования алгоритмического характера.
3. Базовый, требующий от испытуемого понимания существенных сторон учебной информации, владения общими принципами поиска алгоритмов.
4. Повышенный, уровень сложности задания, требующий от испытуемого умения преобразовывать алгоритмы к условиям, отличающимся от стандартных, умение вести эвристический поиск.
5. Творческий, предполагающий наличие самостоятельного, критического оценивания учебной информации, умение решать нестандартные задания, владение элементами исследовательской деятельности.

Каждому из заданий в соответствии с его сложностью приписывается определенное число, например: информационного характера - 1; репродуктивного - 1,5; базового уровня - 2; повышенной сложности - 2,5; творческого – 3 (или другое количество баллов). Таким образом, получается измерительное устройство в виде шкалы, достаточно понятной и наглядной, которую можно предлагать ученикам или использовать при выставлении баллов за работу над тестом.

Измерительная шкала

| Задание | Информационное | Репродуктивное | Базовое | Повышенного уровня | Творческое |
|---------|----------------|----------------|---------|--------------------|------------|
| Балл    | 1              | 1,5            | 2       | 2,5                | 3          |

Сложность теста определяется как среднее арифметическое сложностей всех заданий, входящих в рассматриваемый тест:  $CT = \frac{\sum_{i=1}^n CZ_i}{n}$ , где  $CT$  - сложность теста;  $CZ_i$  - сложность  $i$ -го задания теста;  $n$  - число заданий в тесте.

Для определения, каким будет тест по вычисленной сложности, следует воспользоваться специальной таблицей:

#### Определение вида теста по его сложности

| Тест | Информативный (ТИ) | Репродуктивный (ТР) | Базовый (ТБ) | Повышенной сложности (ТП) | Творческий (ТТ) |
|------|--------------------|---------------------|--------------|---------------------------|-----------------|
| СТ   | 1 - 1,3            | 1,4 – 1,6           | 1,7 – 2,1    | 2,2 – 2,4                 | > 2.5           |

Результаты выполнения различных тестов следует оценивать в зависимости от их сложности, при помощи специальной нормировочной таблицы:

#### Оценка результатов выполнения тестов различной сложности

| СТ \ % | 100 | 90  | 80  | 70  | 60  | 50  | 40  | 30  | 20  | 10  | 0   |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ТР     | «5» | «5» | «4» | «4» | «3» | «3» | «2» | «2» | «1» | «1» | «1» |

|    |     |     |     |     |     |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ТБ | «5» | «4» | «3» | «2» | «1» |
| ТП | «5» | «4» | «3» | «2» |     |

## 2.2. Лабораторная работа

Лабораторные работы используются для оценки умений по отдельным темам дисциплины.

Выполнение заданий осуществляется на лабораторных занятиях, оформление результатов продолжается во время самостоятельной работы студентов. Отчет по лабораторным работам оценивается в баллах, максимальное число баллов зависит от объема работы. Отдельные работы могут выполняются в течение не только одной пары, но в рамках самостоятельной работы с оборудованием.

Содержание отчета и критерии оценки ответа доводятся до сведения обучающихся в начале семестра. Оценка объявляется непосредственно после сдачи отчета по лабораторной работе на текущем занятии.

| Балл | Критерий оценивания заданий  |
|------|--|
| 3-4  | Задания выполнены правильно в полном объеме. Оформление соответствует всем требованиям. Может ответить на уточняющие вопросы.                              |
| 1-2  | Задания выполнены правильно и практически полностью. Оформление в основном соответствует всем требованиям. Может ответить на некоторые уточняющие вопросы. |
| 0    | Задания выполнены не полностью или неправильно. Оформление не соответствует требованиям. Не может ответить на уточняющие вопросы.                          |

## 2.3. Презентации

Презентация — форма представления информации из одного или нескольких источников, как с помощью разнообразных технических средств, так и без них. Требования к формированию компьютерной презентации: при разработке электронной презентации необходимо придерживаться следующих этапов:

1. Подготовка и согласование с преподавателем текста доклада.

2. Разработка структуры компьютерной презентации. Учащийся составляет варианты сценария представления результатов собственной деятельности и выбирает наиболее подходящий.

3. Создание выбранного варианта презентации в Power Point .

4. Согласование презентации и репетиция доклада.

При разработке электронной презентации необходимо придерживаться следующих правил:

- Компьютерная презентация должна содержать начальный и конечный слайды; структура компьютерной презентации должна включать оглавление, основную и резюмирующую части; каждый слайд должен быть логически связан с предыдущим и последующим; слайды должны содержать минимум текста (на каждом не более 10 строк);
- Необходимо использовать графический материал (включая картинки), сопровождающий текст (это позволит визуализировать представляемый материал);
- Компьютерная презентация может сопровождаться анимацией, что позволит повысить эффект от представления доклада (но акцент только на анимацию недопустим, т.к. злоупотребление им на слайдах может привести к потере зрительного и смыслового контакта со слушателями);
- Время выступления должно быть соотнесено с количеством слайдов из расчета, что компьютерная презентация, включающая 5 — 7 слайдов, требует для выступления около 5 минут.
- После выступления докладчик должен оперативно и по существу отвечать на все вопросы аудитории

- Оцениванию подвергаются все этапы презентации - содержание и оформление презентации, доклад и ответы на вопросы аудитории; умение анализировать социально и лично значимые проблемы; применять знания в процессе решения задач образовательной деятельности.

## 2.4. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация может быть выставлена двумя способами: в соответствии с результатами балльно-рейтинговой аттестации в течение семестра или по результатам сдачи экзамена. Экзамен представляет собой устный ответ по вопросам с демонстрацией практических навыков в области создания и программирования мобильных роботов.

### *Балльно-рейтинговая аттестация*

Экзамен выставляется автоматически по результатам балльно-рейтинговой аттестации. Содержание оцениваемой работы студентов приведено выше в пункте 3. Рубежные баллы рейтинговой системы оценки успеваемости студентов:

| Вид аттестации | Соответствие рейтинговых баллов и академических оценок |                 |
|----------------|--|-----------------|
|                | <i>Не зачтено</i>                                      | <i>Зачтено</i>  |
| Зачет          | 0 - 60 баллов  | 61 - 100 баллов |

Зачет может быть получен и при устном собеседовании по вопросам билета

### *Критерии выставления оценки за зачет*

Оценка «зачтено»:

- Знает все понятия и методы предметной области.
- Может начертить проекцию на эюре Монжа указанного объекта.
- Объяснить процесс решения задачи
- Демонстрирует понимание специфики предметной области.
- Свободно отвечает на дополнительные вопросы.

Оценка «не зачтено»:

- Имеет слабое представление о предметной области.
- С трудом может построить проекционное изображение объекта.
- Испытывает большие затруднения в объяснении алгоритма решения задач

## 3. Оценочные средства

### *3.1. Вопросы для самостоятельной проработки по темам дисциплины*

Мехатронные модули и их классификация

1. От механики к мехатронике.
2. Мехатронные устройства
3. Классификация мехатронных модулей.
4. Модули движения
5. Мехатронные модули движения. Состав мехатронного модуля движения.
6. Интеллектуальные мехатронные модули. Примеры интеллектуальных мехатронных модулей

модулей

Структура мехатронных модулей

1. Компоненты мехатронных модулей
2. Структура механизмов мехатронных модулей.
3. Структурный анализ механизмов мехатронных модулей.
4. Структурный синтез механизмов мехатронных модулей.
5. Модели мехатронных модулей.
6. Критерии интеграции мехатронных модулей

Кинематическая точность ММ

1. Основные понятия
2. Проблемы позиционирования
3. Кинематическая точность преобразователей (цилиндрическая зубчатая передача, коническая

зубчатая передача, червячная передача, волновая зубчатая передача)

#### 4. Кинематическая погрешность и мертвый ход многоступенчатых преобразователей движения

ЕСКД конструирования технических объектов и мехатронных модулей

Перечень ГОСТов ЕСКД:

- ГОСТ 2.001-93 ЕСКД. Общие положения.
- ГОСТ 2.051-2006 ЕСКД. Электронные документы. Общие положения.
- ГОСТ 2.052-2006 ЕСКД. Электронная модель изделия. Общие положения.
- ГОСТ 2.053-2006 ЕСКД. Электронная структура изделия. Общие положения.
- ГОСТ 2.101-68 ЕСКД. Виды изделий.
- ГОСТ 2.102-68 ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов.
- ГОСТ 2.103-68 ЕСКД. Стадии разработки.
- ГОСТ 2.104-2006 ЕСКД. Основные надписи.
- ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.
- ГОСТ 2.106-96 ЕСКД. Текстовые документы.
- ГОСТ 2.109-73 ЕСКД. Основные требования к чертежам.
- ГОСТ 2.111-68 ЕСКД. Нормоконтроль.
- ГОСТ 2.113-75 ЕСКД. Групповые и базовые конструкторские документы.
- ГОСТ 2.114-95 ЕСКД. Технические условия.
- ГОСТ 2.115-70 ЕСКД. Технические условия. Порядок согласования, утверждения и государственной регистрации.
- ГОСТ 2.118-73 ЕСКД. Техническое предложение.
- ГОСТ 2.119-73 ЕСКД. Эскизный проект.
- ГОСТ 2.120-73 ЕСКД. Технический проект.
- ГОСТ 2.123-93 ЕСКД. Комплектность конструкторских документов на печатные платы при автоматизированном проектировании.
- ГОСТ 2.124-85 ЕСКД. Порядок применения покупных изделий
- ГОСТ 2.125-88 ЕСКД. Правила выполнения эскизных конструкторских документов
- ГОСТ 2.301-68 ЕСКД. Форматы.
- ГОСТ 2.302-68 ЕСКД. Масштабы.
- ГОСТ 2.303-68 ЕСКД. Линии.
- ГОСТ 2.304-81 ЕСКД. Шрифты чертежные.
- ГОСТ 2.305-68 ЕСКД. Изображения – виды, разрезы, сечения.
- ГОСТ 2.306-68 ЕСКД. Обозначения графических материалов и правила их нанесения на чертежах.
- ГОСТ 2.307-68 ЕСКД. Нанесение размеров и предельных отклонений.
- ГОСТ 2.308-79 ЕСКД. Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей.
- ГОСТ 2.309-73 ЕСКД. Обозначение шероховатости поверхностей.
- ГОСТ 2.310-68 ЕСКД. Нанесение на чертежах обозначений покрытий, термической и других видов обработки.
- ГОСТ 2.311-68 ЕСКД. Изображение резьбы.
- ГОСТ 2.312-72 ЕСКД. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений.
- ГОСТ 2.313-82 ЕСКД. Условные изображения и обозначения неразъемных соединений.
- ГОСТ 2.314-68 ЕСКД. Указания на чертежах о маркировании и клеймении изделий.
- ГОСТ 2.315-68 ЕСКД. Изображения упрощенные и условные крепежных деталей.
- ГОСТ 2.316-68 ЕСКД. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц.
- ГОСТ 2.317-69 ЕСКД. Аксонометрические проекции.
- ГОСТ 2.318-81 ЕСКД. Правила упрощенного нанесения размеров отверстий.
- ГОСТ 2.319-81 ЕСКД. Правила выполнения диаграмм.

- ГОСТ 2.320-82 ЕСКД. Правила нанесения размеров, допусков и посадок конусов.
- ГОСТ 2.321-84 ЕСКД. Обозначения буквенные.
- ГОСТ 2.701-84 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.
- ГОСТ 2.702-75 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.
- ГОСТ 2.703-68 ЕСКД. Правила выполнения кинематических схем.
- ГОСТ 2.704-76 ЕСКД. Правила выполнения гидравлических и пневматических схем.
- ГОСТ 2.711-82 ЕСКД. Схема деления изделия на составные части.
- ГОСТ 2.721-74 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения

общего применения.

Расчет преобразователей движения

1. Общие сведения
2. Ременные передачи
3. Цилиндрические зубчатые передачи
4. Конические зубчатые передачи
5. Червячные передачи
6. Планетарные зубчатые передачи
7. Волновые зубчатые передачи

Расчет направляющих линейного перемещения

1. Общие сведения
2. Методика расчета валов, шпилек, направляющих
3. Построение эпюр изгибающих и крутящих моментов в сечениях направляющих
4. Проверка на усталостную прочность

Надежность мехатронных модулей

1. Основные понятия надежности
2. Характеристики надежности.
3. Безотказность. Надежность в период нормальной эксплуатации.
4. Надежность в период постепенных отказов
5. Надежность сложных систем

### 3.2. Примеры содержания лабораторных работ

**Лабораторная работа:** Шаговые двигатели мехатронных устройств и управление ими

Цель: Изучить устройство шаговых двигателей, их особенности, характеристики, режимы работы, специфику применения в мехатронных модулях и системах. Научиться подключать шаговые двигатели к управляющему микроконтроллеру, разрабатывать программы управления.

Техническое обеспечение: Компьютеры; ОС WINDOWS 10; среда IDE, симулятор TinkerCAD, шаговые двигатели, драйвера шаговых двигателей.

1. Базовые понятия (двигатель, первичные и вторичные двигатели)
2. Что такое шаговый двигатель?
3. Устройство шагового двигателя
4. Основы работы шагового двигателя

Режимы управления

**А) Волновое управление** (или полношаговое) управление одной обмоткой

Способ управления, представленный на слайде 2 называется *волновым управлением одной обмоткой*. Это означает, что только через одну обмотку протекает электрический ток. Этот способ используется редко. В основном, к нему прибегают в целях снижения энергопотребления. Такой метод позволяет получить менее половины вращающего момента мотора, следовательно, нагрузка мотора не может быть значительной. У такого мотора будет 4 шага на оборот.

**Б) Полношаговый режим управления**

Наиболее часто используемым методом. Для реализации этого способа, напряжение на обмотки подается попарно. В зависимости от способа подключения обмоток (последовательно

или параллельно), мотору потребуется двойное напряжение или двойной ток для работы по отношению к необходимым при возбуждении одной обмотки. В этом случае мотор будет выдавать 100% номинального вращающего момента (см. презентация, слайд 3). Такой мотор имеет 4 шага на полный оборот.

### **В) Полушаговый режим**

Это очень интересный способ получить удвоенную точность системы позиционирования, не меняя при этом ничего технически. Для реализации этого метода, все пары обмоток могут запитываться одновременно, в результате чего, ротор повернется на половину своего нормального шага. Этот метод может быть также реализован с использованием одной или двух обмоток (см. презентация, слайд 4). Используя этот метод, тот же самый мотор сможет дать удвоенное число шагов на оборот, что означает двойную точность для системы позиционирования.

### **Г) Режим микрошага**

Микрошаговый режим наиболее часто применяемый способ управления шаговыми двигателями на сегодняшний день. Суть микрошагового управления состоит в подаче на обмотки мотора питания не импульсами, а сигналами по форме, напоминающими синусоиду. Так же могут использоваться формы цифровых сигналов (рис.6).



Рис.6.

Такой способ изменения положения при переходе от одного шага к другому позволяет получить более гладкое перемещение, делая шаговые моторы широко используемыми в таких приложениях мехатроники как системы позиционирования, станки с ЧПУ, модули линейного перемещения и т.д. Кроме этого, рывки исполнительных органов, подключенных к мотору, и толчки самого мотора значительно снижаются. В режиме микрошага, шаговый двигатель может вращаться также плавно, как и обычные двигатели постоянного тока (см. презентация, слайд 5).

Метод микрошага в действительности является способом питания мотора, а не методом управления обмотками. Поэтому, микрошаг можно использовать и при волновом управлении, и в полношаговом режиме

5. Типы шаговых двигателей
6. Характеристики шаговых двигателей
7. Подключение обмоток (коммутация) шагового двигателя

Шаговые двигатели относятся к многофазным моторам<sup>1</sup>. Наибольшее распространение получили двухфазные двигатели. Это минимальное количество фаз, необходимое для того, чтобы шаговый мотор функционировал. Следует сказать, что число фаз не обязательно определяет число обмоток. Например, если каждая фаза имеет 2 пары обмоток и мотор является двухфазным, то количество обмоток будет равно 8. Это определяет только механические характеристики мотора.

Существует *два различных типа* подключения для двухфазных шаговых двигателей.

### **А) Биполярная коммутация**

Это наиболее простая конфигурация. Используются 4 провода для подключения мотора (рис. 10 – 11). При подаче напряжения на обмотку АВ (полярность «+» - «-») (рис. 10), ротор занимает положение, в котором оси магнитных полей ротора и работающих полюсов статора

<sup>1</sup> Больше обмоток, значит, больше фаз. Больше фаз, более гладкая работа мотора и более высокая стоимость. Крутящий момент не связан с числом фаз.



совпадают. При снятии напряжения с обмотки АВ и подаче его на обмотку CD (полярностью «+» - «-»), ротор поворачивается в положение указанное на рис. 11. Далее если отключить обмотку CD и подать напряжение на обмотку АВ, но уже в другой полярности («-» - «+»), то ротор снова повернется на 90° (рис.12). Еще одна коммутация АВ - отключить, CD - подключить (полярность «-» - «+») и ротор совершает еще один шаг на одну четвертую окружности. И т.д.

Если продолжить переключение фаз, ротор будет вращаться с частотой, пропорциональной частоте переключения фазных обмоток. Если коммутировать фазы в противоположной последовательности – ротор будет вращаться в обратном направлении. Если прекратить коммутацию – двигатель остановится. Допускается длительная фиксированная остановка ротора. В последнем случае по обмоткам управления должен проходить постоянный ток.

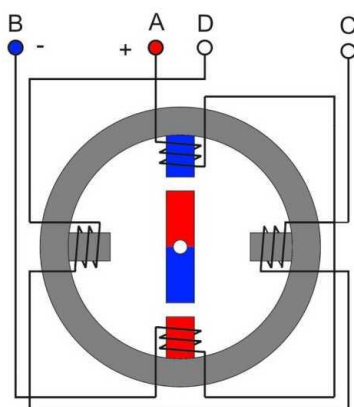


Рис.10.

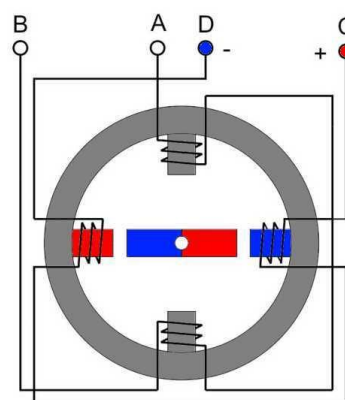


Рис.11.

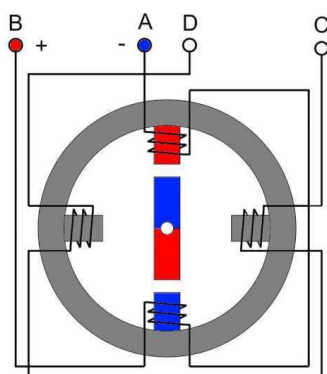


Рис.12.

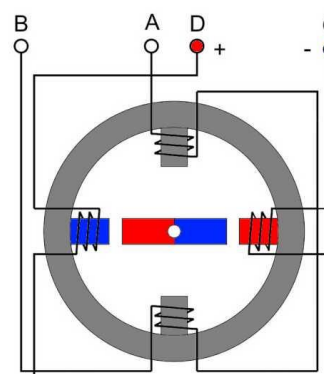


Рис.13.

Такой двигатель имеет по одной обмотке для каждой фазы, и для изменения магнитного поля используется сложная коммутация, поскольку каждая обмотка должна:

- подключается в прямой полярности,
- отключается от источника напряжения,
- подключается с противоположной полярностью.

### **Б) Униполярная коммутация**

Схема двух фазного шагового двигателя с униполярными обмотками и принцип его работы выглядит следующим образом: у всех четырех обмоток один вывод подключен к «+» - источнику питания. А другие выходы А, В, С, D последовательно коммутируются к «-» сигналу (рис.14, 15, 16, 17). Соответствующие обмотки создают магнитное поле, и ротор поворачивается вслед за ним.

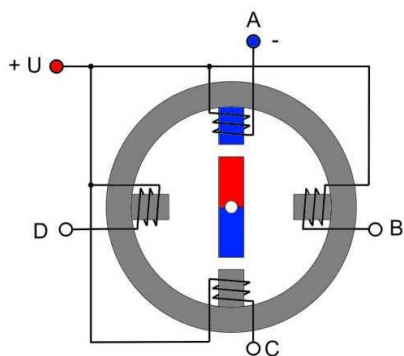


Рис.14.

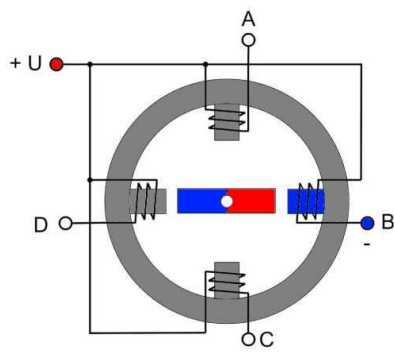


Рис.15.

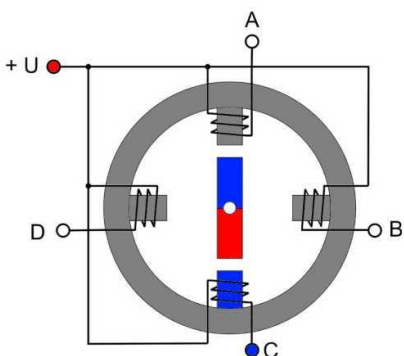


Рис.16.

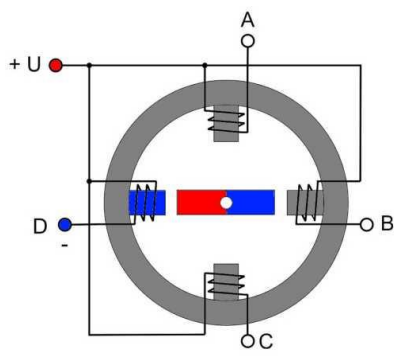


Рис.17.

Если сравнивать характеристики bipolarного и unipolarного подключений двигателей, то следует отметить, что первый обеспечивает, при тех же размерах, больший крутящий момент, по сравнению со вторым, т.к. в unipolarном подключении одновременно работает только одна обмотка, вместо двух. Выигрыш в моменте у bipolarного составляет около 40%. При этом, если нет необходимости использовать двигатель на полную мощность, unipolarным подключением гораздо проще управлять.

Многие шаговые двигатели могут быть коммутированы различными способами

#### 8. Контроллер управления шаговым двигателем

##### *Драйвер ULN2003*

В настоящее время существует большое количество специализированных микросхем для управления шаговыми двигателями. Например, контроллер, построенный на основе интегральной микросхемы **ULN2003** (отечественный аналог К1109КТ22), состоящая из набора мощных составных ключей (содержит 7 ключей с максимальным током 0.5 А) с защитными диодами на выходе. Наличие защитных диодов позволяет подключать индуктивные нагрузки без дополнительной защиты от выбросов обратного напряжения. Принципиальная схема одной ячейки этой микросхемы приведена на рис. 21.

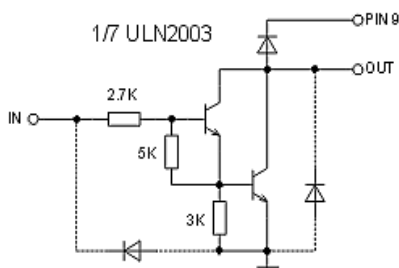


Рис. 21.



Рис.22.

Аналогичные микросхемы выпускаются многими фирмами. Например, это микросхемы L293E, L298N или L6202 фирмы SGS-Thomson, PBL3770, PBL3774 фирмы Ericsson, NJM3717, NJM3770, NJM3774 фирмы JRC, A3957 фирмы Allegro, LMD18T245 фирмы National Semiconductor. Необходимо отметить, что эти микросхемы пригодны не только для питания обмоток шаговых двигателей, но и для питания любых других нагрузок. Кроме простых

микросхем драйверов существуют и более сложные микросхемы, имеющие встроенный контроллер, PWM-регулировку тока и даже ЦАП для микрошагового режима.

Контроллер **ULN2003** предназначен для управления однополярным четырехфазным шаговым двигателем (рис.22). Модуль принимает на себя нагрузку по силовой коммутации токов фаз мотора, защищая управляющую логическую схему от перегрузки по току и от перегрева. Например, при возрастании нагрузки на валу, в этот момент потребление тока увеличивается.

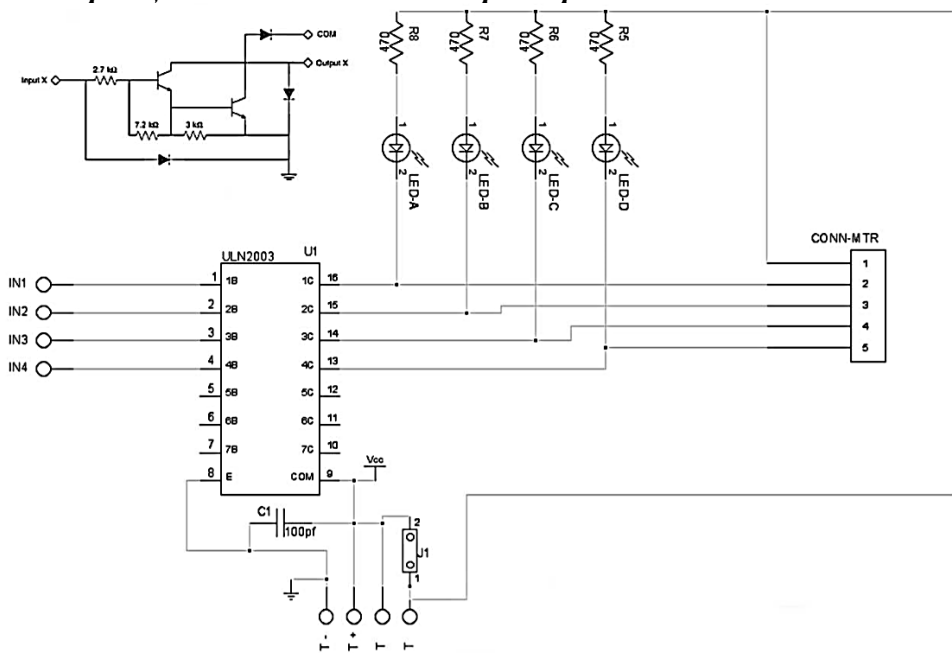
*Основные характеристики контроллера на базе ULN2003.*

Плата представляет собой силовой модуль, который содержит в себе семь независимых транзисторов Дарлингтона. Каждая пара представляет собой каскад из двух биполярных транзисторов. ULN2003 является неким усилителем с током нагрузки 500 мА и напряжением 50 В. На рисунке 22 представлена сама платы контроллера.

**Выводы контроллера:**

- управляющие входы IN1, IN2, IN3, IN4 подключаются к любым дискретным (цифровым) выводам Arduino Uno.
- светодиоды используются для отображения, текущего шага двигателя.
- выводы для подключения внешнего источника питания. Может быть использовано для питания как от управляющей платформы, так и от отдельной батареи. Определения варианта питания контроллера определяется переключением джампера.

**Принципиальная схема контроллера:**



**Принцип работы контроллера:**

На входы модуля IN1...IN4 поступают сигналы управления мощными ключами, входящими в состав микросхемы U1. Схема мощного ключа U1 на составном транзисторе приведена в верхнем левом углу изображения. Нагрузка подключается к соединителю CONN-MTR. В нашем случае это фазы двигателя, которые подключаются одним контактом к положительному полюсу питания схемы. Под действием управляющего сигнала на входе Input X открывается выходной транзистор микросхемы и соединяет выход Output X с общим проводом. К выходам Output подключены вторые контакты фаз. Диод в схеме составного транзистора подключен к контакту СОМ (здесь это провод питания). Роль этого диода состоит в ограничении выходного напряжения не выше напряжения питания микросхемы плюс примерно 0,6В. Такая защита цепей схемы необходима из-за импульсов напряжения появляющихся при коммутации фаз двигателя.

Светодиоды показывают какой выход микросхемы подключен к общему проводу. Для их работы следует установить переключку J1. Она устанавливается только при питании модуля 5В.

Отслеживание свечения светодиодов помогает отладить схему соединения двигателя и управляющую программу. В дальнейшем для экономии тока питания перемычка J1 снимается.

**Задания:**

**1. Сборка управляющего модуля работой шагового двигателя**

Для практической реализации в рамках данной работы используется шаговый двигатель 28BYj-48, драйвер управления ULN2003, и управляющая платформа Arduino Uno.

Двигатель 28BYj-48 достаточно дешёвый, прост в сборке и разработка для его управляющей программы не вызывает больших затруднений. Идеально подходит для небольших технических проектов — 28BYj-48.

Рассмотрим специфику двигателя, поскольку от этого зависит особенность управляющей программы. Внешний вид представлен на рис. 23.

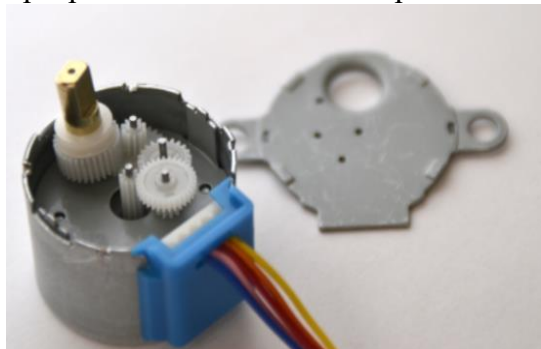


Рис.23.

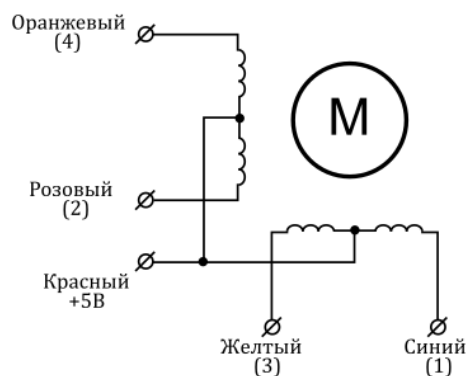


Рис.24.

Спецификация двигателя:

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Тип мотора                       | Униполярный шаговый двигатель  |
| Число фаз                        | 4  |
| Рабочее напряжение               | 5-12 вольт   |
| Частота                          | 100 Гц   |
| Частота под нагрузкой            | > 600 Гц   |
| Крутящий момент                  | > 34.3 мН*м (120 Гц)   |
| Режим шага                       | рекомендуется полушаговый режим (8-шаговая управляющая сигнальная последовательность)  |
| Угол шага                        | 8-шаговая управляющая сигнальная последовательность - 5.625°/шаг<br>4-шаговая управляющая сигнальная последовательность - 11.25°/шаг                 |
| Передаточное отношение редуктора | Производителем заявлено 64:1   |
| Скорость                         | Средняя скорость 15 об/мин, с помощью программного кода можно ускорить до 35 об/мин, но следует понимать, что при этом теряется мощность и точность. |
| Вес                              | 30 г   |

Данный двигатель имеет четыре обмотки, которые запитываются последовательно (рис.24). Для того, чтобы заставить мотор двигаться по часовой стрелке, нужно попеременно подавать на обмотки напряжение. Двигатель работает в двух режимах в *шаговом* и *полушаговом*.

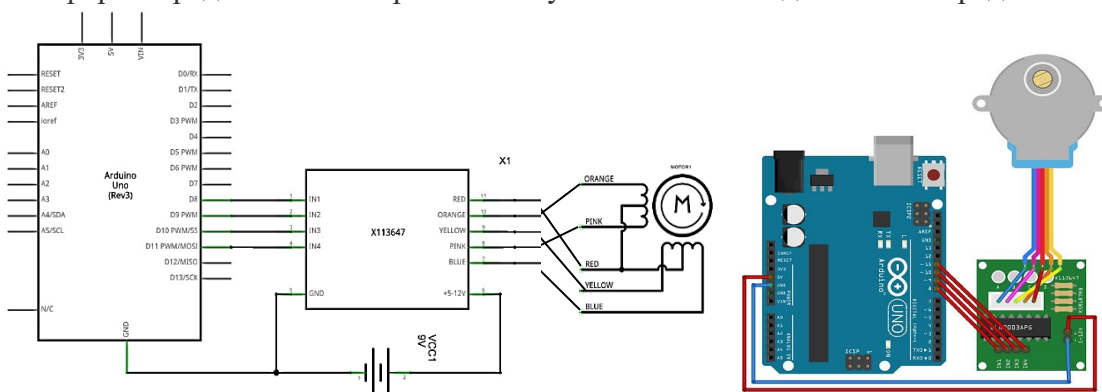
Для запуска мотора в *шаговом* режиме необходимо две из четырех обмоток запитывать на каждом шаге. Схема включения питания обмоток будет следующей:

| Провод      | Фазы для шагового режима |   |   |   |
|-------------|--------------------------|---|---|---|
|             | 1                        | 2 | 3 | 4 |
| 4 оранжевый |                          |   |   |   |
| 3 желтый    |                          |   |   |   |
| 2 розовый   |                          |   |   |   |
| 1 синий     |                          |   |   |   |

Для запуска мотора в *полушаговом* режиме запитывание обмоток выполняется по следующей схеме:

| Провод      | Фазы для полушагового режима |   |   |   |   |   |   |   |
|-------------|------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
|             | 1                            | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 4 оранжевый |                              |   |   |   |   |   |   |   |
| 3 желтый    |                              |   |   |   |   |   |   |   |
| 2 розовый   |                              |   |   |   |   |   |   |   |
| 1 синий     |                              |   |   |   |   |   |   |   |

Принципиальная схема подключения шагового двигателя к контроллеру и управляющей платформе представлены на рис.25. Визуальная схема подключения представлена на рис. 26.



Подключение питания контроллера шагового двигателя выполняется с управляющей платформы, при этом используются следующие пины:

- **5V:** На вывод поступает напряжение 5В от стабилизатора платы (+).
- **GND:** Напряжение в 0В - "Земля" – (-)

Подача управляющих сигналов на контроллер шагового двигателя с управляющей платформы, осуществляется с помощью пинов ввода/вывода:

- **8:** цифровой пин
- **9:** цифровой пин с функцией PWM - широтно-импульсной модуляцией -
- **10 (SS):** цифровой пин с функцией PWM - широтно-импульсной модуляцией - рассчитан для связи по интерфейсу SPI (последовательный интерфейс). Позволяет выводить 8-битные аналоговые значения в виде ШИМ-сигнала
- **11 (MOSI):** цифровой пин с функцией PWM - широтно-импульсной модуляцией - рассчитан для связи по интерфейсу SPI (последовательный интерфейс). Позволяет выводить 8-битные аналоговые значения в виде ШИМ-сигнала

## 2. Программное управление шаговым двигателем

Для разработки управляющей программы может быть использована среда Arduino IDE. Среда разработки представляет собой простой текстовый редактор программного кода. Для

загрузки программ и связи среда подключается к аппаратной части Arduino. Среда является кроссплатформенной и может работать под управлением Windows, Mac, Linux. Arduino IDE содержит множество предустановленных библиотек, которые позволяют реализовать дополнительную функциональность скетчам, например, при работе с аппаратной частью или при обработке данных.

Среда Arduino IDE реализует язык программирования устройств Arduino, основанный на C/C++. На данный момент — это, самый удобный способ программирования устройств на микроконтроллерах.

Для работы с шаговыми двигателями в среде Arduino IDE имеется две библиотеки `myStepper` и `AccelStepper`. Рассмотрим возможности каждой из них.

1. `myStepper` - стандартная библиотека Ардуино для управления униполярными и биполярными шаговыми двигателями, устанавливается вместе с пакетом Arduino IDE. Кроме конструктора содержит всего следующие функции:

`Stepper (steps, pin1, pin2, pin3, pin4 )` - конструктор класса Stepper. Создает объект типа Stepper. Имеет следующие параметры:

- `steps` – количество шагов двигателя на один оборот (360°). Параметр используется функцией `setSpeed()` для вычисления скорости вращения.
- `pin1, pin2, pin3, pin4` – выходы для подключения драйвера двигателя. Для двух-проводной схемы подключения `pin3` и `pin4` не используются. Для четырех-проводной схемы `pin1, pin2, pin3, pin4` соответствуют фазам А, С, В, D при униполярном режиме управления.

*Пример: `Stepper motor1 (100, 10, 11, 12, 13); // создает объект motor1 с параметрами количество шагов на борот-100, устанавливает пины комутации фаз 10, 11, 12, 13`*

`void setSpeed (long rpms)` - устанавливает скорость вращения двигателя в оборотах в минуту. Имеет следующие параметры:

- `rpms` - скорость вращения в оборотах в минуту.

*Пример: `motor1.setSpeed(60); // устанавливает скорость вращения 60 об.в мин`*

`void step(int steps)` - вызывает поворот двигателя на заданное число шагов. Функция останавливает выполнение программы до тех пор, пока не завершится ее работа. Имеет следующие параметры:

- `steps` – число шагов, на которое требуется повернуть ротор двигателя. Отрицательное значение вращает двигатель в противоположную сторону.

*Пример: `motor1.step (-20); // сделать 20 шагов против часовой стрелки`*

Таким образом, используя возможности данной библиотеки программа управления шаговым двигателем может быть реализована по следующему алгоритму:

1. двигатель делает *n* оборотов против часовой стрелки;
2. останавливается на *t* сек;
3. делает *n* оборотов по часовой стрелке;
4. останавливается на *t* сек;
5. повторить с п.1 в бесконечном цикле.

Пример скетча программы:

```
#include <Stepper.h>
Stepper motor (24, 8, 10, 9, 11); // объект motor, 24 шага на оборот, устанавливает
                               пины подключения фаз

void setup() {
    motor.setSpeed (60); // скорость 60 об. в мин.
}

void loop() {
    motor.step (240); // 10 оборотов по часовой стрелке
    delay (1000);
    motor.step(-240); // 10 оборотов против часовой стрелки
    delay(1000);
}
```

В режиме наблюдения за светодиодами контроллера можно видеть, что при управлении двигателем с помощью объекта Stepper фазы, подаваемые на обмотки переключаются в следующей последовательности:

| Шаг | Pin 1 | Pin 2 | Pin 3 | Pin 4 |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| 1   | 1     | 0     | 1     | 0     |
| 2   | 0     | 1     | 1     | 0     |
| 3   | 0     | 1     | 0     | 1     |
| 4   | 1     | 0     | 0     | 1     |

Как можно наблюдать, всегда включены две фазы, т.е. униполярный двигатель работает в шаговом режиме. Выводам pin1, pin2, pin3, pin4 соответствуют фазы А, С, В, D.

Простота использования этой библиотеки компенсируется ее недостатками. В частности:

- вызов метода step() может подвешивать программу. Все ресурсы микроконтроллера тратятся на отсчет времени переключения фаз, т.е. когда двигатель вращается больше ничего в программе делать невозможно;
- как следствие предыдущего пункта - невозможно управлять одновременно несколькими двигателями;
- библиотека Stepper управляет униполярной коммутацией шагового двигателя только в полушаговом режиме. Это значит, что нет возможности использовать биполярную коммутацию, которая может работать только в шаговом режиме.
- невозможно остановить двигатель, пока не будут отработаны все шаги, заданные функцией step().
- при остановке двигатель находится в зафиксированном положении, через обмотки продолжает течь ток. В некоторых приложениях необходимо выключать двигатель. Выбора режима остановки двигателя в библиотеке Stepper нет.

2. Указанные недостатки могут быть устранены при использовании второй библиотеки AccelStepper, имеющей больше функций:

- есть возможность управлять скоростью вращения двигателей,
- поддержка различных видов шаговых двигателей,
- поддержка нескольких одновременно работающих двигателей.

Основные функции библиотеки.

1. *Определение конфигурации моторов*

*AccelStepper mystepper (1, pinStep, pinDirection);* - для управления шаговым двигателем.

*AccelStepper mystepper (2, pinA, pinB);* - биполярный шаговый двигатель, управляемый H-мостом.

*AccelStepper mystepper (4, pinA1, pinA2, pinB1, pinB2);* - униполярный мотор, управляемый четырьмя транзисторами.

*mystepper.setMaxSpeed (stepsPerSecond);* - максимальная скорость двигателя. Скорость заведомо низкая. Сначала моторчик ускоряется до этой скорости, затем снижает её

*mystepper.setAcceleration (stepsPerSecondSquared);* - ускорение шагового двигателя в шагах в секунду.

2. *Управление положением*

*mystepper.moveTo (targetPosition);* - перемещение ротора в абсолютно указанное положение. Само движение запускается функцией run ().

*mystepper.move (distance);* - перемещение ротора в относительно указанное положение. Само движение запускается функцией run (). Значение distance может быть больше или меньше нуля.

*mystepper.currentPosition ();* - возвращает текущее абсолютное положение ротора.

*mystepper.distanceToGo ();* - возвращает расстояние до указанного положения. Может использоваться для проверки, достиг ли моторчик указанной конечной точки.

*mystepper.run ();* - начать движение. Для продолжения движения двигателя следует вызывать функцию повторно.

*mystepper.runToPosition ();* - начать движение и подождать когда двигатель достигнет указанной точки. Функция не осуществляет возврата пока он не остановится.

### 3. Управление скоростью

*mystepper.setSpeed (stepsPerSecond);* - устанавливает скорость в шагах за секунду. Сам процесс запускается функцией *runSpeed ()*.

*mystepper.runSpeed ();* - начинает движение. Для продолжения движения двигателя следует вызывать функцию повторно.

Программа управления шаговым двигателем в полушаговом режиме на основе использования функции данной библиотеки, может выглядеть следующим образом:

```
#include<AccelStepper.h>
#define HALFSTEP 7
#define motorPin1 8
#define motorPin2 9
#define motorPin3 10
#define motorPin4 11
AccelStepper stepper1(HALFSTEP, motorPin1, motorPin3, motorPin2, motorPin4);
void setup()
{
  stepper1.setMaxSpeed(1000.0);
  stepper1.setAcceleration(100.0);
  stepper1.setSpeed(200);
  stepper1.moveTo(360);
}
void loop(){
  if(stepper1.distanceToGo()==0)
  stepper1.moveTo(-stepper1.currentPosition());
  stepper1.run();
}
```

## Лабораторная работа 2. Серводвигатели мехатронных устройств и управление ими

Цель: Изучить устройство серводвигателя и систему управления им.

### Принципы работы и виды сервоприводов

Отличительной особенностью сервопривода является возможность управления через отрицательную обратную связь с использованием заданных параметров. Все оборудование данного типа можно разделить на две группы – сервоприводы постоянного тока и трехфазные сервоприводы переменного тока.

#### Устройство сервоприводов постоянного тока

Как правило, сервоприводы постоянного тока используются в маломощных устройствах позиционирования. Классическая область их применения – робототехника.

Конструкция современных сервоприводов довольно проста, но при этом весьма эффективна, так как позволяет обеспечить максимально точное управление движением. Сервопривод состоит из:

- двигателя постоянного тока
- шестерни редуктора
- выходного вала
- потенциометра
- платы управления, на которую подается управляющий сигнал

Двигатель и редуктор образуют привод. Редуктор используется для снижения скорости вращения двигателя, которую необходимо адаптировать для практического применения. К выходному валу редуктора крепится необходимая нагрузка. Это может быть качалка, вращающийся вал, тянущие или толкающие механизмы.

Для того, чтобы угол поворота превратить в электрический сигнал, необходим датчик. Его функции в сервоприводе постоянного тока с успехом выполняет потенциометр. Он выдает



аналоговый сигнал (как правило, от 0 до 10 В) с дискретностью, ограниченной АЦП (аналогово-цифровым преобразователем), на который поступает этот сигнал.

Самой важной деталью сервопривода, пожалуй, является электронная плата сервоусилителя, которая принимает и анализирует управляющие импульсы, соотносит их с данными потенциометра, отвечает за запуск и выключение двигателя.

#### Принцип работы

Принцип действия устройств основан на использовании импульсного сигнала, который имеет три важные характеристики – частоту повторения, минимальную и максимальную продолжительность. Именно продолжительность импульса определяет угол поворота двигателя.

Импульсные сигналы, получаемые сервоприводом, имеют стандартную частоту, а вот их продолжительность в зависимости от модели может составлять от 0,8 до 2,2 мс. Параллельно с поступлением управляющего импульса активируется работа генератора опорного импульса, который связан с потенциометром. Тот, в свою очередь, механически сопряжен с выходным валом и отвечает за корректирование его положения.

Электронная схема анализирует импульсы с учетом длительности и на основе разностной величины определяет разницу между ожидаемым (заданным) положением вала и реальным (измеренным при помощи потенциометра). Затем производится корректировка путем подачи напряжения на питание двигателя.

#### Основные положения устройства

Если продолжительность опорного и управляющего импульсов совпадает, наступает так называемый нулевой момент. В это время двигатель сервопривода не работает, вал привода находится в исходном (неподвижном) положении.

При увеличении длительности управляющего импульса плата фиксирует разбежку показателей, двигатель получает напряжение и приходит в движение. В свою очередь, редуктор начинает воздействовать на выходной вал, который поворачивается таким образом, чтобы достигнуть увеличения продолжительности опорного импульса. Как только он сравнивается с управляющим импульсом, двигатель прекратит свою работу.

При уменьшении длительности управляющего импульса происходит все то же самое, только с точностью до наоборот, так как двигатель начинает вращаться в обратную сторону. Как только импульсы сравнялись, двигатель останавливается.

#### Сервопривод переменного тока

В сервоприводах переменного тока используется синхронный двигатель с мощными постоянными магнитами. В таких двигателях частота вращения ротора совпадает с частотой вращения магнитного поля, наводимого в обмотке статора.

Принцип работы сервопривода на основе трехфазного синхронного электродвигателя состоит в следующем. На обмотки статора поступает трехфазное напряжение, которое создает внутри него вращающееся магнитное поле. Это поле взаимодействует с постоянными магнитами, расположенными в роторе. В результате ротор вращается с частотой магнитного поля.

На валу ротора закреплен энкодер с высокой разрешающей способностью. Сигнал от него поступает по отдельному кабелю на специальный вход сервоусилителя. В то же время на управляющий вход сервоусилителя подается сигнал управления. В результате сравнения этих двух сигналов выделяется сигнал рассогласования, величина которого прямо пропорциональна разнице между целевыми и актуальными показателями вращения двигателя. На основании данного сигнала формируется трехфазное напряжение с такими параметрами, которые обеспечивают максимально быстрое уменьшение рассогласования до нуля.

#### Режимы управления

Существуют три основных режима работы сервопривода переменного тока.

Режим управления положением. Главное в этом режиме – контроль за углом поворота вала ротора. Управление производится последовательностью импульсов, которые могут приходить, например, с контроллера. Этот режим используется для точного позиционирования различных узлов технологического оборудования.

Комбинация импульсов для управления положением может передавать информацию не только по положению, но также по скорости и направлению вращения двигателя. Для этого могут использоваться три типа сигналов: 1) квадратурные импульсы (со сдвигом фаз на 90 градусов), 2) импульсы вращения по или против часовой стрелки, действующие поочередно и 3) импульсы скорости и потенциал направления, подающиеся на два входа.

Как правило, во всех сервоусилителях входы управления именуется как PULSE, SIGN.

Режим управления скоростью. В данном случае управление производится аналоговым сигналом. Значения скорости также могут переключаться на фиксированные величины подачей сигналов на соответствующие дискретные входы. В случае использования разнополярного аналогового управляющего сигнала возможна смена направления вращения серводвигателя.

Режим управления скоростью схож с работой асинхронного двигателя, управляемого преобразователем частоты. Задаются такие параметры, как время разгона и замедления, максимальная и минимальная скорости и другие.

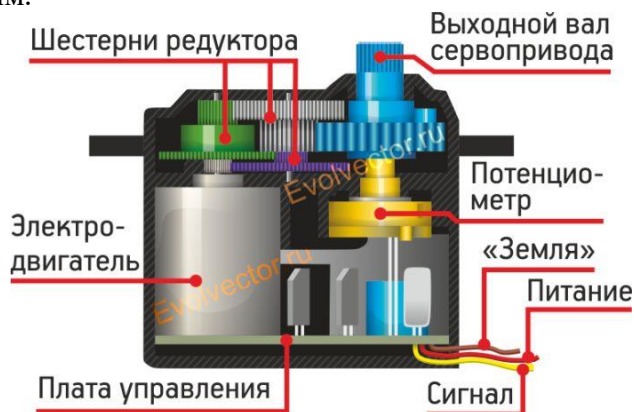
Режим управления моментом.

В этом режиме двигатель может вращаться либо стоять на месте, но при этом момент на валу будет заданным. Управление может производиться дискретным либо аналоговым двухполярным сигналом. Этот режим может использоваться для машин, где необходимо менять усилие прижима, давление и т. п.

Оценка текущего момента двигателя, необходимого для управления, производится за счет встроенного датчика тока.

#### **Практическая часть:**

Устройство хобби-сервопривода показано на рисунке 2. В его состав входит электродвигатель, редуктор с набором шестеренок, потенциометр (выполняет функцию датчика положения для обратной связи), электронная плата управления электродвигателем и корпус, в который заключено все содержимое. На этом же рисунке показан провод, посредством которого сервопривод питается и управляется. Он состоит из 3-х жил: питание «плюс», питание «минус» и провод, на который подается управляющий сигнал. На разных моделях хобби-сервоприводов провода могут иметь разный цвет. Но практически всегда провод питания «плюс» окрашен в красный цвет, а провод питания «минус» - в черный. В отношении же сигнального провода (для передачи управляющего сигнала) четких цветовых стандартов нет. У разных производителей сервоприводов сигнальный провод может быть белым, оранжевым или желтым.



**Рисунок 2**

Для управления такими двигателями принят стандарт управляющего сигнала. Он представляет собой постоянно повторяющиеся импульсы или, как мы говорим, череду импульсов (Рис. 3). Частота этих импульсов все время остается постоянной и составляет 50 Гц. Получается, что временной период импульсов (время между передними фронтами соседних импульсов) составляет  $1с/50 = 0,02$  секунды, т. е. 20 миллисекунд.

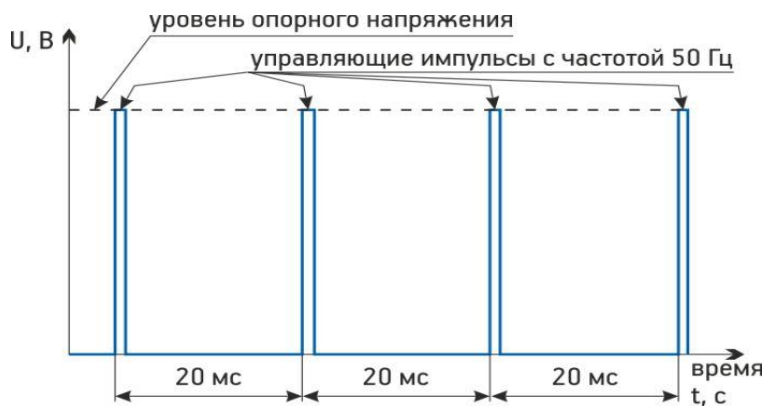


Рис. 3

Что интересно, угловое положение выходного вала сервопривода задается продолжительностью подаваемого импульса. Для пояснения на рисунке 4 показано приблизительное соотношение ширины импульса во временных координатах и угла поворота вала сервопривода. Управление поворотом вала сервопривода выполняется с помощью импульсов продолжительностью от 1 до 2 мс (миллисекунд).

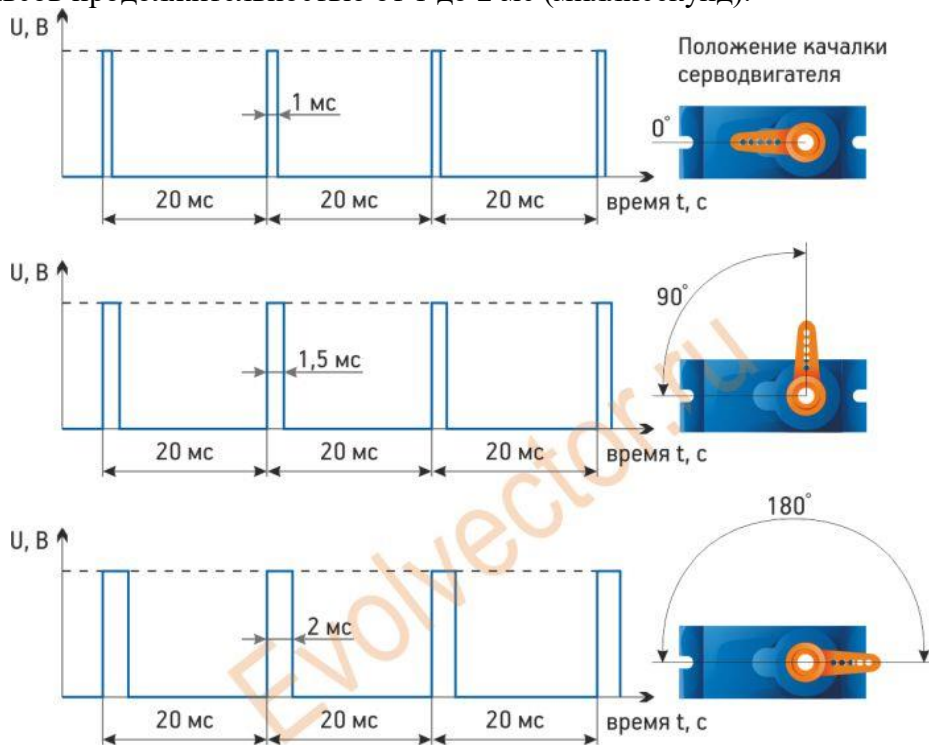


Рис. 4

Как видно из графика, для управления сервоприводом используется не что иное как сигнал с широтно импульсной модуляцией - ШИМ. Что такое ШИМ можно узнать из соответствующей статьи на нашем сайте.

***А как ширина импульса превращается в угол вала на выходе?***

Как указано на рисунке 2, в корпусе сервопривода присутствует еще и электронный модуль управления мотором. Подаваемый на сервопривод сигнал попадает на эту плату. А вот то, что происходит с этим сигналом дальше, показано на блок-схеме рисунок 5, которую мы проанализируем поэтапно. Каждый этап изображен прямоугольником или кружочком и пронумерован. Внутри этих прямоугольников изображены устройства, на которых происходит преобразование или обработка сигнала.



Рис. 5

Итак, входной управляющий сигнал  $S_{упр}$  с ШИМ модуляцией приходит на специальную микросхему с логическими элементами, с помощью которой преобразуется в напряжение  $U_{упр}$  (этап №1). После этого сигнал  $U_{упр}$  (управляющее напряжение) поступает на элемент сравнения напряжений. Данный элемент называется сумматором, но на самом деле он из входного сигнала  $U_{упр}$  вычитает напряжение  $U_{обр}$  (напряжение обратной связи), приходящее через обратную связь с переменного резистора (этап №2).

Получившаяся разность  $U_{корр}$  (корректирующее напряжение) усиливается встроенным усилителем (этап №3) и подается на электродвигатель. Мотор вращается (этап №4) и приводит в движение выходной вал сервопривода, а вместе с ним и датчик обратной связи в виде потенциометра. При вращении ручки потенциометра изменяется напряжение и получается, что поворот вала преобразуется в напряжение  $U_{обр}$  (этап №5). Это напряжение  $U_{обр}$  сравнивается (снова этап №2) с напряжением  $U_{упр}$ , и разность в виде  $U_{корр}$  снова идет на усилитель (этап №3) и так далее. Сигнал «ходит» по цепи с обратной связью до тех пор, пока не выполнится соотношение  $U_{упр} = U_{обр}$ . Тогда  $U_{корр}$  станет равно 0, и двигатель остановится. Произойдет это тогда, когда вал сервопривода займет положение, соответствующее входному управляющему сигналу  $S_{упр}$ .

Обобщим все сказанное. Вал сервопривода механически соединен с ручкой потенциометра. Из-за этого вместе с поворотом вала сервопривода поворачивается потенциометр, в результате чего изменяется его сопротивление и выходное напряжение  $U_{обр}$ . Соответственно, выходное напряжение с потенциометра  $U_{обр}$  прямо зависит от угла поворота сервопривода. Одновременно входной в сервопривод сигнал  $S_{упр}$  с продолжительностью импульсов от 0,001 до 0,002 секунды задает уровень напряжения  $U_{упр}$ , которое определяет угол на который должен повернуться вал сервопривода. Остановка электродвигателя в момент, когда вал сервопривода именно в нужном положении, достигается за счет вычитания из сигнала  $U_{упр}$  сигнала обратной связи  $U_{обр}$ . А усилитель этапа №3 необходим для того, чтобы на электродвигатель подавалось усиленное напряжение и двигатель переводил вал сервопривода в заданное положение максимально быстро.

### **Примеры управления серводвигателем**

Как было сказано выше, для управления серводвигателем применяется ШИМ с определенными параметрами. Сгенерировать такую ШИМ можно различными способами. Покажем некоторые из них.

1. Управление серводвигателем при помощи 555 таймера. Микросхема таймера 555 может работать в режиме генератора импульсов (подробнее об этой микросхеме читайте соответствующую статью). Следовательно можно подобрать такие параметры работы этой микросхемы, что бы она выдавала нужные нам импульсы. Путем изменения скважности этих импульсов, т. е. изменения продолжительности импульсов от 0,001 до 0,002 секунды, мы и будем задавать угол поворота вала сервопривода.

Для того чтобы реализовать ШИМ сигнал, необходимо использовать схему с регулируемой скважностью импульсов при неизменной частоте 50 Гц. Параметры компонентов на схеме (рис.6) подобраны таким образом, чтобы обеспечить эти условия. Но чтобы сигнал управления удовлетворял всем условиям, его необходимо инвертировать. Транзистор в схеме необходим именно для этого. Чтобы управлять скважностью в заданных пределах, потребовался бы потенциометр на максимальное сопротивление 20 кОм. Мы будем использовать два потенциометра по 10 кОм. Рабочий ход серводвигателя составляет 180

градусов. В этом случае при вращении ручки одного потенциометра сервопривод будет поворачиваться на 90 градусов, а при дополнительном вращении другого — на вторые 90 градусов.

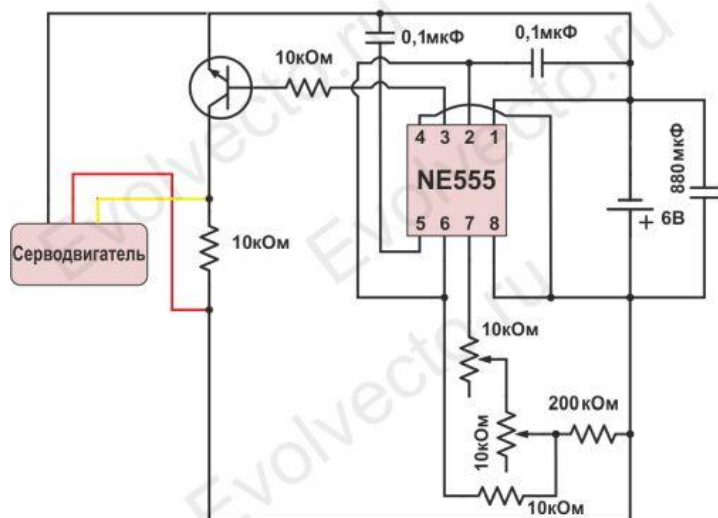


Рис. 6

2. *Управление серводвигателем при помощи контроллера.* Сгенерировать нужный сигнал ШИМ так же можно при помощи контроллера. Например можно использовать программируемый контроллер на платформе Ардуино. Чтобы максимально упростить программирование алгоритма управления серводвигателем (генерацию ШИМ) применяются заранее написанные программы, называемые библиотеками. Их сложный программный код скрыт от пользователя, предлагается только вызов нужных нам функций посредством коротких команд при подключении библиотеки к нашей основной программе. Все это делает сложное с алгоритмической точки зрения управление такими устройствами как серводвигатель крайне простым и удобным.

Схема подключения, а так же Скетч (программа) для управления серводвигателем контроллером Arduino показаны на рисунке 7.

Для реализации данной схемы на макетной плате Вам потребуются:

- [1. Контроллер](#)
- [2. Макетная плата](#)
- [3. Сервопривод](#)
- [4. Провода](#)

```

#include <Servo.h>
Servo dvg;
void setup()
{
  dvg.attach(9);
}
void loop()
{
  dvg.write(90);
  /* установили сервопривод
  в серединное положение*/
  delay(500);
  dvg.write(0);
  /* установили сервопривод
  в крайнее левое
  положение*/
  delay(500);
  dvg.write(180);
  /* установили сервопривод
  в крайнее правое
  положение*/
  delay(500);
}

```

**ВНИМАНИЕ:** Подключение питания серводвигателя к плате напрямую, как в нашем примере (рисунок 7), нежелательно. У нас на рисунке подключен один серводвигатель из

категории «мини», потребляющий очень небольшие токи, отчего он вполне штатно работает, питаясь непосредственно от платы. Сервопривод стандартного размера требует большей мощности, что может привести к перегреву и повреждению контроллера. Подключение питания двигателей следует осуществлять только через отдельный источник, особенно если предполагается управление одновременно несколькими сервоприводами.

**#include <Servo.h>** - эта команда означает подключение библиотеки для управления сервоприводом. Эта библиотека присутствует на диске Эвольвектор, который поставляется совместно с нашими наборами 2-ого уровня. Так же её можно найти в интернете и положить в папку «libraries» вашей Arduino IDE.

Подключенная нами библиотека имеет большое количество команд, мы рассмотрим только те, который используются в программе.

**Servo dvig;** - это объявление переменной специального типа. **dvig** – это переменная (название выбираем произвольно). **Servo** – это тип переменной (специальный тип, который задается в присоединенной библиотеке). Можно задать до 12 переменных этого типа, то есть для управления 12 серво-приводами. Иными словами, этой командой мы сообщили плате, что у нас есть сервопривод, который мы назвали **dvig**.

**dvig.attach(9);** - эта команда означает, что серво-привод (**dvig**) присоединен к 9 пину (выводу).

**dvig.write(90);** – эта команда заставляет сервопривод (**dvig**) повернуться в среднее положение (90 градусов).

**dvig.write(0);** – поворачивает сервопривод в положение 0 градусов.

**dvig.write(180);** – поворачивает сервопривод в положение 180 градусов.

Задания:

Задание 1: разработать управляющую программу для вращения вала двигателя на угол 90 градусов по часовой стрелке, задержка на 3 сек., вращения вала двигателя на угол 90 градусов против часовой стрелки.

Задание 2: разработать управляющую программу для вращения вала двигателя на 10 оборотов по часовой стрелке, задержка на 10 сек., вращения вала двигателя на 10 оборотов против часовой стрелки.

## Лабораторная работа 7. Зубчатые передачи как преобразователи движения

Цель работы: Овладеть навыками работы в системе автоматизированного проектирования АДЕМ при создании чертежей мехатронных элементов и модулей.

Материально-техническое оснащение: Персональный компьютер (ПК); САПР;

Задания:

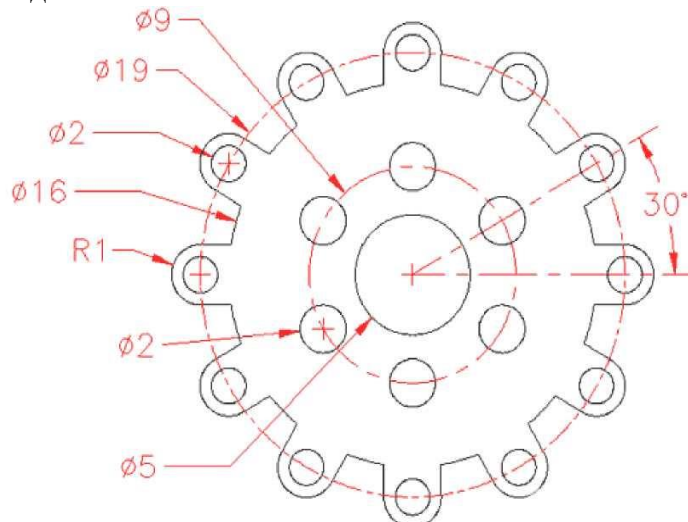
1 - Создать чертежи мехатронных элементов.

2 - проставить необходимые размеры.

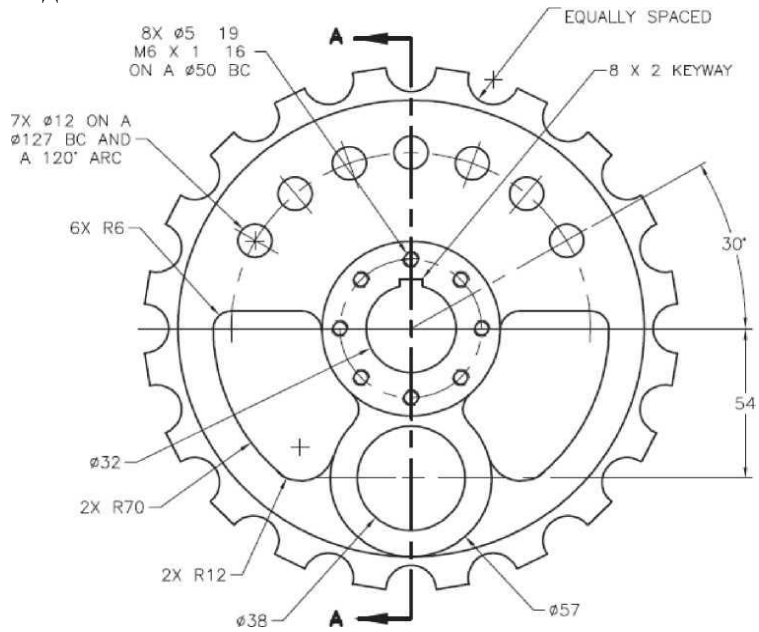
3 - заполнить основную надпись.

3. Задания для выполнения практической работы

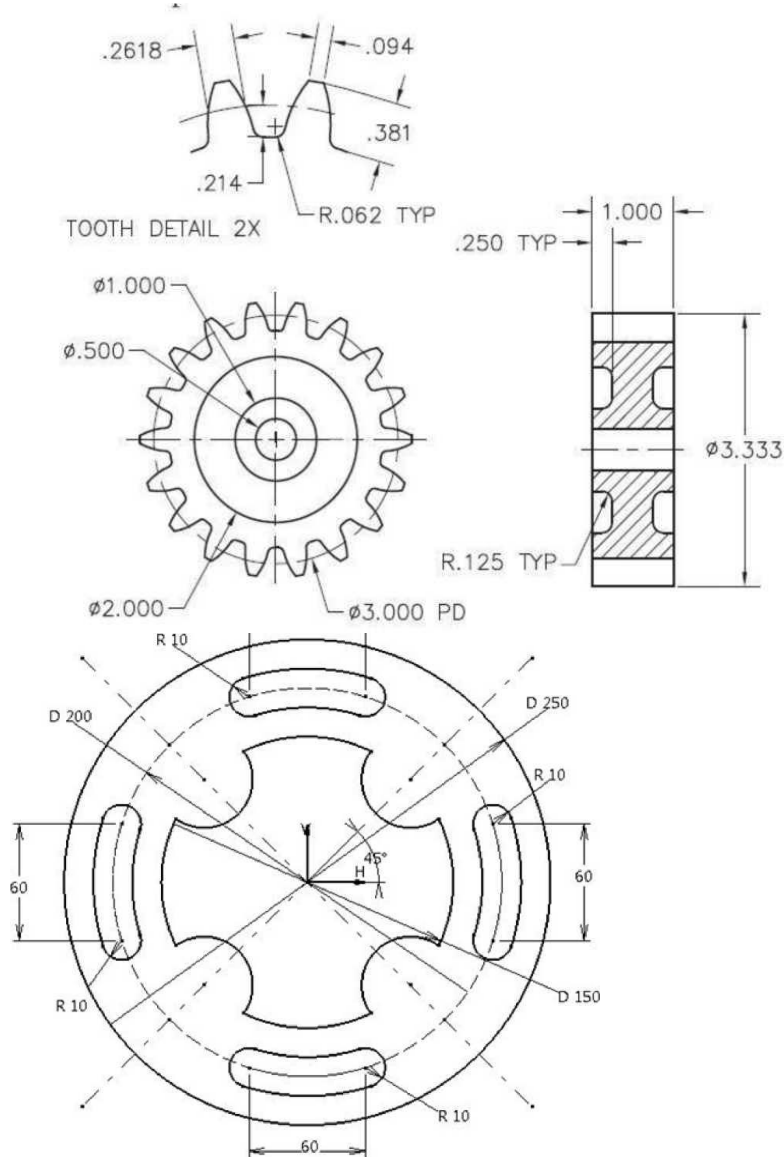
Задание 1

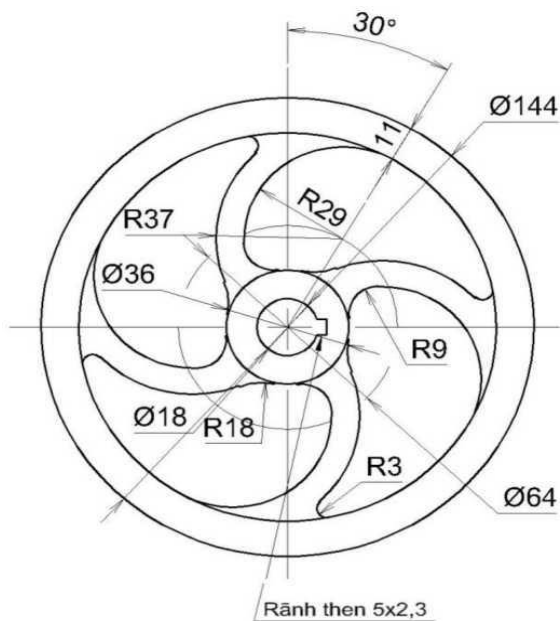


### Задание 2



### Задание 3



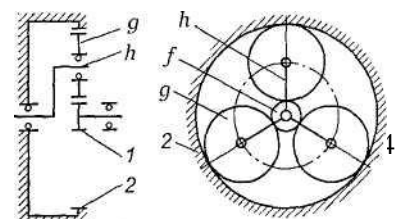


**Контрольные вопросы:**

- определения: мехатронный элемент, узел, модуль;
- методы создания мехатронных элементов с использованием САПР;
- области применения САПР;
- используемые геометрические элементы для построения моделей мехатронных модулей

**3.3. Примеры тестовых заданий по вопросам общей механики и механическим передачам**

1. Какое основное отличие зубчатой передачи от фрикционной?
  1. Постоянство передаточного числа
  2. Непостоянство передаточного числа
2. Движение в зубчатых передачах передается за счет...
  - 1) зацепления зубьев
  - 2) сил трения между зубьями
  - 3) прижатия колес друг к другу
  - 4) скольжения зубьев друг по другу
3. В цилиндрических зубчатых передачах передаточное отношение ...
  - 1) постоянное
  - 2) переменное
  - 3)  $u = 0$
  - 4)  $u = \infty$
5. У зубчатых колес находящихся в зацепление должны быть одинаковыми ...
  - 1) делительные диаметры
  - 2) ширина колес
  - 3) числа зубьев
  - 4) модули зубьев
6. Как классифицируется по взаимному расположению осей колес передача на рисунке?
  1. Оси параллельны
  2. Оси пересекаются
  3. Оси скрещиваются
7. Как называют деталь *h* на рисунке?



1. Водило



2. Сателлиты
3. Эпицикл
8. Определите, передаточное число червячной передачи, если число зубьев колеса равно  $Z_2 = 30$ , число витков червяка  $z_1 = 2$ 
  - 1) 60
  - 2) 15
  - 3) 1/15
  - 4) Определить нельзя
9. Механическая передача является повышающей при ...
  - 1)  $u < 1, n_1 < n_2$
  - 2)  $u > 1, n_1 > n_2$
  - 3)  $u > 1, n_1 < n_2$
  - 4)  $u < 1, n_1 > n_2$
10. Механическая передача является понижающей при ...
  - 1)  $u < 1, n_1 < n_2$
  - 2)  $u < 1, n_1 > n_2$
  - 3)  $u > 1, n_1 < n_2$
  - 4)  $u > 1, n_1 > n_2$
11. К механическим передачам с зацеплением относятся ...
  - 1) зубчатые, волновые, клиноременные
  - 2) зубчатые, фрикционные, червячные
  - 3) зубчатые, цепные, червячные, планетарные
  - 4) зубчатые, червячные, ременные, фрикционные
12. К механическим передачам трением относится ...
  - 1) червячная
  - 2) клиноременная
  - 3) волновая зубчатая
  - 4) планетарная
  - 5) винтовая
13. Какое назначение механических передач
  1. Вырабатывать энергию
  2. Воспринимать энергию
  3. Затрачивать энергию на преодоление внешних сил, непосредственно связанных с процессом производства
  4. Преобразовывать скорость, вращающий момент, направление вращения
14. Как классифицируют зубчатую передачу по принципу передачи движения?
  1. Трением
  2. Зацеплением
  3. Непосредственно контактом деталей, сидящих на ведущем и ведомом валах
  4. Передача гибкой связью
15. Какая передача может использоваться для передачи вращения между валами, оси которых пересекаются?
  1. Коническая
  2. Червячная
  3. Цилиндрическая
  4. Кривошипно-шатунная
16. Какая передача может использоваться для передачи вращения между валами, оси которых параллельны?
  1. Цилиндрическая
  2. Червячная

3. Кулисная

4. Реечная

17. Какая передача может использоваться для передачи вращения между валами, оси которых перекрещиваются (но не пересекаются)?

1. Червячная

2. Гипоидная

3. Коническая

4. Винтовая

18. Макет какой передачи показан на фотографии?

1. Червячной

2. Кулисный

3. Винтовой

4. Реечной



19. Какая передача как правило имеет меньший уровень шума при работе?

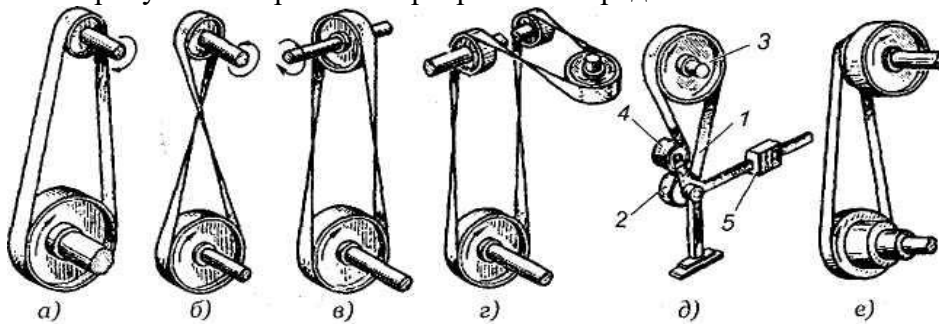
1. Цилиндрическая прямозубая

2. Коническая

3. Червячная

4. Цилиндрическая косозубая

20. На каком рисунке изображена перекрестная передача?



### Тема «Механика»

1. Какое основное отличие зубчатой передачи от фрикционной?

1. Постоянство передаточного числа

2. Непостоянство передаточного числа

2. Движение в зубчатых передачах передается за счет...

1) зацепления зубьев

2) сил трения между зубьями

3) прижатия колес друг к другу

4) скольжения зубьев друг по другу

5. У зубчатых колес находящихся в зацеплении должны быть одинаковыми ...

1) делительные диаметры

2) ширина колес

3) числа зубьев

4) модули зубьев

7. Как называют деталь  $h$  на рисунке?

1. Водило

2. Сателлиты

3. Эпицикл

8. Определите, передаточное число червячной передачи, если число зубьев колеса равно  $Z_1 = 30$ , число витков червяка = 6

1) 60

2) 5

- 3) 1/5  
4) 30
11. К механическим передачам с зацеплением относятся ...  
1) зубчатые, волновые, клиноременные  
2) зубчатые, фрикционные, червячные  
3) зубчатые, цепные, червячные, планетарные  
4) зубчатые, червячные, ременные, фрикционные
12. К механическим передачам трением относится ...  
1) червячная  
2) клиноременная  
3) волновая зубчатая  
4) планетарная  
5) винтовая
13. Какое назначение механических передач  
1. Вырабатывать энергию  
2. Воспринимать энергию  
3. Затрачивать энергию на преодоление внешних сил, непосредственно связанных с процессом производства  
4. Преобразовывать скорость, вращающий момент, направление вращения
14. Как классифицируют зубчатую передачу по принципу передачи движения?  
1. Трением  
2. Зацеплением  
3. Непосредственно контактом деталей, сидящих на ведущем и ведомом валах  
4. Передача гибкой связью
15. Какая передача может использоваться для передачи вращения между валами, оси которых пересекаются?  
5. Коническая  
6. Червячная  
7. Цилиндрическая  
8. Кривошипно-шатунная
16. Какая передача может использоваться для передачи вращения между валами, оси которых параллельны?  
5. Цилиндрическая  
6. Червячная  
7. Кулисная  
8. Реечная
17. Какая передача может использоваться для передачи вращения между валами, оси которых перекрещиваются (но не пересекаются)?  
5. Червячная  
6. Гипоидная  
7. Коническая  
8. Винтовая
19. Какая передача как правило имеет меньший уровень шума при работе?  
5. Цилиндрическая прямозубая  
6. Коническая  
7. Червячная  
8. Цилиндрическая косозубая

**Тема «Робототехника»**

1. Укажите, какого элемента мехатронной системы не хватает в перечне приведенных элементов: механика, информатика, \_\_\_\_\_.
2. Укажите новое, недавно сформировавшееся направление в робототехнике  
А. металлообрабатывающие роботы  
В. транспортные роботы

- C. встроенные роботы в машиностроении
  - D. микророботы
3. Основной самой распространенной в настоящее время областью применения робототехники является
- A. робототехника наземного и воздушного базирования
  - B. био- и медицинская робототехника
  - C. космическая и подводная робототехника
  - D. промышленная робототехника

### 3.4. Зачет

#### *Вопросы к зачету*

1. 1. Классификация мехатронных модулей.
2. Этапы проектирования машин, стадии разработки; требования к деталям. Оптимизация при конструировании.
3. Структурный анализ механизмов мехатронных модулей.
4. Структурный синтез механизмов мехатронных модулей.
5. Основные критерии работоспособности и расчета деталей и влияющие на них факторы.
6. Надежность машин. Основные термины и определения.
7. Основные направления повышения надежности и долговечности деталей машин.
8. Машиностроительные материалы и пути их экономии, допускаемые напряжения.
9. Роль стандартизации и унификации в машиностроении. Взаимозаменяемость. Точность
10. Технологичность и экономичность конструкции узлов и деталей машин.
11. Этапы конструирования мехатронных модулей Основы методики конструирования мехатронных модулей. Техническое задание.
12. Анализ взаимосвязей мехатронного модуля с внешним окружением Разработка технических требований
13. Предварительное конструирование основных частей мехатронного модуля. Разработка вариантов эскизной компоновки мехатронного модуля.
14. Чертеж эскизной компоновки Компактность конструкции. Чертеж окончательной компоновки
15. Конструирование с использованием систем автоматизированного проектирования.
16. Типы и стадии разработки конструкторской документации.
17. Зубчатые передачи: общие сведения, достоинства и недостатки, область применения. Параметры и конструкция зубчатых колес.
18. Геометрия и кинематика, расчет цилиндрических эвольвентных зубчатых колес.
19. Конические зубчатые передачи: область применения, достоинства и недостатки. Силы, действующие в коническом зацеплении
20. Геометрические расчеты конических зубчатых передач, понятие о приведенном зубчатом колесе.
21. Червячные передачи: назначение, область применения, достоинства и недостатки. Классификация червячных передач. Геометрия червячных передач
22. Скорость скольжения и КПД в червячной передаче. Материалы, применяемые для изготовления червячных передач. Силы, действующие в червячном зацеплении.
23. Тепловой расчет червячных редукторов.
24. Зубчатые механизмы: редукторы и мультипликаторы, коробки скоростей, планетарные и волновые механизмы.
25. Фрикционные передачи и вариаторы. Общие вопросы конструирования. Расчеты фрикционных передач.
26. Передача «винт-гайка» скольжения и качения, устройство и назначение, расчет винтов и гаек.
27. Ременные передачи: применение, достоинства и недостатки. Кинематика ременной передачи. Основные параметры ременной передачи. Материалы ремней.
28. Силы и напряжения в ременной передаче. Силы, действующие на валы передачи. Расчеты

- ременных передач.
29. Назначение, классификация, конструкция, условия работы, материалы и упрочняющая обработка валов и осей.
  30. Расчет осей на статическую прочность.
  31. Проверочный расчет валов на сопротивление усталости. Расчет валов на жесткость.
  32. Назначение и классификация опор валов и осей.
  33. Подшипники скольжения: конструкция, достоинства и недостатки, область применения. Материалы и смазка подшипников скольжения.
  34. Расчеты подшипников скольжения с полусухим или с полужидкостным трением.
  35. Расчеты подшипников скольжения с жидкостным трением.
  36. Подшипники качения: достоинства и недостатки, область применения. Материалы и упрочняющая обработка. Конструкция, классификация и маркировка подшипников качения.
  37. Подшипники качения: условия работы, виды повреждений, критерии работоспособности и расчета. Расчет подшипников качения на долговечность.
  38. Назначение, классификация и основные параметры муфт. Общая методика подбора муфт. Последовательность изучения муфт.
  39. Шаговые двигатели: назначение, принцип работы, способы комутации. Управление.
  40. Серводвигатели: назначение, принцип работы. Управление
  41. Электродвигатели постоянного тока: назначение, принцип работы. Управление
  42. Механические тормозные устройства Электромагнитные фрикционные тормозные устройства
  43. Датчики информации: Датчики положения и перемещения
  44. Датчики информации: Датчики скорости
  45. Датчики информации: Датчики определения расстояния, уровня освещения, цвета
  46. Расчет надежности ММ