

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра машиностроения и транспорта**



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

*Солухов* Е.И. Луковникова

«31» мая 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН**

**Б1.В.07**

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

**15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств**

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ**

**Технология машиностроения**

Программа прикладного бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств от 11 августа 2016 г № 1000 и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» от 01.04.2019 г. № 196 для очной формы обучения для набора 2019 года

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b> | <b>3</b>  |
| <b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>   | <b>4</b>  |
| 3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....  | 4         |
| 3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости .....  | 4         |
| <b>4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>  | <b>5</b>  |
| 4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий .....   | 5         |
| 4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам.....  | 5         |
| 4.3 Лабораторные работы.....   | 18        |
| 4.4 Практические занятия.....  | 19        |
| 4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект .....  | 19        |
| <b>5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>            | <b>20</b> |
| <b>6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>   | <b>21</b> |
| <b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>  | <b>21</b> |
| <b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>                           | <b>22</b> |
| <b>9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>  | <b>22</b> |
| 9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных и практических работ .....   | 22        |
| 9.2. Методические указания по выполнению курсового проекта .....   | 28        |
| <b>10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>                          | <b>30</b> |
| <b>11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>                        | <b>30</b> |
| <b>Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....</b>                                   | <b>31</b> |
| <b>Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины .....</b>  | <b>36</b> |
| <b>Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе .....</b>   | <b>37</b> |
| <b>Приложение 4. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости по дисциплине.....</b>  | <b>38</b> |

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к производственно-технологическому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

## Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является – анализ и синтез типовых механизмов и их систем.

Задачами изучения дисциплины является:

- проектирование новых механизмов по заданным кинематическим и динамическим условиям (синтез механизмов);
- исследование существующих механизмов (анализ механизмов) с целью их усовершенствования и улучшения их эксплуатационных качеств, а также для получения данных для прочностных и технологических расчетов;
- разработка общих методов исследования структуры, геометрии, кинематики и динамики типовых механизмов и их систем;
- содействовать средствами данной дисциплины развитию личностных качеств, определяемых общими целями обучения и воспитания, изложенными в ООП (общей образовательной программе);
- привить навыки самообразования и самоорганизации.

| Код компетенции | Содержание компетенций  | Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине   |
|-----------------|---|---|
| ОК-5            | способность к самоорганизации и самообразованию   | <b>знать:</b><br>– классификацию, функциональные возможности и области применения основных видов механизмов;<br><b>уметь:</b><br>– идентифицировать и классифицировать механизмы и устройства, используемые в конструкциях машин и оборудования, при наличии их чертежа или доступного для разборки образца;<br><b>владеть:</b><br>– методами расчёта несущей способности элементов и узлов машин и оборудования с использованием графических, аналитических и численных методов. |
| ПК-25           | способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности и методы теоретического и экспериментального исследования | <b>знать:</b><br>– методы расчета кинематических и динамических параметров движения механизмов;<br><b>уметь:</b><br>– оценивать основные качественные характеристики механизмов и устройств, используемых в конструкциях машин и оборудования;<br><b>владеть:</b><br>– методами проектирования машин и оборудования, в том числе, с использованием трехмерных моделей.  |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.07 Теория механизмов и машин относится к вариативной части.

Дисциплина Теория механизмов и машин базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин, как:

- Сопротивление материалов;
- Начертательная геометрия и инженерная графика;
- Теоретическая механика.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, Теория механизмов и машин представляет основу для изучения дисциплин:

- Детали машин и основы конструирования;
- Металлорежущие станки;
- Техническая эксплуатация станочных систем.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

## 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

### 3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

| Форма обучения                | Курс | Семестр | Трудоемкость дисциплины в часах |                  |        |                     |                      |                        | Курсовой проект | Вид промежуточной аттестации |
|-------------------------------|------|---------|---------------------------------|------------------|--------|---------------------|----------------------|------------------------|-----------------|------------------------------|
|                               |      |         | Всего часов (с экз.)            | Аудиторных часов | Лекции | Лабораторные работы | Практические занятия | Самостоятельная работа |                 |                              |
| Очная                         | 2    | 4       | 180                             | 68               | 17     | 34                  | 17                   | 76                     | КП              | Экзамен                      |
| Заочная                       | -    | -       | -                               | -                | -      | -                   | -                    | -                      | -               | -                            |
| Заочная (ускоренное обучение) | -    | -       | -                               | -                | -      | -                   | -                    | -                      | -               | -                            |
| Очно-заочная                  | -    | -       | -                               | -                | -      | -                   | -                    | -                      | -               | -                            |

### 3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

| Вид учебных занятий  | Трудоемкость (час.) | в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.) | Распределение по семестрам, час |
|--|---------------------|--|---------------------------------|
|  |                     |  | 4                               |
| <b>I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)</b> | <b>68</b>           | <b>17</b>  | <b>68</b>                       |
| Лекции (Лк)  | 17                  | 17   | 17                              |
| Практические занятия (ПЗ)  | 17                  | -  | 17                              |
| Лабораторные работы (ЛР)   | 34                  | -  | 34                              |
| Курсовой проект  | +                   | -  | +                               |
| Групповые (индивидуальные) консультации                          | +                   | -  | +                               |
| <b>II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>               | <b>76</b>           | <b>-</b>   | <b>76</b>                       |
| Подготовка к практическим занятиям                               | 10                  | -  | 10                              |
| Подготовка к лабораторным работам                                | 16                  | -  | 16                              |
| Подготовка к экзамену в течение семестра                         | 20                  | -  | 20                              |
| Выполнение курсового проекта                                     | 30                  | -  | 30                              |
| <b>III. Промежуточная аттестация</b> экзамен                     | <b>36</b>           | <b>-</b>   | <b>36</b>                       |
| Общая трудоемкость дисциплины                                    | час.                | <b>180</b>   | <b>180</b>                      |
|  | зач. ед.            | <b>5</b>   | <b>5</b>                        |

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

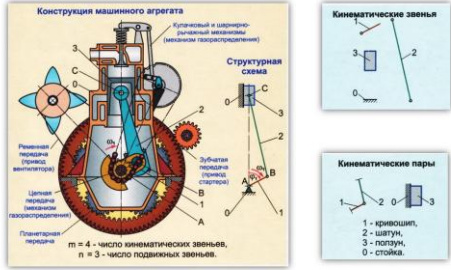
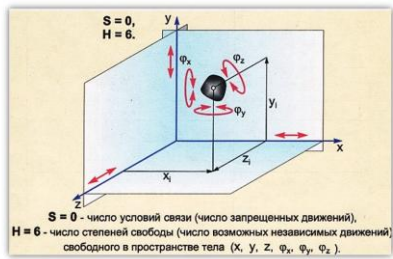
### 4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий - для очной формы обучения:

| № раздела и темы | Наименование раздела и тема дисциплины            | Трудоемкость, (час.) | Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.) |                     |                      |                                    |
|------------------|---|----------------------|---|---------------------|----------------------|------------------------------------|
|                  |   |                      | учебные занятия   |                     |                      | самостоятельная работа обучающихся |
|                  |   |                      | лекции  | лабораторные работы | практические занятия |                                    |
| <b>1.</b>        | <b>Механизмы с низшими кинематическими парами</b> | <b>74</b>            | <b>10</b>   | <b>8</b>            | <b>17</b>            | <b>39</b>                          |
| 1.1.             | Механизмы и машины. Структурный анализ механизмов | 32                   | 4   | 8                   | 4                    | 16                                 |
| 1.2.             | Кинематический анализ                             | 18                   | 2   | -                   | 6                    | 10                                 |
| 1.3.             | Динамика. Кинетостатический анализ.               | 24                   | 4   | -                   | 7                    | 13                                 |
| <b>2.</b>        | <b>Механизмы с высшими кинематическими парами</b> | <b>70</b>            | <b>7</b>  | <b>26</b>           | <b>-</b>             | <b>37</b>                          |
| 2.1.             | Зубчатые механизмы                                | 20                   | 2   | 8                   | -                    | 10                                 |
| 2.2.             | Сложные зубчатые механизмы                        | 50                   | 5   | 18                  | -                    | 27                                 |
|                  | <b>ИТОГО</b>                                      | <b>144</b>           | <b>17</b>   | <b>34</b>           | <b>17</b>            | <b>76</b>                          |

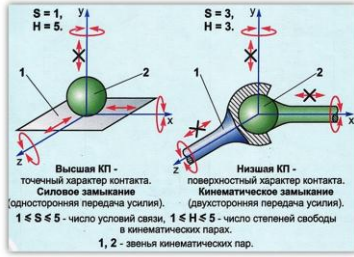
### 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

#### Раздел 1. Механизмы с низшими кинематическими парами

#### Тема 1.1. Механизмы и машины. Структурный анализ механизмов (Лекция-презентация – 4 часа)

|   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Механизм</i> – это техническая система, состоящая из подвижных звеньев, стойки и кинематических пар, образующих кинематические цепи.</li> <li>• Все механизмы предназначены для передачи и преобразования перемещений входных звеньев и приложенных к ним силовых факторов в требуемые перемещения и силовые факторы выходных звеньев.</li> <li>• <i>Плоские механизмы</i> – это механизмы, звенья которых совершают движения в параллельных плоскостях.</li> <li>• <i>Пространственные механизмы</i> – это механизмы, звенья которых совершают движения в перпендикулярных плоскостях.</li> <li>• <i>Сферические механизмы</i> – это механизмы, в которых одно или несколько звеньев совершают движения в нескольких плоскостях одновременно.</li> </ul> | <p>Структурные элементы механизмов</p>  |
| <p>Вид контакта звеньев</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>низшие</i> – это кинематические пары, в которых контакт звеньев, их образующих, осуществляется по плоскости или по поверхности;</li> <li>• <i>повышенной</i> кинематические пары, в которых контакт звеньев, их образующих, осуществляется по линии или в точке;</li> </ul> <p>Контакт звеньев, образующих кинематические пары</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>силовой</i> – это кинематические пары, в которых постоянство контакта звеньев обеспечивается за счет действия сил тяжести или силы упругости пружины;</li> <li>• <i>геометрический</i> – это кинематические пары, в которых постоянство контакта звеньев реализуется за счет конструкции рабочих поверхностей звеньев;</li> </ul>              | <p>Кинематические пары</p>              |

### Кинематические пары



• **Кинематическая пара** – это подвижное соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающее относительные движения.

### Классификация кинематических пар

| Кинематическая пара  | Обозначение | Класс  | Вид                        | Способ замыкания  |
|--|-------------|--------|----------------------------|-------------------|
| <p>Высшая КП первого класса с силовым замыканием (точечная, пятиподвижная ВВП)</p> |             | Первый | Высшая, элемент КП - точка | Силовое замыкание |

### Классификация кинематических пар

| Кинематическая пара   | Обозначение | Класс  | Вид                        | Способ замыкания  |
|---|-------------|--------|----------------------------|-------------------|
| <p>Высшая КП второго класса с силовым замыканием (линейчатая, четырехподвижная ВВП)</p> |             | Второй | Высшая, элемент КП - линия | Силовое замыкание |

### Классификация кинематических пар

| Кинематическая пара  | Обозначение | Класс | Вид                        | Способ замыкания  |
|--|-------------|-------|----------------------------|-------------------|
| <p>Высшая КП пятого класса с силовым замыканием (линейчатая, четырехподвижная ВВП)</p> |             | Пятый | Высшая, элемент КП - линия | Силовое замыкание |

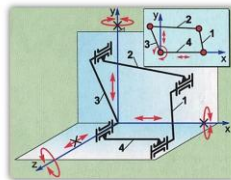
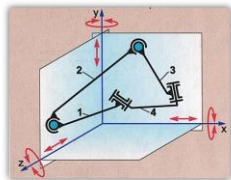
### Классификация кинематических пар

| Кинематическая пара   | Обозначение | Класс | Вид                        | Способ замыкания  |
|---|-------------|-------|----------------------------|-------------------|
| <p>Высшая КП второго класса с силовым замыканием (линейчатая, четырехподвижная ВВП)</p> |             | Пятый | Высшая, элемент КП - линия | Силовое замыкание |

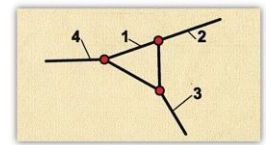
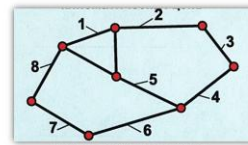
### Классификация кинематических пар

| Кинематическая пара   | Обозначение | Класс | Вид                        | Способ замыкания  |
|---|-------------|-------|----------------------------|-------------------|
| <p>Высшая КП второго класса с силовым замыканием (линейчатая, четырехподвижная ВВП)</p> |             | Пятый | Высшая, элемент КП - линия | Силовое замыкание |

### Кинематические цепи



**простая** – это кинематическая цепь, каждое звено которой входит в состав не более двух кинематических пар, т. е. содержит только одно- или двухвершинные звенья;



- **сложная** – это кинематическая цепь, имеющая звенья, входящие в состав трех и более кинематических пар, т. е. содержит хотя бы одно звено с тремя или более вершинами.
- **незамкнутая** – это кинематическая цепь, в которой хотя бы одно звено имеет свободный элемент, не взаимодействующий с другими звеньями и не образующий с ними кинематических пар;
- **замкнутая** – это кинематическая цепь, каждое звено которой входит в состав как минимум двух кинематических пар.

При анализе структурных схем механизма определяют:

- Число подвижных звеньев;
- Вид и число кинематических пар;
- Подвижность механизма.

### Подвижность механизма

Для плоских механизмов, содержащих только одно- или двухподвижные пары: **Формула Чебышева:**

$$W = 3n - 2p_5 - p_4$$

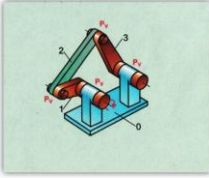
Для пространственных механизмов: **Формула Сомова-Малышева:**

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1$$

$n$  - число подвижных звеньев;  
 $p_5; p_4; p_3; p_2; p_1$  - число кинематических пар

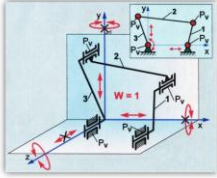
## Степень подвижности плоских механизмов

Плоский шарнирно-рычажный механизм

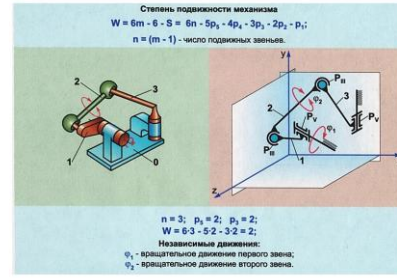


$$W = 3n - 2p_5 - p_4 \quad n=3; \quad p_5 = 4; \quad W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1$$

Структурная схема плоского шарнирно-рычажного механизма

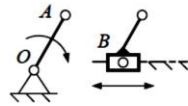


## Степень подвижности пространственного механизма



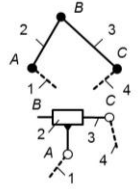
## Образование механизмов по Л.В. Ассур

Простейший механизм, состоящий из начального подвижного звена и стойки, назван начальным механизмом (или механизмом первого класса).



Более сложные рычажные механизмы могут быть получены путем присоединения к одному (или нескольким) начальным механизмам кинематических цепей (структурных групп) нулевой подвижности относительно тех звеньев, к которым группа присоединяется.

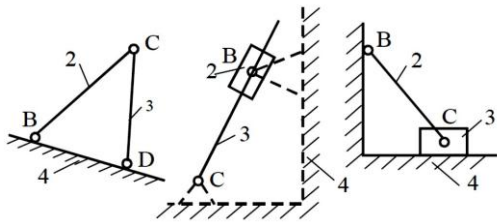
**Структурная группа звеньев (СГЗ)** – это кинематическая цепь, образованная подвижными звеньями, подвижность которой в пространстве и на плоскости равна нулю.



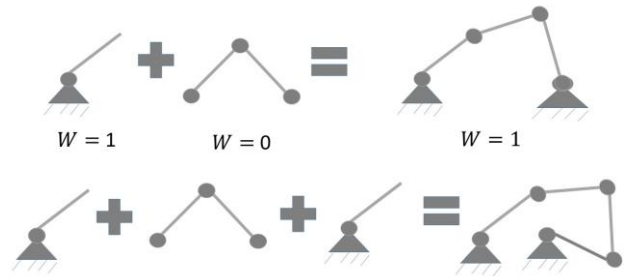
**Поводок** – это конечное звено структурной группы, одним элементом входящее в состав одной кинематической пары и имеющее второй свободный элемент звена.

**Порядок группы** определяется количеством поводков, которыми она присоединяется к начальному звену и стойке исходного механизма.

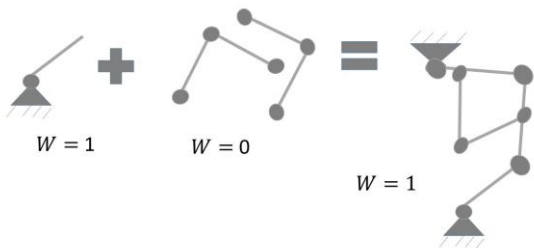
## Фермы (W=0)



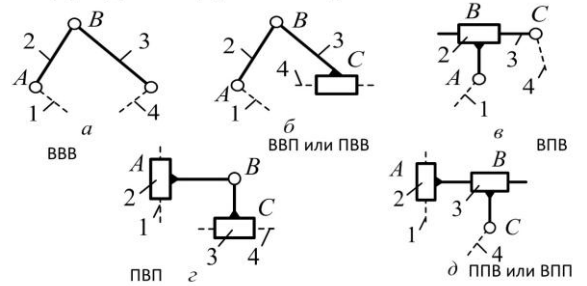
## Пример образования схем механизмов



## Пример образования схем механизмов

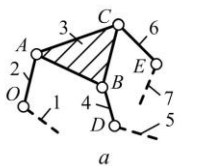


## Структурные группы Ассур 2-го класса

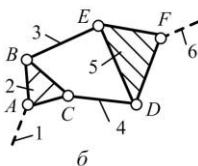


## Структурные группы Ассур

Структурная группа 3-го класса



Структурная группа 4-го класса



## Последовательность действий при структурном анализе:

1. Нумеруются звенья и обозначаются кинематические пары.
2. Определяется по формуле подвижность механизма;
3. Разложение механизма на группы начинают с отсоединения наиболее удаленной от начального звена группы, состоящей из 2-х звеньев и 3-х кинематических пар. Выделение групп нужно вести до тех пор, пока не останется начальный механизм.
4. Определяется класс группы по наивысшему классу входящих в него структурных групп.
5. Установить порядок соединения групп и написать структурную формулу строения механизма.

## Выполнить структурный анализ шарнирного механизма

Подвижность шарнирного механизма определяется по структурной формуле Чебышева:

$$W = 3n - 2p_5 - p_4$$

$$n=3;$$

Структурная схема рассматриваемого механизма состоит из четырех звеньев:

- 1 – звено OA – кривошип,
- 2 – звено AB – шатун,
- 3 – звено BC – коромысло,
- 0 – стойка.

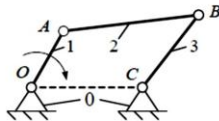


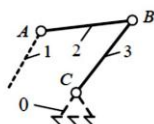
Таблица 1

| № п/п | Номера звеньев / название | Схема | Класс / Подвижность | Вид контакта / замыкание            |
|-------|---------------------------|-------|---------------------|-------------------------------------|
| 1     | 0-1 / вращательная        |       | 5/1                 | Поверхность (низшая) геометрическое |
| 2     | 1-2 / вращательная        |       | 5/1                 | Поверхность (низшая) геометрическое |
| 3     | 2-3 / вращательная        |       | 5/1                 | Поверхность (низшая) геометрическое |
| 4     | 3-0 / вращательная        |       | 5/1                 | Поверхность (низшая) геометрическое |

Подставив найденные значения коэффициентов в структурную формулу Чебышева, получим

$$W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1$$

Группа звеньев 3 – 2. Данная группа звеньев состоит из двух подвижных звеньев: шатуна 2 и коромысла 3 и трех вращательных кинематических пар пятого класса: 1 – 2, 2 – 3, 3 – 0, тогда  $n = 2$ ;  $p_5 = 3$ , а  $p_4 = 0$ .

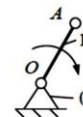


Подставив выявленные значения коэффициентов в структурную формулу Чебышева, получим

$$W = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0$$

Следовательно, группа звеньев 3 – 2 является структурной группой 2-го класса 2-го порядка 1-го вида. Структурная формула имеет вид ВВВ.

Группа звеньев 0 – 1. Данная группа звеньев состоит из подвижного звена – кривошипа 1 и стойки 0, образующих между собой одну вращательную кинематическую пару: 0 – 1, тогда  $n = 1$ ;  $p_5 = 1$ , а  $p_4 = 0$ .



Подставив выявленные значения коэффициентов в структурную формулу Чебышева, получим

$$W = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = 1$$

Следовательно, группа звеньев 0 – 1 не является структурной группой, а представляет собой первичный механизм.

$$\text{Шарнирный механизм с } (W=1) = \text{ПМ с } W=1 + \text{СГ 2-го класса 1-го вида}$$

## Выполнить структурный анализ кулисного механизма

Подвижность кулисного механизма определяется по структурной формуле Чебышева:

$$W = 3n - 2p_5 - p_4$$

$$n=3;$$

Структурная схема рассматриваемого механизма состоит из четырех звеньев:

- 1 – звено OA – кривошип,
- 2 – звено А – ползун,
- 3 – звено BC – коромысло (кулиса),
- 0 – стойка.

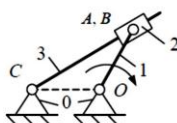


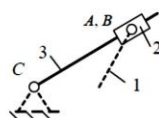
Таблица 2

| № п/п | Номера звеньев / название | Схема | Класс / Подвижность | Вид контакта / замыкание            |
|-------|---------------------------|-------|---------------------|-------------------------------------|
| 1     | 0-1 / вращательная        |       | 5/1                 | Поверхность (низшая) геометрическое |
| 2     | 1-2 / вращательная        |       | 5/1                 | Поверхность (низшая) геометрическое |
| 3     | 2-3 / поступательная      |       | 5/1                 | Поверхность (низшая) геометрическое |
| 4     | 3-0 / вращательная        |       | 5/1                 | Поверхность (низшая) геометрическое |

Подставив найденные значения коэффициентов в структурную формулу Чебышева, получим

$$W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1$$

Группа звеньев 3 – 2. Данная группа звеньев состоит из двух подвижных звеньев: ползуна 2 и коромысла (кулиса) 3, двух вращательных кинематических пар пятого класса: 1 – 2, 3 – 0 и одной поступательной кинематической пары пятого класса – 2 – 3, тогда  $n = 2$ ,  $p_5 = 3$ , а  $p_4 = 0$ .

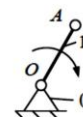


Подставив выявленные значения коэффициентов в структурную формулу Чебышева, получим

$$W = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0$$

Следовательно, группа звеньев 3 – 2 является структурной группой 2-го класса 2-го порядка 3-го вида структурная формула, которой имеет вид ВПВ.

Группа звеньев 0 – 1. Данная группа звеньев состоит из подвижного звена – кривошипа 1 и стойки 0, образующих между собой одну вращательную кинематическую пару: 0 – 1, тогда  $n = 1$ ;  $p_5 = 1$ , а  $p_4 = 0$ .



Подставив выявленные значения коэффициентов в структурную формулу Чебышева, получим

$$W = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = 1$$

Следовательно, группа звеньев 0 – 1 не является структурной группой, а представляет собой первичный механизм.

$$\text{Кулисный механизм с } (W=1) = \text{ПМ с } W=1 + \text{СГ 2-го класса 3-го вида}$$

## Шарнирный четырехзвенный механизм



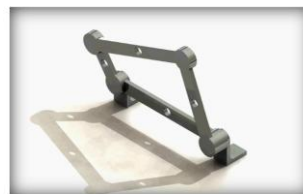
### Разновидности:

- двухкривошипный;
- кривошипно-коромысловый;
- двухкоромысловый.

### Применение:

- ковочные машины;
- качающиеся конвейеры;
- прокатные станы;
- муфты сцепления;
- приборы.

Служит для преобразования одного вида вращательного движения в другое.



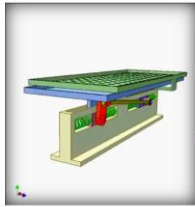
Кривошипно-коромысловый механизм



Двухкоромысловый механизм



## Кривошипно-ползунный механизм



### Применяется:

- паровые машины;
- двигатели внутреннего сгорания (ДВС);
- поршневые насосы;
- вибрационные машины;
- поршневые компрессоры;
- приборах.

Служит для преобразования вращательного движения кривошипа в возвратно-поступательное движение ползуна, и, наоборот возвратно-поступательное движение шатуна во вращательное кривошипа.

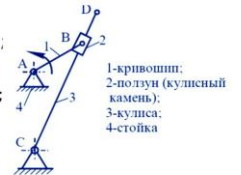
## Кулисный механизм

### Разновидности:

- кривошипно-кулисный;
- кулисно-ползунный;
- механизм с вращающейся кулисой;
- коромыслово-кулисный.

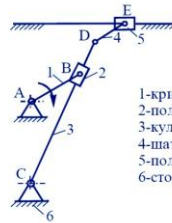
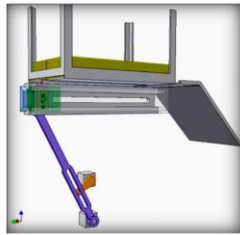
### Применяется:

- строгальные станки;
- долбежные станки;
- поршневые насосы;
- компрессоры;
- гидропривод;
- приборы.



Служит для преобразования одного вида вращательного движения в другое или непрерывного вращательного движения в возвратно-поступательное движение.

## Кулисно-ползунный механизм



- 1-кривошип;
- 2-ползун;
- 3-кулиса;
- 4-шатун;
- 5-ползун;
- 6-стойка

## Кулачковые механизмы

**Кулачковый механизм** – это механизм, в состав которого входит **кулачок**.

### Применение:

- машины;
- двигатели внутреннего сгорания;
- станки-автоматы;
- приборы.

**Кулачок** – это звено кулачкового механизма, имеющее рабочую поверхность переменной кривизны.

## Кулачковые механизмы с вращающимся кулачком

### Поступательное движение толкателя



- 1-кулачок;
- 2-толкатель;
- 3-стойка

### Качательное движение коромысла



- 1-кулачок;
- 2-коромысло;
- 3-стойка

Служат для преобразования вращательного движения кулачка в поступательное движение толкателя или качательное движение коромысла.

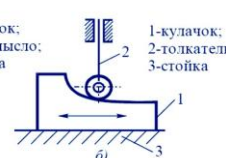
## Кулачковые механизмы с поступательно движущимся кулачком

### Качательное движение коромысла



- 1-кулачок;
- 2-коромысло;
- 3-стойка

### Поступательное движение толкателя



- 1-кулачок;
- 2-толкатель;
- 3-стойка

Служат для преобразования поступательного движения кулачка в качательное движение коромысла или в поступательное движение толкателя.

## Пространственный кулачковый механизм

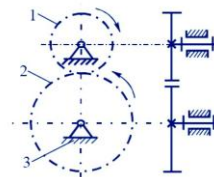


Преобразование вращательного в возвратно-поступательное движение

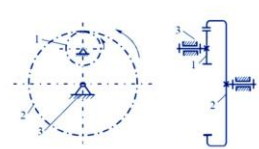
Геометрическое замыкание – это способ обеспечения постоянства контакта звеньев высшей кинематической пары посредством конфигурации рабочих поверхностей кулачка

## Зубчатые механизмы (передачи)

### Цилиндрическая передача с внешним зацеплением



### Цилиндрическая передача с внутренним зацеплением



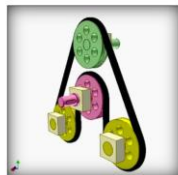
## Механизмы с гибкими звеньями

это механизмы, в которых передача движения осуществляется за счет наличия гибкого звена.

### Разновидности:

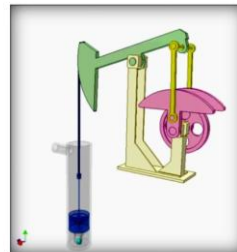
- ременные передачи;
- канатные передачи;
- цепные передачи.

### Ременная передача

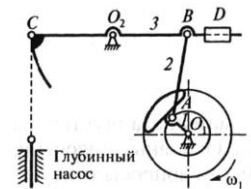


Служат для передачи вращения от одного звена к другому при значительных расстояниях между осями их вращения.

### Канатный привод



### Нефтекачалка



### Цепная передача



24

### Шаговый храповый механизм

Служит для преобразования возвратно-вращательного движения коромысла 1 с собачкой в прерывистое движение храпового колеса 3.

**Применение:**

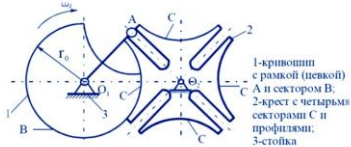
- Станки-автоматы;
- Автоматические линии;
- Приборы.



1-коромысло;  
2-собачка;  
3-храповое колесо  
4-стойка;  
5-собачка;  
6-пружина

25

### Крестовидные (мальтийские) механизмы



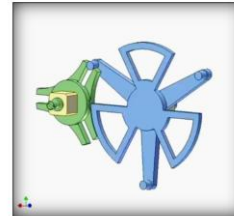
1-кривошип с рамкой (левой) А и сектором В.  
2-крест с четырьмя секторами С и профилями.  
3-стойка.



**Применение:**

- металлообрабатывающие станки автоматы;
- автоматические линии для транспортировки изделий;
- киноаппараты для перемещения киноленты.

27



Преобразуют непрерывное вращение входного звена (кривошипа) в одностороннее прерывистое (с остановками) вращение выходного звена – мальтийского креста.

28

## Тема 1.2. Кинематический анализ механизмов (Лекция-презентация – 3 часа)

**Кинематический анализ механизмов** – это один из видов исследования механизмов, выполняемый без учета силовых факторов, действующих на их звенья.

Задачи кинематического анализа:

- 1) Определение положений звеньев и траекторий движения отдельных точек механизма;
- 2) Определение линейных скоростей отдельных точек и угловых скоростей звеньев;
- 3) Определение линейных ускорений отдельных точек и угловых ускорений звеньев.

При кинематическом анализе используются аналитический, графический и графоаналитический методы.

К графоаналитическим методам кинематического анализа относятся:

- аналитический;
- графический;
- метод кинематических планов (метод планов);
- графоаналитический.

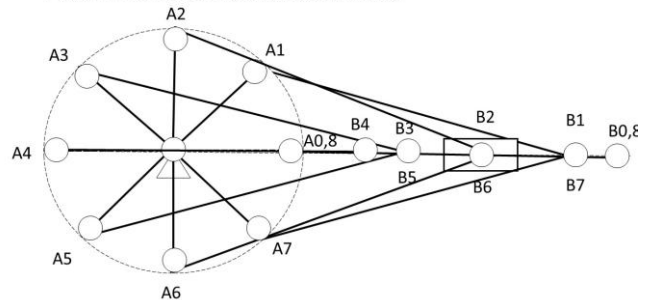
### ПЛАН МЕХАНИЗМА

**План положений механизма** – это графическое изображение взаимного расположения звеньев механизма за рассматриваемый промежуток времени, выполненное в определенном масштабном коэффициенте.

$$\mu_l = \frac{l_{OA}}{|OA|}$$

где  $|OA|$  – произвольный отрезок, мм.

### План положений механизма



### МЕТОД КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПЛАНОВ

**План скоростей** – это пучок векторов, выполненный в определенном масштабном коэффициенте, лучи которого изображают вектора линейных скоростей характерных точек механизма, а отрезки, соединяющие их вершины, соответствуют векторам относительных скоростей.

Масштабный коэффициент плана скоростей, м/(с·мм)

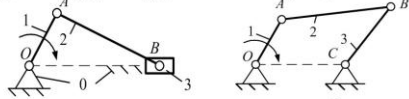
$$\mu_v = \frac{V_{AO}}{|pa|} \quad \text{где } |pa| \text{ – произвольный отрезок, мм.}$$

Из определения плана скоростей вытекают его свойства:

1. Отрезки плана скоростей, проходящие через полюс, изображают абсолютные скорости, их направление – всегда из полюса. В конце векторов абсолютных скоростей ставят малую букву, которой соответствует точка на схеме механизма.
2. Отрезки плана скоростей, не проходящие через полюс, обозначают относительные скорости. Их направление всегда получается к той букве плана скоростей, которая стоит первой в обозначении этой скорости.

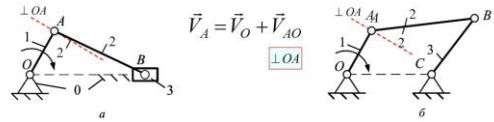
**Принципы образования векторных уравнений**

Первый случай движения. Две точки принадлежат одному звену и удалены друг от друга на некоторое расстояние.

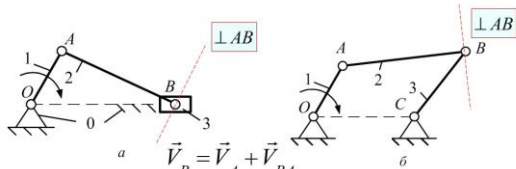


Вектор скорости точки A, принадлежащей кривошипу 1 (a, б), представляет собой геометрическую сумму вектора скорости точки O и вектора скорости относительно вращательного движения точки A вокруг неподвижной точки O, принадлежащей стойке 0:

$$\vec{V}_A = \vec{V}_O + \vec{V}_{AO}$$



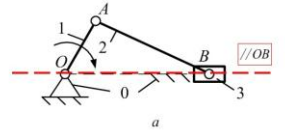
Из раздела «Кинематика» дисциплины «Теоретическая механика» известно, что линия действия вектора скорости точки, совершающей вращательные движения, является касательной к ее траектории, при этом из курса дисциплины «Геометрия» известно, что касательная к окружности одновременно является перпендикуляром к ее радиусу.



Вектор скорости точки B, принадлежащей шатунам 2 (a, б), представляет собой геометрическую сумму вектора скорости точки A и вектора скорости относительно вращательного движения точки B вокруг условно неподвижной точки A, принадлежащей этому же шатуну 2.

Точка B принадлежит и ползуну 3 (a).

$$\vec{V}_B = \vec{V}_{B_1} + \vec{V}_{BB_3}$$



Траекторией поступательного движения точки B относительно неподвижной точки B1 является прямая параллельная направляющей OB (a).

Следовательно, линия действия векторов скорости и нормального ускорения относительного движения точки B проходит параллельно направляющей OB.

После построения плана скоростей и определения значений скоростей всех характерных точек механизма переходят к определению значений и направлений действия угловых скоростей звеньев механизма.

Угловая скорость – это отношение скорости относительного движения соответствующего звена механизма к действительной длине этого звена.

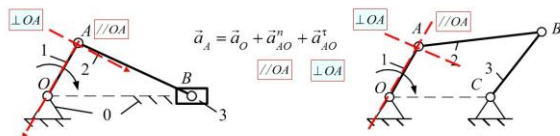
Угловая скорость звеньев механизмов, совершающих поступательные движения, равна нулю.

**План ускорений** – это пучок векторов, выполненный в определенном масштабном коэффициенте, лучи которого изображают вектора абсолютных ускорений характерных точек механизма, а отрезки, соединяющие их вершины, соответствуют векторам относительных ускорений.

Масштабный коэффициент: плана ускорений, м/с<sup>2</sup>·мм:

$$\mu_a = a_{AO}^n / |\pi a|,$$

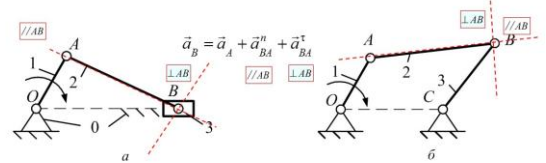
где |πa| – произвольные отрезки в миллиметрах.



Линия действия вектора нормального (центростремительного) ускорения параллельна оси кривошипа 1 и направлен этот вектор на схеме механизма от точки A к точке O (a, б).

Линия действия вектора тангенциального (касательного) ускорения является перпендикуляром к оси кривошипа 1 (a, б).

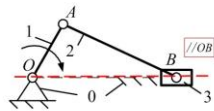
Значение тангенциального ускорения равно нулю, так как угловая скорость кривошипа 1 является постоянной величиной.



Линия действия вектора нормального (центростремительного) ускорения параллельна оси шатуна 2 и направлен этот вектор на схеме механизма от точки B к точке A (a, б).

Линия действия вектора тангенциального (касательного) ускорения является перпендикуляром к оси шатуна 2 (a, б).

Вектор ускорения точки B (a) является геометрической суммой вектора ускорения точки B1 и векторов нормального и тангенциального ускорений.



Следовательно, линия действия векторов скорости и нормального ускорения относительного движения точки B проходит параллельно направляющей OB.

Вектор тангенциального ускорения лежит на перпендикуляре к OB и является точечным, так как его значение равно нулю.

**Свойства плана ускорений:**

1. Отрезки плана ускорений, проходящие через полюс, изображают абсолютные ускорения, их направление всегда получается от полюса. В конце векторов абсолютных ускорений ставят малую букву, которой соответствует точка на схеме механизма.
2. Отрезки плана ускорений, соединяющие концы векторов абсолютных ускорений, обозначают полные относительные ускорения. Их направление всегда получается к той букве, которая стоит первой в обозначении ускорения.

|   |  |
|---|--|
| <p>После построения плана ускорений и определения значений ускорений всех характерных точек механизма переходят к определению значений и направлений действия угловых ускорений звеньев механизма.</p> <p>Угловое ускорение – это отношение тангенциального (касательного) ускорения звена механизма к действительной длине этого звена. Направление углового ускорения указывает вектор тангенциального ускорения.</p> <p>Угловое ускорение звеньев механизмов, совершающих поступательные движения, равно нулю.</p> |  |
|   |  |

### Тема 1.3. Динамика. Кинетостатический анализ механизмов (Лекция-презентация – 4 часа)

|  |  |
|--|--|
| <p>Цель и задачи динамического анализа</p> <p>Цель: изучить движение звеньев механизма с учётом действующих сил.</p> <div style="text-align: center;"> <p><b>ЗАДАЧИ</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%;">1. Силовой анализ</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%;">2. Динамика механизма</div> </div> </div>  | <p><b>СИЛОВОЙ АНАЛИЗ</b> – это вид исследования технических систем, изучающий процессы под действием силовых факторов, исходя из условий статики.</p> <p>Задачи силового анализа:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– определение значений и направлений действия уравновешивающей силы и уравновешивающего момента;</li> <li>– определение значений и направлений действия реакций связей кинематических пар.</li> </ul>   |
| <p>Силовые факторы, действующие на звенья механизмов и машин, можно разделить на три группы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– внутренние;</li> <li>– внешние;</li> <li>– теоретические.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>внутренние силы</i> – это силы взаимодействия между звеньями механизма (реакции в кинематических парах);</li> <li>- <i>внешние силы</i> – это силы взаимодействия звена механизма с какими-то телами или полями, не входящими в состав механизма;</li> </ul>  | <p>К внешним силовым факторам относятся:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>1. Движущие силы и моменты.</b><br/>Они приложены к ведущим звеньям механизма и совершают положительную работу за все время своего действия (или за один цикл, если изменяются периодически). Эти силы стремятся ускорить движение механизма.</li> <li><b>2. Силы и моменты сопротивления.</b><br/>Они стремятся замедлить движение механизма и совершают отрицательную работу за время своего действия (или за один цикл).</li> </ol>  |
| <p>Силовые факторы сопротивления можно разделить на силы полезного сопротивления и силы вредного сопротивления:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>силы полезного сопротивления</i> – это силы, для преодоления которых и создан механизм. Преодолевая силы полезного сопротивления, механизм создает полезную работу;</li> <li>- <i>силы вредного сопротивления</i> – это силы, на преодоление которых затрачивается мощность и эта мощность теряется безвозвратно. Обычно в качестве вредных сил сопротивления выступают силы трения, гидравлического и аэродинамического сопротивлений.</li> </ul> | <p><b>3. Сила тяжести (вес тела)</b> – это сила взаимодействия звеньев механизма с гравитационным полем земли. На отдельных участках движения механизма эта сила может совершать как положительную (если центр тяжести звена перемещается вниз), так и отрицательную работу (если центр тяжести перемещается вверх), но за полный цикл работа силы тяжести равна нулю.</p> $G_i = m_i \cdot q$ <p>где <math>q</math> – ускорение свободного падения; <math>q = 9,81 \text{ м/с}^2</math>;<br/> <math>G_i</math> – силы тяжести звеньев <math>i</math>-го звена, Н.</p> |

- теоретические или расчетные силовые факторы – это силы и моменты пар сил, которые не существуют в реальности, а используются в различных видах анализа технических систем с целью их упрощения.

К теоретическим силовым факторам относятся силы и моменты пар сил инерции.

$$F_{ni} = m_i \cdot a_{si},$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -го звена;  
 $a_{si}$  – ускорение центра масс  $i$ -го звена.

$$M_{ni} = J_{si} \cdot \varepsilon_i,$$

где  $J_{si}$  – момент инерции  $i$ -го звена;  
 $\varepsilon_i$  – угловое ускорение  $i$ -го звена.

### Методы силового анализа:

1) *статический* – это метод силового анализа технических систем, базирующийся на уравнениях статического равновесия;

2) *кинетостатический* – это метод силового анализа подвижных технических систем основанный на *принципе Даламбера*.

**Принцип Даламбера:** если к внешним силовым факторам, действующим на звенья технической системы, добавить силы и моменты пар сил инерции, то данная система будет находиться в равновесии и силовой анализ этой системы можно выполнять с использованием уравнений кинетостатического равновесия.

### Условие статической определимости плоских кинематических цепей

Кинематическая цепь называется статически определимой в том случае, если число уравнений равновесия, которое можно составить для данной цепи, равно числу неизвестных параметров, характеризующих реакции в кинематических парах.

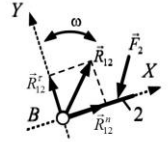
Известно, что сила реакции в кинематической паре определяется тремя параметрами: величиной; направлением; точкой приложения.

### Реакции в низших кинематических парах механизма:

- во вращательной паре, если не учитывать силы трения, равнодействующая сила реакции  $R_{12}$  проходит через центр шарнира, то есть точка приложения реакции известна. Величина и направление равнодействующей силы остаются неизвестными.

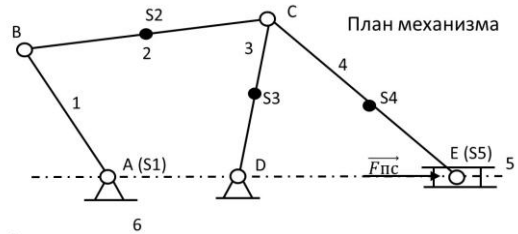
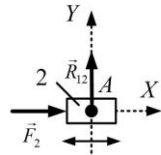
С целью определения неизвестных, раскладываем реакцию  $R_{12}$  на нормальную и тангенциальную составляющие.

Линия действия нормальной составляющей реакции параллельна, а тангенциальной составляющей реакции перпендикулярна к оси звена 2.



- в поступательной паре, если не учитывать силы трения, известно направление реакции (перпендикулярна к направлению относительного перемещения звеньев). Неизвестными остаются точка приложения и величина реакции.

Таким образом, при определении реакций в каждой из низших кинематических пар имеют дело с двумя неизвестными параметрами из трех, характеризующих любую силу.



### Порядок силового расчета механизма:

- разбирают механизм на группы Ассра, взяв в качестве начального то звено, на которое действует неизвестная внешняя сила;
- решение начинают с последней присоединенной группы и заканчивают начальным звеном.

**Группа Ассра 4-5**

Момент инерции  $M_{и4}$  направляем противоположно направлению углового ускорения  $\varepsilon_4$  звена 4

Вместо отброшенных звеньев прикладываем реакции в шарнирах С и Е

Силы тяжести прикладываем в центрах масс звеньев.

Силы инерции прикладываем в центрах масс  $S_4$  и  $S_5$  звеньев 4 и 5, направляя векторы этих сил противоположно векторам ускорений  $a_{s4}$  и  $a_{s5}$ .

Силу полезного сопротивления  $F_{п.с.}$  – противоположно направлению движения ползуна 5 (точка Е).

### Составляем векторное уравнение равновесия сил группы 4-5:

$$\sum F_{4,5} = 0;$$

$$F_{34}^n + F_{34}^t + G_4 + F_{и4} + G_5 + F_{и5} + F_{п.с.} + F_{65} = 0$$

**План сил**

$$F_{34}^n + F_{34}^t + G_4 + F_{и4} + G_5 + F_{и5} + F_{п.с.} + F_{65} = 0$$

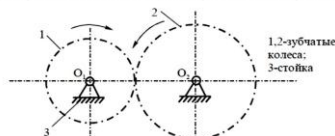

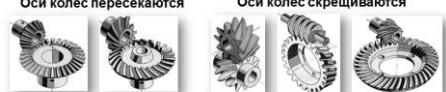
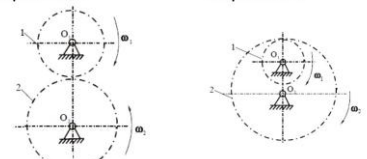
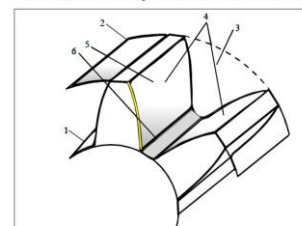
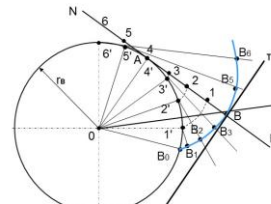
### Теорема И. Е. Жуковского

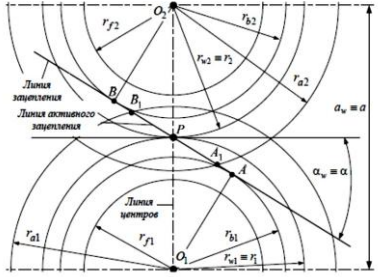

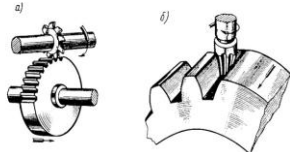
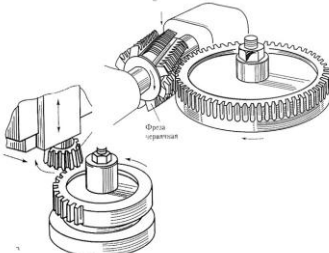
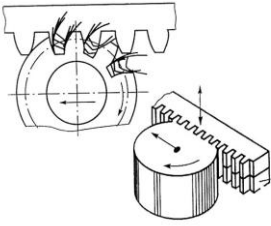
Использование данной теоремы для выполнения силового анализа плоских рычажных механизмов позволяет определить неизвестную внешнюю силу (уравновешивающую силу или момент).

**Формулировка теоремы:** если какой-либо механизм с подвижностью равной единице под действием системы сил  $F_1, F_2, \dots, F_n$ , приложенных к точкам  $D, F, \dots, G$ , находится в равновесии, то в равновесии находится и повернутый на 90 план скоростей, рассматриваемый как «жесткий рычаг», вращающийся вокруг полюса плана скоростей и нагруженный той же системой сил  $F_1, F_2, \dots, F_n$ , приложенных к одноименным точкам  $d, f, \dots, g$  этого плана.

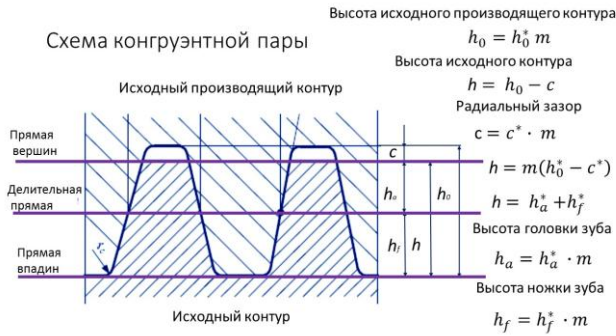
## Раздел 2. Механизмы с высшими кинематическими парами

### Тема 2.1. Зубчатые механизмы (Лекция-презентация – 2 часа)

|  |  |
|--|--|
| <p>Механизм с высшей кинематической парой – это механизм, структура которого содержит хотя бы одну высшую кинематическую пару.</p> <p>К типовым механизмам данного вида относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>механизмы фрикционные;</li> <li>механизмы с гибкими звеньями;</li> <li>механизмы мальтийские;</li> <li>механизмы зубчатые;</li> <li>механизмы цепочные;</li> <li>механизмы кулачковые.</li> </ul>  | <p>Зубчатыми механизмами называются механизмы, передающие вращательное движение от одного вала к другому посредством сопряженных зубчатых колёс.</p> <p>Они предназначены для получения большей или меньшей угловой скорости вращения сравнительно с имеющейся.</p> <p>Механизмы, понижающие угловую скорость, называются <b>редукторами</b>, а повышающие – <b>мультипликаторами</b>.</p>  <p>1,2-зубчатые колеса;<br/>3-стойка</p> <p>Меньшее зубчатое колесо называется <b>шестерней</b>.</p>  |
| <p>Зубчатые передачи по геометрическому признаку делятся на</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Плоские</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>В плоских зубчатых передачах оси вращения параллельны, и звенья вращаются в параллельных плоскостях.</li> <li>К плоским передачам с параллельными осями относится <b>цилиндрическая зубчатая передача</b></li> </ul> </li> <li><b>Пространственные</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>В пространственных зубчатых передачах оси вращения пересекаются или скрещиваются.</li> <li>К пространственным с пересекающимися осями – <b>коническая зубчатая передача</b>.</li> <li>В случае, когда оси валов перекрещиваются, зубчатые колёса образуют <b>гипоидную зубчатую передачу</b>.</li> </ul> </li> </ul>              | <p><b>Оси колес параллельны</b></p>  <p>Цилиндрические<br/>Прямозубыми колесами    Косозубыми колесами    Внутреннее зацепление    Реечная</p> <p><b>Оси колес пересекаются</b>      <b>Оси колес скрещиваются</b></p>  <p>Конические      Винтовая      Червячная      Гипоидная<br/>Прямозубыми колесами    Косозубыми колесами</p>   |
| <p>Зубчатые передачи имеют следующие основные <b>достоинства</b>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>могут передавать большие мощности;</li> <li>обладают высоким коэффициентом полезного действия (0,99...0,995 для одной пары зубчатых колёс);</li> <li>долговечны и надёжны в работе;</li> <li>компактны.</li> </ul> <p><b>Недостатки</b> зубчатых механизмов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>для изготовления зубчатых колёс требуются специальное оборудование и инструмент;</li> <li>при неточном изготовлении и сборке зубчатая передача является источником шума и вибрации;</li> <li>зубчатые передачи не предохраняют детали машин от перегрузок (как ремённые и фрикционные передачи), поэтому необходимо предусматривать предохранительные муфты.</li> </ul> | <p><b>Передача с внешним зацеплением</b>      <b>Передача с внутренним зацеплением</b></p>  $i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad \text{и} \quad i_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$ $i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{и} \quad i_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1}$ <p>В передачах с внешним зацеплением передаточное отношение может быть отрицательным (<math>i_{12} &lt; 0</math>), так как колёса 1 и 2 вращаются в разные стороны.</p> <p>В передачах с внутренним зацеплением колёса 1 и 2 вращаются в одну и ту же сторону, передаточное отношение всегда положительное (<math>i_{12} &gt; 0</math>).</p>                                  |
| <p><b>Элементы зубчатого колеса</b></p>   | <p><b>Построение эвольвенты по точкам</b></p>  <p>В теории зацепления окружность, эвольвентой которой является профиль зуба, называется основной окружностью.</p>  |
| <p><b>Основные свойства эвольвенты:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>нормаль N-N, проведённая к эвольвенте в любой её точке (например, в точке В, обязательно будет касательной к основной окружности;</li> <li>центр кривизны лежит в точке касания нормали с основной окружностью (например, в точке А);</li> <li>расстояние между точкой эвольвенты и центром кривизны (например, отрезок АВ) является радиусом кривизны эвольвенты в соответствующей точке;</li> <li>каждая ветвь эвольвенты определяется радиусом основной окружности <math>r_b</math>;</li> <li>эвольвента не имеет точек внутри основной окружности.</li> </ol>   | <p><b>Эвольвентное зацепление и его свойства</b></p> <p>Эвольвентное зацепление было предложено в 1754 году знаменитым математиком и механиком, академиком Петербургской академии наук Леонардом Эйлером (1707-1783).</p> <p>Контактирующие профили зубьев колес, выполненные по эвольвентам окружностей, образуют эвольвентное зацепление.</p> <p>Основными геометрическими параметрами эвольвентного зубчатого зацепления являются межосевое расстояние и угол зацепления.</p> <p>Профили зубьев, образующих эвольвентное зацепление, контактируя друг с другом, образуют угол, который называется углом зацепления.</p> $a_w = \frac{d_{w1} + d_{w2}}{2}$ $a = \frac{d_1 + d_2}{2}$ $\text{inv}(\alpha_w) = \frac{2 \cdot x_2 \cdot \text{tg}(\alpha)}{z_1 + z_2} + \text{inv}(\alpha)$ |

|   |   |
|---|---|
| <p>Геометрические параметры эвольвентного зубчатого зацепления</p>   | <p>Геометрические параметры эвольвентного зубчатого колеса</p> <p>К основным геометрическим параметрам эвольвентного зубчатого колеса относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Модуль <math>m</math> – это число миллиметров диаметра делительной окружности зубчатого колеса, приходящееся на один зуб;</li> <li>• Окружной шаг, или шаг <math>p</math> – это расстояние по дуге делительной окружности между одноименными точками профилей соседних зубьев;</li> <li>• Угол профиля <math>\alpha</math> – это острый угол между касательной <math>t-t</math> к профилю зуба в точке, лежащей на делительной окружности зубчатого колеса и радиус-вектором, проведенным в данную точку из его геометрического центра;</li> <li>• число зубьев <math>z</math>;</li> <li>• коэффициент относительного смещения <math>x</math>.</li> </ul> |
| <p>Геометрические параметры эвольвентного зубчатого колеса</p>  <p>Га- радиус вершин зубьев; Гв- радиус впадин зубьев; Га- радиус начальной окружности; Г- радиус делительной окружности</p>   | <p>Делительная окружность – это теоретическая окружность зубчатого колеса, на которой модуль и шаг принимают стандартные значения.</p> <p>Окружность вершин – это теоретическая окружность зубчатого колеса, соединяющая вершины его зубьев.</p> <p>Окружность впадин – это теоретическая окружность зубчатого колеса, соединяющая все его впадины.</p> <p>Начальная окружность – это теоретическая окружность зубчатого колеса, принадлежащая его начальной поверхности.</p>   |
| <p>Метод копирования</p> <p><b>Варианты метода:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Нарезание зубчатого колеса профилированной дисковой или пальцевой фрезой;</li> <li>• Отливка зубчатого колеса в форму;</li> </ul> <p><b>Сущность метода:</b></p> <p>Процесс формирования профилей зубьев колеса сопровождается последовательной обработкой впадин, что свидетельствует о малой точности и низкой производительности данного метода</p>   | <p>Нарезание зубчатого колеса профилированной дисковой или пальцевой фрезой</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Данный способ обладает низкой производительностью, невысокими точностью и качеством обрабатываемых поверхностей.</li> </ul>  |
| <p>Метод огибания</p> <p><b>Сущность метода:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Известно, что сопряженные профили зубчатых колес являются взаимноогibaющими кривыми.</li> <li>• Режущий инструмент и заготовка выполняют определенные движения, которые имитируют зубчатое зацепление.</li> </ul> <p><b>Варианты метода:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Обработка зубчатых колес на зубофрезерных или зубодолбежных станках;</li> <li>• Накатка зубьев;</li> <li>• Обработка зубчатых колес на зубошлифовальных станках.</li> </ul> | <p>Обработка зубчатых колес на зубофрезерных или зубодолбежных станках.</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Метод обладает достаточно высокой производительностью, точностью изготовления, чистотой обработки поверхностей зубчатых колес средняя.</li> <li>• Возможно изготовление колес из нетвердых материалов.</li> </ul>   |
| <p>Накатка зубьев</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Метод обеспечивает высокую производительность и хорошую чистоту обработки поверхностей.</li> <li>• Применяется для изготовления колес из пластичных материалов на этапах черновой обработки.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Для сокращения номенклатуры режущего инструмента ГОСТ устанавливает нормативный ряд модулей, определяющих соотношения между параметрами элементов зуба, которые определяются:</li> <li>• для зубчатых колес геометрическими параметрами <b>исходного контура</b>, а для режущего инструмента геометрическими параметрами <b>исходного производящего контура</b>.</li> <li>• Исходный контур и исходный производящий контур образуют между собой конгруэнтную пару, т. е. один контур заполняет другой контур без зазора.</li> </ul>  |

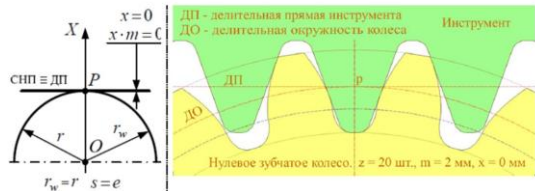
### Схема конгруэнтной пары



Согласно ГОСТ 13755-81, при угле профиля  $\alpha = 20^\circ$  и величине коэффициента относительного смещения  $x = 0$ :

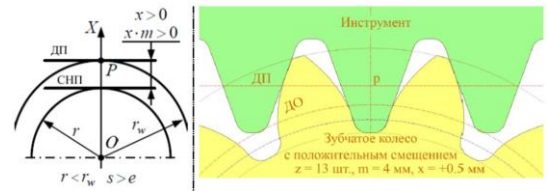
| Значения коэффициентов и параметров исходного производящего контура |                       |
|---|-----------------------|
| коэффициент высоты исходного производящего контура                  | $h_0^* = 2,5$         |
| коэффициент радиального зазора                                      | $c^* = 0,25$          |
| коэффициент высоты исходного контура                                | $h^* = 2,25$          |
| коэффициент высоты головки зуба                                     | $h_a^* = 1$           |
| коэффициент высоты ножки зуба                                       | $h_f^* = 1,25$        |
| радиус сопряжения   | $r_c = 0,384 \cdot m$ |

### Колеса без смещения



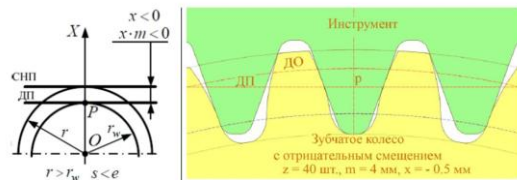
• Расстояние  $x \cdot m$  между делительной окружностью нарезаемого колеса и делительной прямой производящего контура называется **смещением производящего контура**, а отношение смещения к модулю - **коэффициентом смещения  $x$** . Коэффициент  $x$  - величина безразмерная, но имеет знак.

### Колесо с положительным смещением



Положительным считается смещение от оси заготовки.

### Колесо с отрицательным смещением



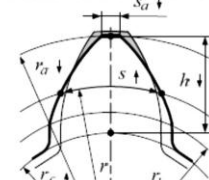
Отрицательным считается смещение в сторону оси заготовки.

### ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

- Сущность явления интерференции заключается в следующем: теоретическая часть пространства зацепления оказывается одновременно занята профилями контактирующих зубьев колес, составляющих эвольвентное зацепление.
- Интерференция профилей приводит к заклиниванию зубьев одного колеса во впадинах другого.

При нарезании эвольвентных зубчатых колес с числами зубьев меньше 17 имеет место интерференция части профиля зуба колеса и профилей зубьев режущего инструмента. В этом случае режущие кромки инструмента срезают часть формообразующей кривой профилей зубьев колеса.

### Изменение параметров зубьев колес со смещением



При **положительных значениях коэффициента относительного смещения** имеет место интерференция профилей зубьев режущего инструмента и части эвольвентного профиля, принадлежащего головке зуба колеса, что приводит к срезу этой части профиля.

В этом случае имеет место **заострение** зуба колеса.

Зуб зубчатого колеса считается незаостренным, а зубчатый механизм - сохраняющим работоспособность при выполнении следующего условия:

$$s_a \geq [s_a]$$

где  $[s_a]$  - допускаемое значение толщины зуба по окружности вершин

$$[s_a] = 0,4m$$

### Изменение параметров зубьев колес со смещением

При **отрицательных значениях коэффициента относительного смещения**, имеет место интерференция профилей зубьев режущего инструмента и части эвольвентного профиля, принадлежащего ножке зуба колеса, что приводит к срезу этой части профиля.

В этом случае имеет место **подрезание** части профиля зуба колеса в его основании.

Минимальное значение коэффициента относительного смещения, при котором обеспечивается отсутствие подреза ножек и заострение головок зубьев зубчатых колес:

$$x_{min} = \frac{17 - z}{17}$$

### КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗУБЧАТЫХ МЕХАНИЗМОВ

- коэффициент перекрытия;
- коэффициент скольжения;
- коэффициент удельного давления;
- коэффициент формы зуба.

Качественные показатели дают возможность оценить передачу в отношении плавности, бесшумности, износа и прочности.

### Коэффициент перекрытия

Коэффициент перекрытия характеризует непрерывность, плавность передачи.

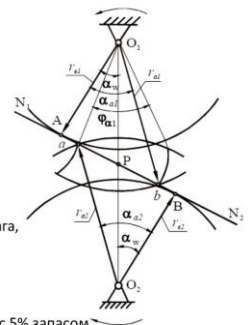
$$\epsilon_\alpha = \frac{\varphi_\alpha}{\tau}$$

Если  $\epsilon_\alpha < 1$

т.е. угол торцевого перекрытия меньше углового шага, непрерывности зацепления не будет.

$$\epsilon_\alpha = 1,5$$

Минимальное допустимое значение, которое обеспечивает непрерывность процесса зацепления с 5% запасом.





### Коэффициент скольжения

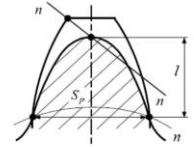
• Коэффициент удельного скольжения используется при геометрических расчетах зубчатых механизмов для оценки скольжения:

$$\lambda = \frac{V_c}{V_c^t}$$

• Относительное скольжение активных частей профилей зубьев, в значительной степени оказывает влияние на величину их износа.

### Коэффициент формы зуба

$$\gamma = \frac{S_p^2}{6 \cdot m \cdot l}$$



Коэффициент формы зуба  $\gamma$  используется для оценки влияния геометрии зуба на его изгибную прочность

### Коэффициент удельного давления

$$\vartheta = \frac{m}{\rho_{\pi}}$$

• где  $\rho_{\pi}$  – приведенный радиус кривизны контактирующих эвольвент, мм:

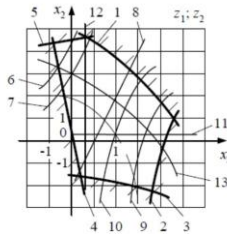
Значения коэффициента удельного давления зависят от вида зацепления и места контакта профилей зубьев колес.

### Выбор коэффициентов смещения

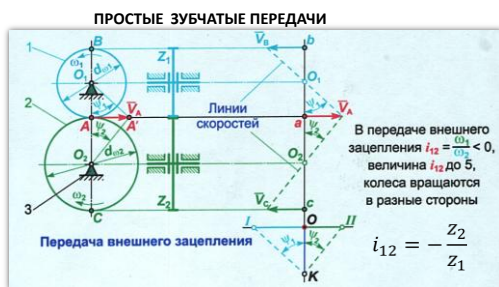
- Процесс определения геометрических параметров эвольвентных зубчатых колес с учетом значений коэффициентов относительного смещения называется **корригированием** зубчатых колес.
- **Блокирующий контур** – это область сочетания коэффициентов относительного смещения пары зубчатых колес, удовлетворяющих ограничениям по подрезу и заострению профилей зубьев, обеспечивающая оптимальное сочетание качественных показателей.
- Каждый блокирующий контур строится под конкретное сочетание чисел зубьев зубчатых колес с учетом требуемого сочетания качественных показателей. Все блокирующие контура стандартизованы и выбираются по справочной литературе.

### Блокирующий контур

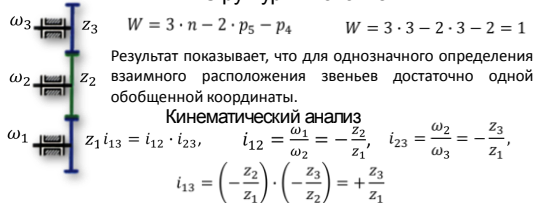
- Границы блокирующего контура отсекают те значения коэффициентов относительного смещения, которые не удовлетворяют заданным условиям.
- Значения, коэффициентов смещения, расположенные внутри блокирующего контура, являются допустимыми, и каждой паре коэффициентов смещения соответствует определенное сочетание качественных показателей.



## Тема 2.2. Сложные зубчатые механизмы (Лекция-презентация – 5 часов)

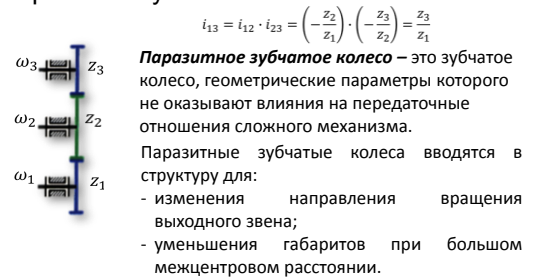


### Сложные однорядные зубчатые механизмы



Рядовой зубчатый механизм характеризуется тем, что на каждую из осей посажено по одному колесу.

### Паразитное зубчатое колесо



### Сложные многоярдные зубчатые механизмы

Сложные зубчатые механизмы образуются последовательным и (или) параллельным соединением простых типовых зубчатых механизмов

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{z_2'}{z_1}, \quad \omega_2 = \frac{\omega_1}{i_{12}}$$

$$i_{23} = \frac{\omega_2}{\omega_3} = -\frac{z_3'}{z_2}, \quad \omega_3 = \frac{\omega_2}{i_{23}} = \frac{\omega_1}{i_{23} \cdot i_{12}}$$

$$i_{34} = \frac{\omega_3}{\omega_4} = -\frac{z_4'}{z_3}, \quad \omega_4 = \frac{\omega_3}{i_{34}} = \frac{\omega_1}{i_{34} \cdot i_{23} \cdot i_{12}}$$

$$i_{n1} = \frac{\omega_n}{\omega_1} = i_{12} \cdot i_{23} \cdot i_{34} \dots i_{n-1,n} = -\frac{z_2' \cdot z_3' \cdot z_4' \dots z_{n-1}'}{z_1 \cdot z_2 \cdot z_3 \dots z_n}$$

### Планетарные (или сателлитные) зубчатые механизмы

**Планетарными зубчатыми механизмами** называются такие механизмы, у которых ось хотя бы одного зубчатого колеса является подвижной, то есть перемещается в пространстве.

**Солнечное колесо 1** – это зубчатое колесо с внешними зубьями, расположенное в центре планетарного механизма.  
**Сателлит 2** – это зубчатое колесо планетарного механизма, геометрическая ось вращения которого является подвижной.  
**Корона (эпицикл) 3** – это зубчатое колесо планетарного механизма с внутренними зубьями.  
**Водило 4** – это подвижное звено планетарного механизма, на котором установлены сателлиты.

### Планетарные механизмы

Степень подвижности механизма:  $W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 - 2 = 1$

$$\frac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_2 - \omega_H} = -\frac{z_2}{z_1}, \quad \frac{\omega_2 - \omega_H}{\omega_3 - \omega_H} = \frac{z_3}{z_2}$$

### Кинематический анализ. Метод обращенного движения

Для обращенного механизма передаточное отношение будет равно произведению передаточных отношений отдельных ступеней:

$$i_{13}^H = \left(-\frac{z_2}{z_1}\right) \cdot \left(\frac{z_3}{z_2}\right) = -\frac{z_3}{z_1}$$

то же передаточное отношение есть отношение угловых скоростей в обращенном движении:

$$i_{13}^H = \frac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_3 - \omega_H}$$

Принимая во внимание, что  $\omega_3 = 0$ , найдем из выражения передаточное отношение планетарного редуктора

$$i_{13}^H = 1 - i_{13}^H$$

Формула является общей формулой для всех типов планетарных редукторов, у которых колесо 3 является неподвижным и движение передается от колеса 1 к водилу H. Эта формула носит название **формулы Виллиса**.

### Типовые планетарные механизмы

**Механизм типа AJ (редуктор Джемса)**

$i_{1H} = 2,3 \dots 9$   
 $\eta = 0,96 \dots 0,98$   
 $i_{1H} = 1 - i_{13}^H = 1 - \left(-\frac{z_2}{z_1}\right) \cdot \left(\frac{z_3}{z_2}\right) = 1 + \frac{z_3}{z_1}$

**Механизм типа AJ**

$i_{1H} = 2 \dots 15$   
 $\eta = 0,85 \dots 0,92$   
 $i_{1H} = 1 - i_{14}^H = 1 - \left(-\frac{z_2}{z_1}\right) \cdot \left(\frac{z_4}{z_3}\right) = 1 + \frac{z_2 \cdot z_4}{z_1 \cdot z_3}$

### Типовые планетарные механизмы

**Схема планетарного механизма типа AA (редуктор Давида)**

$i_{1H} = \frac{1}{25} \cdot \frac{1}{150}$   
 $\eta = 0,9 \dots 0,3$   
 $i_{1H} = 1 - i_{14}^H = 1 - \left(-\frac{z_2}{z_1}\right) \cdot \left(-\frac{z_4}{z_3}\right) = 1 - \frac{z_2 \cdot z_4}{z_1 \cdot z_3}$

**Схема планетарного механизма типа JJ**

$i_{1H} = 1 - i_{14}^H = 1 - \left(-\frac{z_2}{z_1}\right) \cdot \left(\frac{z_4}{z_3}\right) = 1 - \frac{z_2 \cdot z_4}{z_1 \cdot z_3}$

### Интервалы передаточных отношений планетарных передач при различных неподвижных звеньях

| Передаточные отношения | Тип AJ        | Тип AJ      | Тип AA                | Тип JJ                |
|------------------------|---------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
| $i_{1H}^3$             | 2,3...9,0     | 2,0...15    | От 32 до 1500 и более | От 32 до 1500 и более |
| $i_{H1}^3$             | 0,445...0,111 | 0,5...0,067 |                       |                       |
| $i_{1H}^1$             | 1,77...1,125  | 20...1,071  |                       |                       |
| $i_{H3}^1$             | 0,565         | 0,5...0,933 |                       |                       |

Передаточное отношение ступеней:

$$i_{1,2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{42}{21} = 2;$$

$$i_{3,H}^1 = 1 - i_{35}^H = 1 - \left(-\frac{z_4}{z_5}\right) \cdot \left(\frac{z_6}{z_5}\right) = 1 - \left(-\frac{25}{16}\right) \cdot \left(\frac{64}{25}\right) = 5,35;$$

$$i_{7,8} = \frac{z_8}{z_7} = \frac{20}{18} = 1,1;$$

$$i_{9,11} = \frac{z_{11}}{z_9} = \frac{36}{24} = 1,5;$$

$$i_{12,13} = \frac{z_{13}}{k_{12}} = \frac{27}{3} = 9;$$

Общее передаточное отношение:

$$i_{1,13} = i_{1,2} \cdot i_{3,H}^1 \cdot i_{7,8} \cdot i_{9,11} \cdot i_{12,13} = 2 \cdot 5,35 \cdot 1,1 \cdot 1,5 \cdot 9 = 158,9$$

| Дано     |    |
|----------|----|
| $z_1$    | 21 |
| $z_2$    | 42 |
| $z_3$    | 16 |
| $z_4$    | 25 |
| $z_5$    | 23 |
| $z_6$    | 64 |
| $z_7$    | 18 |
| $z_8$    | 20 |
| $z_9$    | 24 |
| $z_{10}$ | 26 |
| $z_{11}$ | 36 |
| $k_{12}$ | 3  |
| $z_{13}$ | 27 |

## 4.3. Лабораторные работы

| № п/п        | Номер раздела дисциплины | Наименование лабораторной работы                               | Объем (час.) | Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.) |
|--------------|--------------------------|--|--------------|---|
| 1            | 1.                       | Структурный анализ рычажных механизмов                         | 8            | -   |
| 2            | 2.                       | Вычерчивание зубьев эвольвентного профиля методом обкатки      | 8            | -   |
| 3            | 2.                       | Определение основных геометрических размеров зубчатой передачи | 5            | -   |
| 4            | 2.                       | Определение основных параметров зубчатого колеса               | 5            | -   |
| 5            | 2.                       | Кинематический анализ зубчатых механизмов                      | 8            | -   |
| <b>ИТОГО</b> |                          |  | <b>34</b>    | <b>-</b>  |

#### 4.4. Практические занятия

| <i>№ п/п</i> | <i>Номер раздела дисциплины</i> | <i>Наименование практических занятий</i>  | <i>Объем (час.)</i> | <i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i> |
|--------------|---------------------------------|---|---------------------|--|
| 1            | 1.                              | Структурный анализ механизмов: кривошипно-ползунного; шарнирного; кулисного; качающегося транспортера.              | 4                   | -  |
| 2            | 1.                              | Кинематический анализ плоского рычажного механизма.   | 6                   | -  |
| 3            | 1.                              | Силовой анализ плоских рычажных механизмов: кривошипно-ползунного; шарнирного; кулисного; качающегося транспортера. | 7                   | -  |
| <b>ИТОГО</b> |                                 |   | <b>17</b>           | <b>-</b>   |

#### 4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект

Цель: закрепить и углубить знания студентов по основным разделам курса, содействовать развитию навыков комплексного исследования и проектирования механизмов и машин, а также научить пользоваться соответствующей научно-технической литературой.

Основная тематика: анализ и синтез рычажных и зубчатых механизмов.

Задания:

№ 1 «Механизм грохота» - 10 вариантов;

№ 2 «Щековая дробилка» - 10 вариантов;

№ 3 «Механическая ножовка» - 10 вариантов;

Рекомендуемый объем: расчетно-пояснительная записка (35...40 листов) и графическая часть. Графическая часть состоит из двух листов формата А1. Расчетно-пояснительную записку выполняют на листах формата А4.

Лист 1: Кинематический и кинетостатический (силовой) анализ плоского рычажного механизма.

Лист 2: Анализ и синтез механизмов с высшими кинематическими парами.

Выдача задания, прием курсовых проектов (КП) проводится в соответствии с календарным учебным графиком.

| <b>Оценка</b>       | <b>Критерии оценки курсового проекта</b>   |
|---------------------|--|
| отлично             | Курсовой проект выполнен в полном объеме в установленный срок и на высоком уровне. При написании проекта продемонстрировано умение правильно применять методы исследования, способность осуществлять необходимые расчеты и грамотное изложение их в отчетной документации; Графическое оформление проекта выполнено на высоком качественном уровне с соблюдением всех требований ЕСКД, СТО 4.2-07-2008 (ГОСТ 2.703-68 «Правила выполнения кинематических схем»). При защите студент успешно отвечает более чем на 80% заданных вопросов. |
| хорошо              | Студент выполнил курсовой проект с незначительными замечаниями, с несущественными погрешностями в качестве графического исполнения. При защите студент успешно отвечает более чем на 60% заданных вопросов.  |
| удовлетворительно   | Студент допускал просчеты и ошибки в работе. Выполнение графической части проекта на минимально допустимом по качеству уровне. При защите студент успешно отвечает более чем на 50% заданных вопросов  |
| неудовлетворительно | Студент не выполнил курсовой проект, либо выполнил с грубыми нарушениями требований.   |

**5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

| <i>Компетенции</i><br><br><i>№, наименование<br/>разделов дисциплины</i> | <i>Кол-во<br/>часов</i> | <i>Компетенции</i> |           | <i>Σ<br/>комп.</i> | <i>тср, час</i> | <i>Вид<br/>учебных<br/>занятий</i> | <i>Оценка<br/>результатов</i> |
|--|-------------------------|--------------------|-----------|--------------------|-----------------|------------------------------------|-------------------------------|
|  |                         | <i>ОК</i>          | <i>ПК</i> |                    |                 |                                    |                               |
|  |                         | <i>5</i>           | <i>25</i> |                    |                 |                                    |                               |
| <b>1.</b> Механизмы с низшими кинематическими парами                     | <b>74</b>               | +                  | +         | <b>2</b>           | <b>37</b>       | Лк, ПЗ,<br>ЛР, СР                  | Экзамен, КП                   |
| <b>2.</b> Механизмы с высшими кинематическими парами                     | <b>70</b>               | +                  | +         | <b>2</b>           | <b>35</b>       | Лк, ЛР, СР                         | Экзамен, КП                   |
| <i>всего часов</i>   | <b>144</b>              | <b>72</b>          | <b>72</b> | <b>2</b>           | <b>72</b>       |                                    |                               |

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Шипилов В.В. Синтез эвольвентного зацепления: методические указания к курсовому проекту / А.Б. Исько. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2008. – 48 с.

2. Ермаков А.И. Теория машин и механизмов: Лабораторный практикум. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013. 71 с.

3. Теория механизмов и машин. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : электрон.учеб. пособие / П. Н. Сильченко, М. А. Мерко, М. В. Меснянкин и др. – Электрон. дан. (3 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2008.

<http://ecat.brstu.ru/catalog/Ресурсы%20свободного%20доступа/Теория%20механизмов%20и%20машин.Учеб.пособие.2008.pdf>

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

| № п/п                            | Наименование издания  | Вид занятия | Кол-во экз. в библи., шт. | Обеспеченность, (экз./ чел.) |
|----------------------------------|---|-------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>Основная литература</b>       |   |             |                           |                              |
| 1.                               | Теория механизмов и машин: учебное пособие / М. З. Коловский, А. Н. Евграфов [и др.]. - 3-е изд., испр. - М. : Академия, 2008. - 560 с.   | Лк, ПЗ, ЛР  | 45                        | 1                            |
| 2.                               | Попов С. А., Курсовое проектирование по теории механизмов и механике машин : учеб. пособие для вузов / Г. А. Тимофеев ; Под ред. К. В. Фролова. - 6-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 2008. - 458 с.   | КП, СР      | 300                       | 1                            |
| <b>Дополнительная литература</b> |   |             |                           |                              |
| 3.                               | Чмиль, В. П. Теория механизмов и машин : учебно-методическое пособие / В. П. Чмиль. - Санкт-Петербург : Лань, 2012. - 288 с.<br><a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=3183">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=3183</a>   | КП, СР      | ЭР                        | 1                            |
| 4.                               | Теория механизмов и механика машин: учебник для вузов / К. В. Фролов, С. А. Попов, А. К. Мусатов и др. - 5-е изд., стереотип. - М. : МГТУ, 2004. - 664 с.   | Лк, СР      | 8                         | 0,5                          |
| 5.                               | Белоконев, И. М. Теория механизмов и машин. Конспект лекций : учеб. пособие для вузов / И. М. Белоконев, С. А. Балан, К. И. Белоконев. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Дрофа, 2004. - 172 с.  | Лк, СР      | 5                         | 0,25                         |
| 6.                               | Иванков, Р. П. Теория механизмов и машин: учеб. пособие для вузов / Р. П. Иванков. - М. : МГУИТ, 2001. - 192 с.   | КП, СР      | 15                        | 0,7                          |
| 7.                               | Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. М.- Наука, 1988. - 639с   | Лк, СР      | 253                       | 1                            |
| 8.                               | Левитская О.Н. Курс теории механизмов и машин./- М.: Высшая школа, 1985.  | Лк, КП, СР  | 37                        | 1                            |
| 9.                               | Кожевников С.Н. Теория механизмов и машин./- М.: Машиностроение1969. - 584с.: ил.   | Лк, КП, СР  | 12                        | 0,6                          |
| 10.                              | Артоболевский И.И. Сборник задач по теории механизмов и машин / Эдельштейн В.В. М.: Наука, 1973. - 256с.: ил.   | Лк, СР      | 8                         | 0,4                          |
| 11.                              | Тимофеев, Г. А. Теория механизмов и машин : курс лекций / Г. А. Тимофеев. - М.: ИД Юрайт, 2010. - 351 с. - [Электронный ресурс]. URL: <a href="http://shador.ru/Timofeev.pdf">http://shador.ru/Timofeev.pdf</a>   | Лк, СР      | ЭР                        | 1                            |
| 12.                              | Теория механизмов и машин. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : электрон.учеб. пособие / П. Н. Сильченко, М. А. Мерко, М. В. Меснянкин и др. – Электрон. дан. (3 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2008.<br><a href="http://ecat.brstu.ru/catalog/Ресурсы%20свободного%20доступа/Теория%20механизмов%20и%20машин.Учеб.пособие.2008.pdf">http://ecat.brstu.ru/catalog/Ресурсы%20свободного%20доступа/Теория%20механизмов%20и%20машин.Учеб.пособие.2008.pdf</a> | Лк, ПЗ, СР  | ЭР                        | 1                            |
| 13.                              | Шипилов В.В. Синтез эвольвентного зацепления: методические указания к курсовому проекту / А.Б. Исько. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2008. – 48 с.   | КП, СР      | 150                       | 1                            |
| 14.                              | Ермаков А.И. Теория машин и механизмов: Лабораторный практикум./ – Братск: Изд-во БрГУ, 2013. 71 с.   | ПЗ, СР      | 186                       | 1                            |

## 8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ [http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r\\_15/cgiirbis\\_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=](http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=).
2. Электронная библиотека БрГУ <http://ecat.brstu.ru/catalog>.
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» <http://biblioclub.ru>.
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань» <http://e.lanbook.com>.
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" <http://window.edu.ru>.
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru>.
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ) <https://uisrussia.msu.ru/>.
8. Национальная электронная библиотека НЭБ <http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/>.

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Выполненные лабораторных и практических работ оформляется в виде отчета на листах белой бумаги форматом А4 и включает следующие разделы: титульный лист, задание, решение требуемых заданий и пояснения к ним, содержащие необходимые уравнения, выводы соответствующих зависимостей, теоремы и расчеты, сопровождаемые требуемыми графическими иллюстрациями, рисунками и чертежами. В конце отчета лабораторной/практической работы приводится список литературных источников, использованных студентом при ее выполнении, в том числе дается библиография методических указаний и пособий. При написании текста отчета используются чернила синего или черного цвета, при оформлении графического материала – простые карандаши и чертежные принадлежности. Использование цветных карандашей и фломастеров не допускается. Оформление, как тестовой части отчета, так и требуемых графических построений выполняется в соответствии с требованиями ЕСКД и СТО 4.2-07-2008. При оформлении отчетов лабораторных/практических работ допускается полное или частичное использование ПЭВМ. Использование ПЭВМ не является основанием для нарушения или несоблюдения требований и положений ЕСКД и СТО 4.2-07-2008.

Отчеты лабораторных/практических работ, оформленные небрежно и без соблюдения предъявляемых к ним требований, не рассматриваются и не засчитываются. Отчеты лабораторных работ, оформленные не в соответствии с требованиями ЕСКД и СТО 4.2-07-2008, не проверяются и возвращаются студенту для переоформления. Выполненные и соответственно оформленные отчеты лабораторных работ должны быть представлены преподавателю для проверки. Проверка правильности выполнения лабораторных/практических работ и оформления отчета осуществляется в течение семестра на аудиторных занятиях или консультациях, проводимых в соответствии с расписанием работы преподавателя. Проверенные отчеты лабораторных работ и допущенные преподавателем к защите студент обязан самостоятельно защитить до момента сдачи итогового контроля, т. е. экзамена. Срок защит лабораторных работ оканчивается по завершении зачетной недели или с началом сессии. Без защит лабораторных работ студент к сдаче экзамена не допускается.

### 9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ и практических работ

#### Лабораторная работа №1

#### Структурный анализ рычажных механизмов

Цель работы: определить подвижность заданной кинематической схемы механизмов, и, из каких структурных групп она состоит, а также определить класс, порядок и вид структурных групп механизмов.

Задание: Задание выдается каждому студенту индивидуально согласно варианту.

Порядок выполнения:

1. Определяется степень подвижности механизма по формуле Чебышева.
2. Если не задано начальное (начальные) звено, то в зависимости от степени подвижности назначается начальное (начальные) звено, которое (которые) образует со стойкой механизма I класса.

3. Производится отделение групп Ассура от механизма. Отделение групп Ассура ведется до тех пор, пока не останется механизм (механизмы) 1 класса. По каждой отделенной от механизма группе Ассура проводится ее анализ по видовому и количественному составу звеньев и кинематических пар. (см. отличительные свойства групп Ассура).

4. Определяется класс механизма.

Форма отчетности:

Выполненная лабораторная работа оформляется в виде отчета. В отчете приводится: схема механизма с определением его подвижности; структурные группы Ассура с определением их подвижности, класса, вида и порядка; определяется класс механизма.

Задания для самостоятельной работы:

1. В ходе подготовки к лабораторной работе необходимо ознакомиться с основными теоретическими положениями структурного анализа [2] (С.6-10);

2. Из теоретической части необходимо усвоить и суметь определить класс, модификацию и порядок группы и отличить их от случайных кинематических цепей[2] (С.10-15);

3. На приведенных примерах проследить ход решения задачи, при углубленном изучении вопроса необходимо обратиться к рекомендуемой литературе. При этом учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы[2] (С.16-21).

Основная литература

1. Теория механизмов и машин : учебное пособие / М. З. Коловский, А. Н. Евграфов [и др.]. - 3-е изд., испр. - М. : Академия, 2006. - 560 с.

Дополнительная литература

2. Ермаков А.И. Теория машин и механизмов: Лабораторный практикум. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013. 71 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Дайте определение кинематической пары.

2. По каким признакам определяется низшая и высшая пара?

3. По каким признакам отличается машина от механизма?

4. Назовите основное преимущество низшей пары и высшей пары.

5. Назовите отличительные свойства структурных групп от случайных кинематических цепей.

6. Как определить подвижность механизма?

7. Как определяется класс механизма?

## Лабораторная работа №2

### Вычерчивание зубьев эвольвентного профиля методом обкатки

Цель работы: изучение изготовления зубчатых колес методом обкатки.

Задание:

При выполнении лабораторной работы, на одном приборе выполняется два варианта, которые отличаются друг от друга количеством зубьев  $z$  и величина коэффициента смещения  $x$ . Номер прибора и варианта каждому студенту выдает преподаватель.

Порядок выполнения:

1. Ознакомление с устройством и принципом действия прибора.

2. Вычислить по формулам, приведенным в теоретической части, следующие параметры колеса: а) коэффициент смещения; б) радиусы делительной и основной окружностей; в) радиусы впадин и вершин зубьев, при различных смещениях; г) толщину зубьев по делительной окружности с заданными смещениями.

3. Нанести на заготовку делительную и основную окружность. Разделить бумажную заготовку на три равных сектора и нанести в каждый сектор окружности вершин и впадин с учетом величин смещений.

4. Оформленная заготовка показывается преподавателю, только после проверки, заготовка накладывается на диск 1, прижимается крышкой 9 и винтом 10.

5. Вычерчивание зубьев начинают с нулевого смещения рейки ( $x_m = 0$ ). Вычерчивание выполняется следующим образом:

а) установить рейку 3 так, чтобы ее делительная линия касалась делительной окружности;

б) винтами 8 закрепить рейку в этом положении;

в) переместить рейку в крайнее левое положение;

г) повернуть диск 1 так, чтобы начало первого сектора заготовки совпало с правым зубом рейки. Для этого нужно повернуть ручку 6, что бы ослабло натяжение струны 5. После поворота струну необходимо натянуть;

д) делается проверка правильной установки рейки (может быть перекося рейки), для этого рейку с левого положения перемещают в правое, и проверяют, чтобы вершины зубьев рейки касались окружности впадин на заготовке.

Рейку возвращают в крайнее левое положение.

6. Остро оточенным карандашом на заготовке прочерчивается контур зубьев рейки, для чего карандашом обводят зубья рейки, стараясь возможно ближе поставить острие карандаша к границам зубьев. После обведения зубьев, рейку передвигают вправо на 3 – 4 мм, а вместе с ней поворачивается заготовка вправо, и вновь очерчивают контур зубьев рейки. Так продолжают до тех пор, пока рейка 3 не придет в крайнее правое положение, а на заготовке получим 2 – 3 очерченных зуба колеса.

7. При вычерчивании зубьев со смещением необходимо отодвинуть рейку 3 от делительной окружности на величину  $x_m$ , отмеряя величину сдвига по шкале 7 или по нормали между делительной линией рейки и делительной окружностью заготовки. Закрепляют рейку винтами 8 и переводят ее в крайнее левое положение. Для получения зубьев колеса со смещением, равным  $-2x_m$  необходимо рейку соответственно отодвинуть на величину  $-x_m$  (в итоге получается смещение равное  $-2x_m$ ) и вычертить в третьем секторе 2-3 зуба по методу, указанному в п.6 (рис 2.5).

9. Снять с установки заготовку и показать его преподавателю.

10. В данной работе требуется измерить толщину зубьев по окружности вершин при различных смещениях.

Форма отчетности:

Выполненная лабораторная работа оформляется в виде отчета. В отчете приводятся результаты расчетов по приведенным формулам. Результаты расчетов и измерений заносятся в таблицу. К отчету прилагают три бумажные заготовки с вычерченными профилями зубьев при различных смещениях.

Задания для самостоятельной работы:

1. В ходе подготовки к лабораторной работе необходимо ознакомиться с основными теоретическими положениями изготовления зубчатых колес [2] (С.23-26);

2. Из теоретической части необходимо изучить описание прибора [2] (С.28-29);

3. Подготовиться к лабораторной работе по контрольным вопросам [2] (С.36).

Основная литература

1. Теория механизмов и машин: учебное пособие / М.З. Коловский, А. Н. Евграфов [и др.]. - 3-е изд., испр. - М.: Академия, 2006. -560с.

Дополнительная литература

2. Ермаков А.И. Теория машин и механизмов: Лабораторный практикум. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013. 71 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Объясните назначение делительной и основной окружности.

2. Как определить радиусы делительной и основной окружностей?

3. Объясните, почему появляется подрез ножки зуба при изготовлении колес методом обкатки?

4. Назовите, какие геометрические параметры колеса изменяются при изготовлении колес со смещением?

5. Объясните, как установить инструментальную рейку при изготовлении колес с нулевым, положительным и отрицательным?

### Лабораторная работа №3

#### Определение основных геометрических размеров зубчатой передачи

Цель работы: определение геометрических параметров зацепления колес, выполненных со смещением.

Задание: Начертить картину зацепления двух корригированных колес:

1. С боковым зазором между зубьями;
2. Плотное зацепление зубьев, без бокового зазора.

Порядок выполнения:

1. На бумажном листе или ватмане отложить межосевое расстояние  $a'_w = o_1 o_2'$ .
2. Из центров  $O_1$  и  $O_2'$  провести окружности  $r'_{a1}, r'_{a2}, r_{f1}, r_{f2}$  и межосевую линию. Размеры радиусов окружностей взять из лабораторной работы №2. После проведения окружностей проверить, соответствует ли расстояние между окружностями головок и ножек радиальному зазору.
3. Установить на листе обе части заготовок так, чтобы совпали их центры и одноименные окружности, а зубья касались на межосевой линии. Обвести зубья, в результате получится картина зацепления колес с боковым зазором.
3. Взять другой бумажный лист, отложить на нем тоже межосевое расстояние  $O_1 O_2$  и соединить центры  $O_1, O_2$  межосевой линией. Из центра  $O_1$  провести окружности  $r'_{a1}, r_g, r$  и  $r_{f1}$ . Установить на листе заготовки так же, как указано в п.2. Затем придвинуть вторую заготовку к первой так, чтобы получилось плотное зацепление. Отметить на межосевой линии новое положение центра  $O_2$ .
4. Из центра  $O_2$  провести окружности  $r'_{a2}, r_g, r$  и  $r_{f2}$ . Замерить межосевое расстояние  $a_w = O_1 O_2$ .
5. Полученная картина зацепления показывает, что на такую же величину, как и межосевое расстояние, уменьшаются радиусы вершин зубьев.  
Замерить радиусы  $r_{a1}$  и  $r_{a2}$  и результаты занести в табл. 3.1.
5. Определить радиусы  $r_{a1}$  и  $r_{a2}$ , при расчёте коэффициент уравнивающего смещения  $\Delta u$ .
6. По картине зацепления определить высоту зубьев:  $h_1 = h_2 = r_{a1} - r_{f1} = r_{a2} - r_{f2}$ .
7. Провести линию зацепления  $N_1 N_2$ , она определяется, как касательная к основным окружностям. Определить полюс зацепления  $P$ . Он находится на пересечении линии зацепления с межосевой линией  $O_1 O_2$ .
8. Из центров  $O_1, O_2$  провести начальные окружности  $r_{w1}, r_{w2}$ . Начальные окружности касаются в полюсе зацепления  $P$ . Радиусы начальных окружностей определяются расстоянием от центров  $O_1$  и  $O_2$  до полюса. Измерить их величину и занести результаты в табл. 3.1.
9. Определить угол зацепления  $\alpha_w$ . Угол зацепления - это угол между линией зацепления и нормалью к межосевой линии. Замерить транспортиром его величину и занести результаты в табл. 3.1.
10. Определить величину теоретической линии зацепления. Для этого необходимо опустить из центров  $O_1$  и  $O_2$  перпендикуляры на линию зацепления. В пересечении линий зацепления и перпендикуляров получим точки  $N_1$  и  $N_2$ .  
Расстояние между точками  $N_1$  и  $N_2$  определяет величину теоретической линии зацепления, а углы между линией  $N_1 O_1 P$  и  $N_2 O_2 P$  так же будут являться углами зацепления  $\alpha_w$  (рис. 3.3).
11. Определить графически коэффициент перекрытия  $\epsilon$ .
15. Определить следующие геометрические параметры зубчатой передачи  $n, r_{a1}, r_{a2}, \alpha_w, r_{w1}, r_{w2}, \Delta u$ . Результаты, полученные измерением и расчетами, занести в бланк отчета сравнений результатов (табл. 3.1).

Форма отчетности:

Выполненная лабораторная работа оформляется в виде отчета. К отчету прилагается:

1. заготовки, по которым строилась картина зацепления колес, подписанная преподавателем;
2. картина зацепления колес с боковым зазором;
3. картина плотного зацепления колес с уменьшенной высотой зубьев.
4. аналитические расчеты геометрических размеров колес.
5. бланк сравнения результатов найденных графическим и аналитическим методами.

Задания для самостоятельной работы:

1. В ходе подготовки к лабораторной работе необходимо познакомиться с основными теоретическими положениями зубчатых колес со смещением [2] (С.37-42);

2. Подготовиться к лабораторной работе по контрольным вопросам [2] (С.47).

Основная литература

1 Теория механизмов и машин : учебное пособие / М. З. Коловский, А. Н. Евграфов [и др.]. - 3-е изд., испр. - М. : Академия, 2006. - 560 с.

Дополнительная литература

2. Ермаков А.И. Теория машин и механизмов: Лабораторный практикум. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013. 71 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. В каких случаях происходит зацепление колес по делительным окружностям, и, в каких, по начальным?
2. По каким формулам определяются радиусы делительной и начальной окружностей?
3. Как определить угол зацепления по картине зацепления колес? От каких параметров зависит его величина?
4. Дайте определение линии зацепления?
5. Как по заданному углу зацепления определить  $inv \alpha_w$ ?
6. Какое назначение имеет основная окружность? По какой формуле определяется радиус основной окружности?
7. По какой формуле определяется радиус заготовки корригированного колеса?
8. Причины подрезания ножки зуба при изготовлении колес методом обкатки?



## Лабораторная работа №4

### Определение основных параметров зубчатого колеса

**Цель работы:** ознакомление с методами определения основных параметров зубчатых колес с эвольвентным профилем.

**Задание:** Задание выдается каждому студенту индивидуально согласно варианту.

**Порядок выполнения:**

1. Подсчитать число зубьев  $z$  колеса.
2. Подобрать число зубьев  $n$ , охватываемых штангенциркулем.
3. Измерить штангенциркулем отрезки  $L_n$  и  $L_{n+1}$  общей нормали, каждый по три раза и найти их средние значения.
4. Определить величину шага по основной окружности  $P_b$ .
5. По уточненному шагу по основной окружности найти модуль зубьев  $m$  и угол профиля исходного контура  $\alpha$ .
6. Рассчитать толщину зуба  $S_b$  по основной окружности нулевого колеса.
7. Определить толщину зуба  $S'_b$  по основной окружности измеряемого колеса.
8. Вычислить значение коэффициента смещения инструмента.
9. Определить коэффициент смещения инструмента.
10. Составить отчет по прилагаемой форме.

**Форма отчетности:**

Выполненная лабораторная работа оформляется в виде отчета. В отчете должны быть приведены результаты измерений и вычислений по определению основных параметров зубчатого колеса:

1. Цель работы;
2. Число зубьев колеса  $z$ ;
3. Число зубьев, охватываемых штангенциркулем  $n$ ;
4. Длины отрезков общей нормали, мм:
5. Шаг по основной окружности колеса, найденный измерением, мм:
6. Уточненное значение шага по основной окружности  $P_b$  (см. табл.1 прил.2)
7. Модуль зацепления  $m$ , мм и угол профиля исходного контура  $\alpha$ , град (табл.1 прил.2).
8. Толщина зуба по основной окружности, выполненного без смещения, мм:
9. Толщина зуба по основной окружности измеряемого колеса, мм:
10. Коэффициент смещения:
11. Величина смещения исходного производящего контура.
12. Коэффициент уравнивающего смещения:
13. Выводы с результатами измерения колеса.

**Задания для самостоятельной работы:**

1. В ходе подготовки к лабораторной работе необходимо ознакомиться с основными методами определения размеров зубчатых колес [2] (С.48-55);

2. Подготовиться к лабораторной работе по контрольным вопросам [2] (С.57).

Основная литература

1. Теория механизмов и машин: учебное пособие / М.З. Коловский, А.Н. Евграфов [и др.]. - 3-е изд., испр. - М.: Академия, 2006.-560 с.

Дополнительная литература

2. Ермаков А.И. Теория машин и механизмов: Лабораторный практикум. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013. 71 с.

**Контрольные вопросы для самопроверки**

1. Обоснуйте причину подрезания ножки зуба при изготовлении зубчатых колес методом обкатки?
2. Перечислите какие геометрические параметры изменяются при изготовлении колес со смещением исходного производящего контура (например, инструментальной рейки).
3. Поясните, как определить толщину зуба колеса по основной окружности.
4. Поясните, в каком случае применяется положительное смещение, а в каком отрицательное?
5. Поясните, каким методом определяется коэффициент смещения у зубчатого колеса.
6. Поясните, как определяется шаг  $P_b$  по основной окружности?
7. Обоснуйте причины, вызывающие необходимость нарезания зубчатых колес со смещением инструмента?

## Лабораторная работа №5

### Кинематический анализ зубчатых механизмов

**Цель работы:** Определение передаточного отношения зубчатых механизмов аналитическим и опытным методом.

**Задание:** Задание выдается каждому студенту индивидуально согласно варианту.

**Порядок выполнения:**

1. Определить тип заданных моделей зубчатых механизмов. Составить кинематическую схему из заданных механизмов. Пронумеровать зубчатые колёса, начиная от входного звена. Сосчитать количество зубьев на колёсах.
2. Определить степень свободы  $W$  для каждого механизма в отдельности.
3. Аналитическим методом определить общее передаточное отношение заданной схемы механизмов и в отдельности для каждого механизма.
4. Определить передаточное отношение опытным методом.

**Форма отчетности:**

Выполненная лабораторная работа оформляется в виде отчета. В отчете необходимо начертить кинематическую схему, состоящую из заданных зубчатых механизмов и определить их степень свободы по формуле Чебышева.

В отчете должны быть приведены формулы и результаты определения передаточного отношения для заданной схемы и отдельных ее механизмов, аналитическим и опытным методом.

**Задания для самостоятельной работы:**

1. В ходе подготовки к лабораторной работе необходимо ознакомиться с основными видами зубчатых механизмов [2] (С.58-66);

2. Подготовиться к лабораторной работе по контрольным вопросам [2] (С.67).

Основная литература

1. Теория механизмов и машин: учебное пособие / М.З. Коловский, А.Н. Евграфов [и др.]. - 3-е изд., испр. - М.: Академия, 2006.-560с.

Дополнительная литература

2. Ермаков А.И. Теория машин и механизмов: Лабораторный практикум. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013. 71 с.

**Контрольные вопросы для самопроверки**

1. Как определить передаточное отношение в многоступенчатой передаче через число зубьев колес?
2. Как определить передаточное отношение в планетарном механизме через число зубьев колес?
3. Какое имеется различие между планетарным и дифференциальным механизмом?
4. Как определяется угловая скорость звеньев в дифференциальном механизме?

## Практическое занятие №1

### Структурный анализ рычажных механизмов: кривошипно-ползунного; шарнирного; кулисного; качающегося транспортера

#### Цель работы:

Ознакомиться с разновидностями элементов структуры и этапами синтеза основных видов механизмов и машин, а также научиться выполнять структурный анализ рычажных механизмов

#### Задание:

1. Выполнить структурный анализ: кривошипно-ползунного механизма; шарнирного механизма; кулисного механизма; качающегося транспортера.

#### Порядок выполнения заданий:

1. Начертить структурную схему рычажного механизма.
2. Начиная с ведущего звена, пронумеровать по порядку арабскими цифрами звенья, а буквами латинского алфавита обозначить все подвижные соединения, содержащиеся в структуре механизма.
3. Определить число подвижных звеньев, а также число, название, класс, подвижность, вид контакта и замыкания всех кинематических пар (в том числе разнесенных), результат представить в виде таблицы.
4. Определить число и вид кинематических цепей.
5. Выявить количество элементов стойки (число присоединений подвижных звеньев к стойке).
6. Выбрав соответствующую структурную формулу, определить подвижность (число или степень подвижности) механизма.
7. Считая выходное звено неподвижным, определить маневренность механизма.
8. Провести проверку полученных результатов.

#### Задания для самостоятельной работы:

1. Изучить последовательность выполнения структурного анализа рычажных механизмов. [3](С. 3-15);
2. Выполнить структурный анализ рычажного механизма. [3] Схемы 1-30 (С.16-19).

#### Основная литература

1. Теория механизмов и машин: учебное пособие / М.З. Коловский, А.Н. Евграфов [и др.]. - 3-е изд., испр. - М.: Академия, 2006.-560с.

#### Дополнительная литература

1. Теория механизмов и машин. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : электрон.учеб. пособие / П. Н. Сильченко, М. А. Мерко, М. В. Меснянкин и др. – Электрон. дан. (3 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2008.
2. Теория механизмов и машин. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : практикум / П. Н. Сильченко, М. А. Мерко, М. В. Меснянкин и др. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008.

#### Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Что такое техническая система и какие составляющие элементы технической системы вы знаете?
2. Дайте определение понятия «модель» технической системы. Какими критериями руководствуются при составлении моделей?
3. Что такое машина и какие виды машин вам известны?
4. Поясните принцип образования основных видов технических систем: привод, машинный агрегат и машина-автомат. Дайте определения этих понятий.
5. Что такое механизм и какие виды механизмов вы знаете?
6. Дайте определение понятия «звено». Какие виды звеньев механизмов вам известны?
7. Что такое кинематическая пара и какие виды кинематических пар вы знаете?
8. Поясните отличия, а также достоинства и недостатки высших и низших кинематических пар.
9. Что такое кинематическая цепь и какие виды кинематических цепей вам известны?
10. Дайте определения понятий «типовой» и «идеальный» механизмы.
11. Что такое структура механизма и какие дефекты структуры механизмов вы знаете?
12. Дайте определение понятия «подвижность» механизма. Какие основные структурные формулы используются для ее определения?
13. Поясните состав структуры механизмов по Ассуру и дайте определения понятий «структурная группа» и «первичный механизм».
14. Как определяются класс, вид и порядок структурной группы?
15. Какие задачи решаются при выполнении структурного анализа плоских рычажных механизмов?
16. Как определяется подвижность пространственных рычажных механизмов?
17. Как определяется маневренность пространственных рычажных механизмов?
18. Поясните отличия этапов синтеза механизмов.
19. Как выполняется структурный синтез рычажных механизмов?
20. Как выполняется метрический синтез рычажных механизмов?
21. Охарактеризуйте качественные показатели рычажных механизмов.
22. Поясните отличия понятий «масштаб» и «масштабный коэффициент».
23. Дайте определения понятий «структурная» и «кинематическая схема» и поясните их отличия.

## Практическое занятие №2

### Кинематический анализ плоского рычажного механизма

#### Цель работы:

Изучить методы кинематического анализа, а также научиться выполнять кинематический анализ плоских рычажных механизмов, используя графоаналитические методы.

Задание 1: Построить план положений механизма.

#### Порядок выполнения:

1. Проанализировать структурную схему плоского рычажного механизма для выявления взаимодействия его звеньев.
2. Выбрать масштабный коэффициент длин.
3. Перевести все заданные геометрические параметры механизма, имеющие размерность длин (м), в масштабный коэффициент.
4. По полученным значениям в выбранном масштабном коэффициенте определить крайние (граничные) положения выходного(ых) звена(ев).
5. Построить кинематические схемы механизма для обоих крайних (граничных) положений выходного(ых) звена(ев).
6. Считая одно из крайних положений начальным, построить план положений механизма для заданного количества положений ведущего (входного) звена.
7. Определить коэффициент неравномерности средней скорости и ход механизма.
8. Выявить положения ведущего звена механизма, в которых угол давления принимает максимальные и минимальные значения.

Задание 2: Построить план скоростей механизма.

#### Порядок выполнения:

1. Проанализировать кинематическую схему плоского рычажного механизма.
2. Определить характерные точки механизма.
3. Выявить траектории движения всех характерных точек механизма.
4. Составить векторные уравнения, описывающие распределение скоростей между характерными точками механизма.
5. Выбрать масштабный коэффициент скоростей.
6. Решая векторные уравнения, построить план скоростей для заданного положения ведущего (входного) звена.

7. Определить значения скоростей характерных точек, а также величины и направления действия угловых скоростей всех звеньев механизма для заданного положения ведущего (входного) звена.

Задание 3: Построить план ускорений механизма.

Порядок выполнения:

1. Проанализировать кинематическую схему плоского рычажного механизма.
2. Составить векторные уравнения, описывающие распределение ускорений между характерными точками механизма
3. Выбрать масштабный коэффициент ускорений.
4. Решая векторные уравнения, построить план ускорений для заданного положения ведущего (входного) звена.
5. Определить значения ускорений характерных точек, а также величины и направления действия угловых ускорений всех звеньев механизма для заданного положения ведущего (входного) звена.

Задания для самостоятельной работы:

1. Изучить последовательность выполнения кинематического анализа рычажных механизмов. [3](С. 41-69);
2. Выполнить кинематический анализ рычажного механизма. [3] Задачи 3.6, 3.7 (С.69-70).

Основная литература

1. Теория механизмов и машин: учебное пособие / М.З. Коловский, А.Н. Евграфов [и др.]. - 3-е изд., испр. - М.: Академия, 2006.-560с.

Дополнительная литература

1. Теория механизмов и машин. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : электрон.учеб. пособие / П. Н. Сильченко, М. А. Мерко, М. В. Меснянкин и др. – Электрон. дан. (3 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2008.
2. Теория механизмов и машин. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : практикум / П. Н. Сильченко, М. А. Мерко, М. В. Меснянкин и др. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Назовите цели и задачи кинематического анализа плоских рычажных механизмов.
2. Какие методы кинематического анализа механизмов вы знаете?
3. Поясните отличия графоаналитических методов кинематического анализа плоских рычажных механизмов.
4. Дайте определение понятия «план положений механизма» и поясните принцип его построения.
5. Как рассчитывается значение масштабного коэффициента плана положений механизма?
6. Какие положения выходного(ых) звена(ев) называются «крайними» (граничными) положениями и как их определить?
7. Дайте определение понятий «коэффициент неравномерности средней скорости» и «ход механизма». Как определить их значения?
8. Поясните суть метода кинематических диаграмм.
9. Как определить значения масштабных коэффициентов осей времени, пути, аналогов скорости и ускорения?
10. Поясните суть и отличия графического дифференцирования и графического интегрирования.
11. Поясните суть метода кинематических планов.
12. Как построить план скоростей?
13. Как построить план ускорений?
14. Поясните принцип определения значений и направлений действия угловых скоростей звеньев механизма.
15. Поясните принцип определения значений и направлений действия угловых ускорений звеньев механизма.
16. Дайте формулировку теоремы подобия и поясните область ее применения.
17. В чем заключаются отличия метода кинематических диаграмм и метода планов?

### Практическое занятие №3

#### Силовой анализ плоских рычажных механизмов: кривошипно-ползунного; шарнирного; кулисного; качающегося транспортера

Цель работы:

Изучить методы силового анализа, а также научиться выполнять силовой анализ плоских рычажных механизмов.

Задание: Выполнить силовой расчет плоских рычажных механизмов. Изобразить в масштабе схемы структурных групп и показать силы, действующие на звенья групп со стороны отброшенных звеньев. Построить в масштабе план сил, действующих на группы. Определить реакции во всех кинематических парах.

Порядок выполнения:

1. Проанализировать кинематическую схему плоского рычажного механизма.
2. Определить значения и направления внешних и теоретических силовых факторов, действующих на звенья механизма, т. е. сил тяги, сил инерции и моментов пар сил инерции.
3. Составить расчетную модель (схему), установив для механизма квазистатическое равновесие.
4. Построить план сил для каждой структурной группы.
5. Построить повернутый план скоростей.
6. Используя теорему В. И. Жуковского, определить значение уравновешивающей силы.
7. Рассчитать величину уравновешивающего момента пары сил.

Задания для самостоятельной работы:

1. Изучить последовательность выполнения силового анализа рычажных механизмов. [3] (С. 71-77);
2. Выполнить силовой анализ рычажного механизма. [3] Задачи 4.5-4.7 (С.77-79).

Основная литература

1. Теория механизмов и машин: учебное пособие / М.З. Коловский, А.Н. Евграфов [и др.]. - 3-е изд., испр. - М.: Академия, 2006.-560с.

Дополнительная литература

1. Теория механизмов и машин. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : электрон.учеб. пособие / П. Н. Сильченко, М. А. Мерко, М. В. Меснянкин и др. – Электрон. дан. (3 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2008.
2. Теория механизмов и машин. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : практикум / П. Н. Сильченко, М. А. Мерко, М. В. Меснянкин и др. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Поясните цели и задачи, решаемые в разделе «Динамика». Какие основные динамические параметры механизмов вы знаете?
2. Какие виды анализа механизмов раздела «Динамика» вам известны?
3. Дайте определения понятия «динамическая модель». Какие методы обеспечения эквивалентности динамических моделей механизмов вы знаете?
4. Поясните принцип построения динамической модели, пригодной для выполнения силового анализа.
5. Дайте определения понятий «уравновешивающая сила» и «уравновешивающий момент пары сил».
6. Какие параметры динамической модели, пригодной для выполнения силового анализа, вам известны?
7. Приведите классификацию силовых факторов, действующих на звенья механизмов.
8. Дайте определения внешних силовых факторов, действующих на звенья механизмов, и поясните, как определить их значения.
9. Дайте определения внутренних силовых факторов и поясните, как определить их значения и направления действия.
10. Дайте определения теоретических силовых факторов и поясните, как определить их значения и направления действия.
11. Поясните формулировку принципа Даламбера и область его использования.
12. Дайте определение теоремы И. Е. Жуковского и поясните область ее применения.
13. Какие режимы движения технической системы вы знаете?

## 9.2. Методические указания по выполнению курсового проекта

Курсовой проект по дисциплине «Теория механизмов и машин» состоит из аналитической и графической части. Аналитическая часть курсового проекта представляет собой расчетно-пояснительную записку (РПЗ), которая выполняется на стандартных листах писчей бумаги формата А4 и оформляется в соответствии с требованиями ЕСКД предъявляемыми к текстовым документам. Разделы пояснительной записки должны содержать не только решение требуемых заданий, но и пояснения к ним, т. е. необходимые уравнения, выводы соответствующих зависимостей, теоремы и расчеты, сопровождаемые графическими иллюстрациями или рисунками. В конце пояснительной записки приводится библиографический список литературных источников, использованных студентом при выполнении курсового проекта, в том числе дается библиография методических указаний и пособий.

Графическая часть курсового проекта выполняется на чертежной бумаге формата А1. Масштабные коэффициенты выбираются в зависимости от габаритных размеров изображаемой модели или расчетных схем.

Аналитическая часть представляется в виде пояснительной записки (не менее 35...40 с. формата А4) и состоит из следующих разделов:

Задание.

Содержание.

1. Структурный анализ плоского рычажного механизма.  
2. Метрический синтез кинематической схемы плоского рычажного механизма. Масштабный коэффициент. План положения механизма.

3. Кинематический анализ плоского рычажного механизма. Векторные уравнения, таблицы линейных и угловых скоростей звеньев механизма.

4. Кинетостатический (силовой) анализ плоского рычажного механизма. Синтез динамической модели: определение сил и моментов пар сил инерции, силовой анализ структурных групп. Определение уравновешивающей силы с помощью теоремы И. Е. Жуковского. Определение величины уравновешивающего момента пары сил.

5. Структурный анализ простого зубчатого механизма. Определение геометрических параметров и синтез эвольвентного зацепления зубчатого механизма.

Графическая часть состоит из двух листов формата А1:

Лист 1 формата А1 Кинематический и кинетостатический (силовой) анализ плоского рычажного механизма.

Лист 2 формата А1 Анализ и синтез механизмов с высшими кинематическими парами.

Графический материал подшивается к пояснительной записке после списка используемых литературных источников.

Выполнение разделов курсового проекта осуществляется в следующей последовательности.

Описание задания для комплексного анализа машинного агрегата.

Приводится описание составляющих машин и механизмов технической системы, а также кратко описывается принцип их работы и взаимодействия друг с другом. Задание оформляется на листах белой бумаги формата А4, содержащих соответствующую рамку (приложение), и входит в состав пояснительной записки.

*Раздел 1. Структурный анализ плоского рычажного механизма.*

1) вычертить структурную схему механизма;  
2) определить число, вид совершаемого движения и количество вершин подвижных звеньев, а также выявить число, название, класс, подвижность, вид контакта и замыкания всех кинематических пар, в том числе разнесенных, результат представить в виде таблиц;

3) определить число и вид кинематической цепи, выявить количество элементов стойки (число присоединений подвижных звеньев к стойке);

4) выбрав соответствующую структурную формулу, определить подвижность (число или степень подвижности) механизма;

5) выявить число, класс, вид и порядок структурных групп звеньев, а также число и подвижность первичных механизмов (групп начальных звеньев);

6) записать формулу состава структуры и определить класс механизма;

7) провести проверку полученных результатов.

*Раздел 2. Синтез кинематической схемы плоского рычажного механизма.*

1) выбрать масштабный коэффициент длин;

2) перевести все заданные геометрические параметры механизма, имеющие размерность длин, м, в масштабный коэффициент;

3) по полученным значениям в выбранном масштабном коэффициенте определить крайние (граничные) положения выходного(ых) звена(ьев);

4) считая одно из крайних положений начальным, построить план положений плоского рычажного механизма для девяти положений ведущего (входного) звена;

*Раздел 3. Кинематический анализ плоского рычажного механизма.*

1) определить характерные точки механизма;

2) выявить траектории движения всех характерных точек механизма;

3) составить векторные уравнения, характеризующие распределение скоростей между характерными точками механизма;

4) выбрать масштабный коэффициент скоростей;

5) решая векторные уравнения, построить план скоростей для заданного положения ведущего (входного) звена;

6) определить значения скоростей характерных точек, а также величины и направления действия угловых скоростей всех звеньев механизма для заданного положения ведущего (входного) звена;

7) составить векторные уравнения, характеризующие распределение ускорений между характерными точками механизма;

8) выбрать масштабный коэффициент ускорений;

9) решая векторные уравнения, построить план ускорений для заданного положения ведущего (входного) звена;

10) определить значения ускорений характерных точек, а также величины и направления действия угловых ускорений всех звеньев механизма для заданного положения ведущего (входного) звена;

11) выявить значения углов положения ведущего (входного) звена, при которых скорость и ускорение характерной точки выходного звена достигает минимума и максимума.

*Раздел 4. Кинестатический (силовой) анализ плоского рычажного механизма.*

1) согласно составу структуры плоского рычажного механизма вычертить в масштабном коэффициенте длин структурные группы звеньев и первичный механизм для заданного положения ведущего звена;

2) приложить к звеньям структурных групп и первичного механизма вектора сил и моменты пар сил, сохраняя их направление и линии действия согласно расчетной модели (схемы) механизма;

3) для структурных групп и первичного механизма установить состояния силового равновесия, приложив к соответствующим характерным точкам необходимые виды реакции связей кинематических пар;

4) составить уравнения равновесия структурных групп и первичного механизма;

5) определить степень неопределимости структурных групп и первичного механизма, выявив количество неизвестных силовых факторов;

6) раскрыть неопределимость структурных групп и первичного механизма;

7) построить планы сил для каждой структурной группы и первичного механизма;

8) выполнить расчет значений реакций связей кинематических пар;

9) определить значения уравновешивающей силы и уравновешивающего момента пары сил.

*Силовой анализ плоского рычажного механизма с использованием теоремы В. Н. Жуковского:*

1) построить повернутый план скоростей;

2) используя теорему В. Н. Жуковского, перенести все силовые факторы с расчетной модели (схемы) в одноименные точки повернутого плана скоростей;

3) определить значение силового управляющего воздействия;

4) определить погрешность результатов расчетов, полученных по обоим выполненным видам силового анализа.

*Раздел 5. Синтез эвольвентного зацепления простого зубчатого механизма:*

1) по блокирующему контуру и исходным параметрам определить относительные коэффициенты смещения шестерни и колеса;

2) рассчитать по соответствующим формулам геометрические параметры зубчатых колёс;

3) выбрать масштабный коэффициент длин для построения эвольвентного зацепления и перевести все геометрические параметры зубчатых колёс в миллиметры с помощью данного коэффициента;

4) построить эвольвентное зацепление.

## 10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Информационно-коммуникативные технологии (ИКТ) используются для:

- получения информации при подготовке к занятиям;
- создания презентационного сопровождения занятий;
- работы в электронной информационной среде.

Стандартное лицензионное программное обеспечение:

1. Microsoft Imagine Premium: Microsoft Windows Professional 7.
2. Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level.
3. Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security.
4. КОМПАС 3D V12 LT.
5. Adobe Reader.

## 11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

| <i>Вид занятия</i> | <i>Наименование аудитории</i>   | <i>Перечень основного оборудования</i>   | <i>№ Лк, ЛР, ПЗ</i> |
|--------------------|---|--|---------------------|
| Лк                 | Специализированная мультимедийная аудитория по теоретической механике | Учебная мебель; Интерактивная доска Promethean, проектор мультимедийный CASIO XJ-UT310WN, Монитор LG L1753S-SF, Системный блок Gel D315-2,26.                | Лк № 1.1...2.2      |
| ЛР                 | Лаборатория теории машин и механизмов                                 | Учебная мебель; Приборы для вычерчивания зубьев зубчатых колес методом обкатки. (ТММ -42); набор эвольвентных цилиндрических прямозубых колес.               | ЛР № 1...5          |
| ПЗ                 | Лаборатория деталей машин и основы конструирования                    | Учебная мебель; Макеты рычажных механизмов: ТММ-03-М, ТММ03-11М, ТММ03-6М, ТММ03-4М, ТММ03-3М, ТММ03-10М, ТММ03-12М, ТММ03-7М, ТММ03-5М, ТММ03-8М, ТММ03-9М. | ПЗ № 1...3          |
| КП                 | Читальный зал № 1   | Учебная мебель; 10-ПК i5-2500/Н67/4Gb (мониторTFT19 Samsung); принтер HP LaserJet P2055D   | -                   |
| СР                 | Читальный зал № 1   | Учебная мебель; 10-ПК i5-2500/Н67/4Gb (мониторTFT19 Samsung); принтер HP LaserJet P2055D   | -                   |

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

| № компетенции | Элемент компетенции   | Раздел   | Тема  | ФОС                            |
|---------------|---|--|---|--------------------------------|
| ОК-5          | способность к самоорганизации и самообразованию   | 1.Механизмы с низшими кинематическими парами   | 1.1. Механизмы и машины. Структурный анализ механизмов.                 | Экзаменационные вопросы, Тесты |
|               |   | 2. Механизмы с высшими кинематическими парами. | 2.1. Зубчатые механизмы.<br>2.2. Сложные зубчатые механизмы.            |                                |
| ПК-25         | способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности и методы теоретического и экспериментального исследования | 1.Механизмы с низшими кинематическими парами   | 1.2. Кинематический анализ.<br>1.3. Динамика. Кинетостатический анализ. | Экзаменационные вопросы, Тесты |
|               |   | 2. Механизмы с высшими кинематическими парами. | 2.1. Зубчатые механизмы.<br>2.2. Сложные зубчатые механизмы.            |                                |

**2. Вопросы к экзамену**

| № п/п | Компетенции |   | ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ  | № и наименование раздела                      |
|-------|-------------|---|--|---|
|       | Код         | Определение   |  |   |
| 1     | 2           | 3   | 4  | 5   |
| 1.    | ОК-5        | способность к самоорганизации и самообразованию   | <p>1. Машины. Виды машин. Примеры.</p> <p>2. Механизмы. Классификация механизмов. Примеры.</p> <p>3. Звенья механизмов. Виды звеньев механизмов. Примеры.</p> <p>4. Кинематические пары. Классификация кинематических пар. Высшие и низшие кинематические пары. Их достоинства и недостатки.</p> <p>5. Кинематические цепи. Виды кинематических цепей. Примеры.</p> <p>6. Структура механизмов. Дефекты структуры механизмов.</p> <p>7. Подвижность механизмов. Основные структурные формулы. Пример определения подвижности.</p> <p>8. Состав структуры механизмов по Ассуру. Структурные группы и первичные механизмы. Примеры.</p> <p>9. Структурные группы звеньев 2-го класса. Вид и порядок. Примеры.</p> <p>10. Структурный анализ плоских рычажных механизмов. Пример.</p> <p>11. Методы синтеза. Масштаб и масштабный коэффициент.</p> <p>12. Кинематический анализ. Цель, задачи и методы. Планы положения.</p> <p>13. Метод планов. План скоростей. Теорема подобия. Угловые скорости звеньев. Пример.</p> <p>14. Метод планов. План ускорений. Теорема подобия. Угловые ускорения звеньев. Пример.</p> <p>15. Динамика механизмов. Цель, задачи и виды анализа. Основные динамические параметры механизмов.</p> <p>16. Классификация силовых факторов, действующих на звенья механизмов.</p> <p>17. Внешние силовые факторы, действующие на звенья механизмов. Примеры.</p> <p>18. Внутренние силовые факторы, действующие на звенья механизмов. Примеры.</p> <p>19. Теоретические силовые факторы, действующие на звенья механизмов. Примеры.</p> <p>20. Силовой анализ плоских механизмов. Методы силового анализа.</p> <p>21. Теорема И. Е. Жуковского. Пример.</p> | 1. Механизмы с низшими кинематическими парами |
| 2.    | ПК-25       | способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности и методы теоретического и экспериментального исследования |  |   |

| 1  | 2     | 3   | 4  | 5  |
|----|-------|---|--|--|
| 1. | ОК-5  | способность к самоорганизации и самообразованию   | <p>22.Зубчатые механизмы. Простые зубчатые механизмы. Редуктора и мультипликаторы. Примеры.</p> <p>23.Классификация простых зубчатых механизмов. Примеры.</p> <p>24.Пространственные механизмы с высшей кинематической парой. Примеры.</p> <p>25.Эвольвента окружности. Свойства эвольвенты окружности.</p> <p>26.Эвольвентное зацепление. Свойства эвольвентного зацепления.</p> <p>27.Геометрические параметры эвольвентного зубчатого колеса.</p> <p>28.Методы получения формообразующей кривой зубьев.</p> <p>29.Исходный контур и исходный производящий контур.</p> <p>30.Виды зубчатых колес.</p> <p>31.Интерференция зубчатых колес.</p> <p>32.Блокирующие контура. Область назначения и применения.</p> <p>33.Показатели качества зубчатых механизмов.</p> <p>34.Классификация сложных зубчатых механизмов. Примеры.</p> <p>35.Однорядные зубчатые механизмы. Структурный и кинематический анализ.</p> <p>36.Многорядные зубчатые механизмы. Структурный и кинематический анализ.</p> <p>37.Многopotочные зубчатые механизмы. Структурный и кинематический анализ.</p> <p>38.Эпициклические зубчатые механизмы. Типовые планетарные механизмы. Звенья планетарных механизмов. Особенности структуры. Пример выполнения структурного анализа.</p> <p>39.Дифференциальные зубчатые механизмы. Звенья дифференциальных механизмов. Структурный анализ.</p> <p>40.Дифференциальные зубчатые механизмы. Виды дифференциальных зубчатых механизмов.</p> <p>41.Замкнутые дифференциальные зубчатые механизмы. Структурный анализ.</p> <p>42.Синтез зубчатых механизмов. Этапы синтеза. Условия метрического синтеза зубчатых механизмов.</p> <p>43.Условия метрического синтеза планетарных механизмов.</p> | 2. Механизмы с высшими кинематическими парами. |
| 2. | ПК-25 | способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности и методы теоретического и экспериментального исследования |  |  |



### 3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

| Показатели   | Оценка                      | Критерии  |
|--|-----------------------------|---|
| <p><b>знать:</b><br/><i>ОК-5</i><br/>– классификацию, функциональные возможности и области применения основных видов механизмов;<br/><i>ПК-25</i><br/>– методы расчета кинематических и динамических параметров движения механизмов;</p> <p><b>уметь:</b><br/><i>ОК-5</i><br/>– идентифицировать и классифицировать механизмы и устройства, используемые в конструкциях машин и оборудования, при наличии их чертежа или доступного для разборки образца;<br/><i>ПК-25</i><br/>– оценивать основные качественные характеристики механизмов и устройств, используемых в конструкциях машин и оборудования;</p> <p><b>владеть:</b><br/><i>ОК-5</i><br/>– методами расчёта несущей способности элементов и узлов машин и оборудования с использованием графических, аналитических и численных методов.<br/><i>ПК-25</i><br/>– методами проектирования машин и оборудования, в том числе, с использованием трехмерных моделей.</p> | <b>отлично</b>              | <p>Оценки «отлично» заслуживает обучающийся:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обнаруживший всестороннее, систематическое знание: классификации, функциональных возможностей и области применения основных видов механизмов; методов расчета кинематических и динамических параметров движения механизмов.</li> <li>- умеющий идентифицировать и классифицировать механизмы и устройства, оценивать основные качественные характеристики механизмов и устройств, используемых в конструкциях машин и оборудования;</li> <li>- глубоко овладевший методами проектирования машин и оборудования, в том числе, с использованием трехмерных моделей и методами расчёта несущей способности элементов и узлов машин и оборудования с использованием графических, аналитических и численных методов.</li> </ul>  |
|  | <b>хорошо</b>               | <p>Оценки «хорошо» заслуживает обучающийся:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обнаруживший полное знание: классификации, функциональных возможностей и области применения основных видов механизмов; методов расчета кинематических и динамических параметров движения механизмов;</li> <li>- проявивший умение идентифицировать и классифицировать механизмы и устройства, оценивать основные качественные характеристики механизмов и устройств, используемых в конструкциях машин и оборудования;</li> <li>- успешно владеющий методами проектирования машин и оборудования, в том числе, с использованием трехмерных моделей и методами расчёта несущей способности элементов и узлов машин и оборудования с использованием графических, аналитических и численных методов.</li> </ul>   |
|  | <b>удовлетворительно</b>    | <p>Оценки «удовлетворительно» заслуживает обучающийся:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обнаруживший знания: классификации, функциональных возможностей и области применения основных видов механизмов; методов расчета кинематических и динамических параметров движения механизмов достаточные для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии;</li> <li>- проявивший умение идентифицировать и классифицировать механизмы и устройства, оценивать основные качественные характеристики механизмов и устройств, используемых в конструкциях машин и оборудования в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии;</li> <li>- справляющийся с методами проектирования машин и оборудования, в том числе, с использованием трехмерных моделей и методами расчёта несущей способности элементов и узлов машин и оборудования с использованием графических, аналитических и численных методов.</li> </ul> |
|  | <b>не удовлетворительно</b> | <p>Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обнаружившему пробелы в знаниях: классификации, функциональных возможностей и области применения основных видов механизмов; методов расчета кинематических и динамических параметров движения механизмов;</li> <li>- не умеющему идентифицировать и классифицировать механизмы и устройства, оценивать основные качественные характеристики механизмов и устройств, используемых в конструкциях машин и оборудования;</li> <li>- допустившему принципиальные ошибки в проектировании машин и оборудования и в расчётах несущей способности элементов и узлов машин и оборудования с использованием графических, аналитических и численных методов.</li> </ul>   |

#### **4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности**

Дисциплина Теория механизмов и машин направлена на ознакомление с основами проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонта механизмов и машин независимо от отрасли промышленности и транспорта. ТММ рассматривает общие методы и алгоритмы анализа и синтеза механизмов и машин. Дисциплина предусматривает формирование у будущих специалистов общетехнических, конструкторских навыков, а также навыков эксплуатации механических систем, применяемых в конкретных отраслях производства и транспорта в целом. В результате изучения дисциплины завершается и реализуется общетехническая подготовка студентов, создается база для усвоения дисциплин специализации.

Изучение дисциплины «Теория механизмов и машин» предусматривает:

- лекции;
- лабораторные работы;
- практические занятия;
- курсовой проект;
- самостоятельную работу;
- экзамен.

Приступая к изучению дисциплины Теория механизмов и машин, обучающиеся должны ознакомиться с учебной программой, учебной, научной и методической литературой, имеющейся в библиотеке ФГБОУ ВО «БрГУ», получить в библиотеке рекомендованные учебники и учебно-методические пособия.

Практические занятия проводятся с целью закрепления и более тщательной проработки лекционного материала по основным разделам дисциплины «Теория механизмов и машин». Практическое занятие ограничено связано с другими формами организации учебно-воспитательного процесса, включая, прежде всего, самостоятельную работу обучающихся. На практические занятия выносятся узловые темы курса, усвоение которых определяет качество профессиональной подготовки обучающихся.

Особенностью практического занятия является возможность равноправного и активного участия каждого обучающегося в обсуждении рассматриваемых вопросов.

С целью более глубокого усвоения изучаемого материала задавать вопросы преподавателю. После подведения итогов практического занятия устранить недостатки, отмеченные преподавателем.

В ходе подготовки к лабораторным занятиям необходимо изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой. При этом учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы.

Каждая лабораторная работа выполняется самостоятельно студентом во время аудиторного занятия в присутствии преподавателя. Реализованные задания лабораторной работы студент должен самостоятельно представить преподавателю для проверки правильности выполнения. Замечания по ходу выполнения и оформлению лабораторной работы, а также выявленные ошибки устраняются каждым студентом самостоятельно.

При подготовке к экзамену повторять пройденный материал в строгом соответствии с учебной программой, примерным перечнем учебных вопросов, вынесенных на экзамен и содержащихся в данной программе. Использовать литературу, рекомендованную преподавателем. При необходимости обратиться за консультацией и методической помощью к преподавателю. Прием итогового экзамена проводится по экзаменационным билетам лектором потока в письменной форме, предусматривает наличие ответов на вопросы экзаменационного билета, решение практических задач или тестов и призван выявить уровень знаний студента по всем темам дисциплины. Экзаменационные билеты обсуждаются и утверждаются на заседании кафедры машиноведения, механики и инженерной графики. Перечень вопросов, выносимых на экзамен, выдается лектором потока.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторную самостоятельную работу необходимо начинать с освоения и проработка тем лекционного материала; выполнения и подготовки к защите курсового проекта.

Выполнение курсового проекта по дисциплине «Теория механизмов и машин» преследует цели, направленные на закрепление, углубление и обобщение теоретических знаний, способствует развитию творческой инициативы и самостоятельности при принятии решений технических задач анализа и синтеза механизмов, а также повышению интереса к изучению дисциплины и получению навыков научно-исследовательской работы.

Видами заданий для внеаудиторной самостоятельной работы также являются:

- *для овладения знаниями*: чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы), составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными документами, учебно-исследовательская работа, использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и Интернета и др.

- *для закрепления и систематизации знаний*: работа с конспектом лекции, обработка текста, повторная работа над учебным материалом (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей, составление плана, составление таблиц для систематизации учебного материала, ответ на контрольные вопросы, заполнение рабочей тетради, аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, конспект-анализ и др), подготовка мультимедиа сообщений/докладов к выступлению на семинаре (конференции), подготовка реферата, составление библиографии и др.

- *для формирования умений*: решение задач и упражнений по образцу, решение вариативных задач, выполнение чертежей, схем, выполнение расчетов (графических работ), решение ситуационных (профессиональных) задач, проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности, опытно экспериментальная работа, рефлексивный анализ профессиональных умений с использованием аудио- и видеотехники и др.

**АННОТАЦИЯ**  
**рабочей программы дисциплины**  
**Теория механизмов и машин**

**1. Цель и задачи дисциплины**

Целью изучения дисциплины является – анализ и синтез типовых механизмов и их систем.

Задачами изучения дисциплины является:

- проектирование новых механизмов по заданным кинематическим и динамическим условиям (синтез механизмов);
- исследование существующих механизмов (анализ механизмов) с целью их усовершенствования и улучшения их эксплуатационных качеств, а также для получения данных для прочностных и технологических расчетов;
- разработка общих методов исследования структуры, геометрии, кинематики и динамики типовых механизмов и их систем;
- содействовать средствами данной дисциплины развитию личностных качеств, определяемых общими целями обучения и воспитания, изложенными в ООП (общей образовательной программе);
- привить навыки самообразования и самоорганизации.

**2. Структура дисциплины**

2.1. Распределение трудоёмкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: лекции – 17 часов; лабораторные работы – 34 часа; практические занятия – 17 часов; самостоятельная работа – 76 часов.

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 180 часов, 5 зачетных единиц.

2.2 Основные разделы дисциплины:

1. Механизмы с низшими кинематическими парами.
2. Механизмы с высшими кинематическими парами.

**3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ОК-5 – способность к самоорганизации и самообразованию;

ПК-25 – способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности и методы теоретического и экспериментального исследования.

**4. Вид промежуточной аттестации: Экзамен, КП.**

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе  
на 20\_\_-20\_\_ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

---

---

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

---

---

---

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.,  
(разработчик)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО  
КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

| <b>№ компетенции</b>            | <b>Элемент компетенции</b>  | <b>Раздел</b>   | <b>Тема</b>   | <b>ФОС</b>                               |
|---------------------------------|---|---|---|--|
| <b>ОК-5</b>                     | способность к самоорганизации и самообразованию   | <b>1.</b> Механизмы с низшими кинематическими парами  | 1.1. Механизмы и машины. Структурный анализ механизмов. | Отчет по ЛР №1;<br>Отчет по ПЗ №1;<br>КП |
|                                 |   | <b>2.</b> Механизмы с высшими кинематическими парами. | 2.1. Зубчатые механизмы.                                | Отчет по ЛР №2...5;<br>КП                |
| 2.2. Сложные зубчатые механизмы |   |   |   |  |
| <b>ПК-25</b>                    | способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности и методы теоретического и экспериментального исследования | <b>1.</b> Механизмы с низшими кинематическими парами  | 1.2. Кинематический анализ.                             | Отчет по ПЗ №2...3;<br>КП                |
|                                 |   |   | 1.3. Динамика. Кинетостатический анализ.                |  |
|                                 |   | <b>2.</b> Механизмы с высшими кинематическими парами. | 2.1. Зубчатые механизмы.                                | Отчет по ЛР №2...5;<br>КП                |
|                                 |   |   | 2.2. Сложные зубчатые механизмы                         |  |

## 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

| Показатели   | Оценка                            | Критерии  |
|--|-----------------------------------|---|
| <p><b>знать:</b><br/>ОК-5<br/>– классификацию, функциональные возможности и области применения основных видов механизмов;<br/>ПК-25<br/>– методы расчета кинематических и динамических параметров движения механизмов;</p> <p><b>уметь:</b><br/>ОК-5<br/>– идентифицировать и классифицировать механизмы и устройства, используемые в конструкциях машин и оборудования, при наличии их чертежа или доступного для разборки образца;<br/>ПК-25<br/>– оценивать основные качественные характеристики механизмов и устройств, используемых в конструкциях машин и оборудования;</p> <p><b>владеть:</b><br/>ОК-5<br/>– методами расчёта несущей способности элементов и узлов машин и оборудования с использованием графических, аналитических и численных методов.<br/>ПК-25<br/>– методами проектирования машин и оборудования, в том числе, с использованием трехмерных моделей.</p> | <p><b>отлично</b></p>             | <p>Оценки «отлично» заслуживает обучающийся:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обнаруживший всестороннее, систематическое знание: классификации, функциональных возможностей и области применения основных видов механизмов; методов расчета кинематических и динамических параметров движения механизмов.</li> <li>- умеющий идентифицировать и классифицировать механизмы и устройства, оценивать основные качественные характеристики механизмов и устройств, используемых в конструкциях машин и оборудования;</li> <li>- глубоко овладевший методами проектирования машин и оборудования, в том числе, с использованием трехмерных моделей и методами расчёта несущей способности элементов и узлов машин и оборудования с использованием графических, аналитических и численных методов.</li> </ul>  |
|  | <p><b>хорошо</b></p>              | <p>Оценки «хорошо» заслуживает обучающийся:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обнаруживший полное знание: классификации, функциональных возможностей и области применения основных видов механизмов; методов расчета кинематических и динамических параметров движения механизмов;</li> <li>- проявивший умение идентифицировать и классифицировать механизмы и устройства, оценивать основные качественные характеристики механизмов и устройств, используемых в конструкциях машин и оборудования,</li> <li>- успешно владеющий методами проектирования машин и оборудования, в том числе, с использованием трехмерных моделей и методами расчёта несущей способности элементов и узлов машин и оборудования с использованием графических, аналитических и численных методов.</li> </ul>   |
|  | <p><b>удовлетворительно</b></p>   | <p>Оценки «удовлетворительно» заслуживает обучающийся:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обнаруживший знания: классификации, функциональных возможностей и области применения основных видов механизмов; методов расчета кинематических и динамических параметров движения механизмов достаточные для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии;</li> <li>- проявивший умение идентифицировать и классифицировать механизмы и устройства, оценивать основные качественные характеристики механизмов и устройств, используемых в конструкциях машин и оборудования в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии;</li> <li>- справляющийся с методами проектирования машин и оборудования, в том числе, с использованием трехмерных моделей и методами расчёта несущей способности элементов и узлов машин и оборудования с использованием графических, аналитических и численных методов.</li> </ul> |
|  | <p><b>неудовлетворительно</b></p> | <p>Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обнаружившему пробелы в знаниях: классификации, функциональных возможностей и области применения основных видов механизмов; методов расчета кинематических и динамических параметров движения механизмов;</li> <li>- не умеющему идентифицировать и классифицировать механизмы и устройства, оценивать основные качественные характеристики механизмов и устройств, используемых в конструкциях машин и оборудования;</li> <li>- допустившему принципиальные ошибки в проектировании машин и оборудования и в расчётах несущей способности элементов и узлов машин и оборудования с использованием графических, аналитических и численных методов.</li> </ul>   |