

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Фурсов Владимир Алексеевич

Должность: И.о. директора Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского

федерального университета «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Дата подписания: 05.06.2026 10:35:03

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Уникальный программный ключ:

1c378726a41fd0143ae5bccc8ba81860b00daa62

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

### **Методические указания**

по выполнению лабораторных работ

по дисциплине «ДЕТАЛИ МАШИН И ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ»

для студентов направления подготовки

23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Пятигорск 2026 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                                                 | 4  |
| Лабораторная работа № 1. ....                                                                                                  | 7  |
| Тема: «Изучение и анализ конструкций механических передач» .....                                                               | 7  |
| Лабораторная работа № 2. ....                                                                                                  | 20 |
| Тема: «Изучение конструкции и составление кинематических схем приводов<br>технологических машин» .....                         | 20 |
| Лабораторная работа № 3. ....                                                                                                  | 25 |
| Тема: «Определение силовых и кинематических характеристик приводов машин» .....                                                | 25 |
| Лабораторная работа № 4. ....                                                                                                  | 28 |
| Тема: «Изучение конструкции, регулировка и оценка нагрузочной способности<br>цилиндрического двухступенчатого редуктора» ..... | 28 |
| Лабораторная работа № 5. ....                                                                                                  | 36 |
| Тема: «Изучение конструкции и определение технических характеристик ременной<br>передачи».....                                 | 36 |
| Лабораторная работа № 6. ....                                                                                                  | 44 |
| Тема: «Изучение конструкции и определение технических характеристик цепной<br>передачи».....                                   | 44 |
| Лабораторная работа № 7. ....                                                                                                  | 49 |
| Тема: «Изучение конструкции и определение технических характеристик червячного<br>редуктора с цилиндрическим червяком» .....   | 49 |
| Лабораторная работа № 8. ....                                                                                                  | 53 |
| Тема: «Изучение конструкции подшипников качения» .....                                                                         | 53 |
| Лабораторная работа № 9. ....                                                                                                  | 57 |
| Тема: «Изучение конструкций подшипниковых узлов» .....                                                                         | 57 |

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу «Детали машин и основы конструирования» является учебным пособием для студентов, обучающихся по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Учебными планами предусмотрено усиление физико-математической подготовки студентов путем введения ряда дисциплин по изучению методов научных исследований; внедрения ЭВМ в учебный процесс, обращено внимание на индивидуализацию обучения. В этой связи лабораторные работы приобретают особую значимость, так как испытывать машины и отдельные узлы приходится каждому инженеру, как конструктору, так и технологу.

Лабораторные работы являются действенным средством обучения, посредством которого студентам прививаются навыки проведения научных исследований. Основными задачами лабораторных работ являются экспериментальное изучение работы деталей и узлов машин – познание физической сущности явлений, происходящих в процессе их эксплуатации; подтверждение на практике теоретических положений и выводов, с которыми студенты знакомятся при освоении лекционного материала; развитие навыков и умения самостоятельной работы с приборами и экспериментальным оборудованием – проведение замеров напряжений, деформаций, усилий, крутящих моментов, перемещений; ознакомление с методикой выполнения различных по характеру работ и исследований; использование существующих методов обработки данных для обобщения и анализа полученных результатов.

В настоящие методические указания включено 9 лабораторных работ, тематика и содержание которых охватывают разделы программы курса «Детали машин и основы конструирования». Количество и тематика выполняемых работ определяются временем, предусмотренным учебным планом на лабораторные занятия соответственно направлению подготовки.

В методических указаниях описываются методики проведения работ, порядок их выполнения, даются описания конструкций (схем) экспериментальных установок и измерительной аппаратуры, приводятся бланки содержания отчетов, кратко излагаются теоретические положения по теме проводимых исследований. Используемая терминология и трактовка рассматриваемых вопросов отвечает действующим требованиям ЕСКД и увязана по содержанию с учебниками и учебными пособиями по деталям машин. По каждой работе сформулированы контрольные вопросы, помогающие акцентировать внимание студентов на основных положениях и результатах исследований; проверить готовность к работе; снизить уровень полученных знаний.

Содержание и объем лабораторных работ рассчитаны на выполнение их двумя – тремя студентами в течение одного занятия (двух академических

часов). При этом предусматривается самостоятельная предварительная проработка соответствующих разделов курса и описания работы.

С целью получения наиболее точных результатов в ряде лабораторных работ предусматривается повторение опыта. Чтобы уменьшить трудоемкость результатов замеров принимается среднее арифметическое значение нескольких измерений.

Для ознакомления студентов с современными, опирающимися на вычислительную технику методами обработки опытных данных, применяемых в научных исследованиях, в одной или нескольких лабораторных работах следует произвести число измерений, достаточное для обработки результатов эксперимента методами математической статистики.

| Код, формулировка компетенции                                                                                                                   | Код, формулировка индикатора                                                                                                                                         | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и инженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности | ИД-1 <sub>ОПК-1</sub><br>Основы естественнонаучных и инженерных наук, методов математического анализа и моделирования.                                               | Готовность к контролю технического состояния транспортных средств с использованием средств технического диагностирования                                                                    |
|                                                                                                                                                 | ИД-2 <sub>ОПК-1</sub><br>Применять естественнонаучные и инженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности.           | Готовность к организации и контролю качества и безопасности процессов сервиса, параметров технологических процессов с учетом требований потребителя                                         |
|                                                                                                                                                 | ИД-3 <sub>ОПК-1</sub><br>Навыком применения естественнонаучных и инженерных знаний, методов математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности. | Способен адаптировать и модифицировать специализированное программное обеспечение, методы и алгоритмы систем искусственного интеллекта и машинного обучения в профессиональной деятельности |
| ОПК-5 Способен принимать обоснованные технические решения, выбирать эффективные и безопасные технические                                        | ИД-1 <sub>ОПК-5</sub><br>Знать эффективные и безопасные технические средства, и технологии                                                                           | Готовность к контролю технического состояния транспортных средств с использованием средств технического диагностирования                                                                    |

|                                                                               |                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>средства, и технологии при решении задач профессиональной деятельности</p> | <p>ИД-2ОПК-5<br/>Уметь принимать обоснованные технические решения, выбирать эффективные и безопасные технические средства, и технологии при решении задач профессиональной деятельности</p>        | <p>Готовность к организации и контролю качества и безопасности процессов сервиса, параметров технологических процессов с учетом требований потребителя</p>                                         |
|                                                                               | <p>ИД-3ОПК-5<br/>Владеть навыками принятия обоснованных технических решений выбора эффективных и безопасных технических средств, и технологий при решении задач профессиональной деятельности.</p> | <p>Способен адаптировать и модифицировать специализированное программное обеспечение, методы и алгоритмы систем искусственного интеллекта и машинного обучения в профессиональной деятельности</p> |

## Лабораторная работа № 1.

Тема: «Изучение и анализ конструкций механических передач»

**Цель работы:** ознакомление с устройством различных механизмов, составлением их кинематических схем и методикой проведения структурного анализа

**Знать:** основные источники научно-технической информации по основным группам деталей машин используемых в машиностроении; правила и порядок проектирования технических объектов

**Уметь:** выбирать оптимальные решения при создании объектов энергетического машиностроения; подготавливать техническую документацию в соответствии с требованиями ЕСКД

**Владеть:** терминологией в области деталей машин, используемых в машиностроении; навыками практического применения полученных знаний в профессиональной деятельности.

### Теоретическая часть

Исходными данными для проведения структурного анализа плоского механизма является структурная схема, выполненная в определенном масштабе с указанием ведущего звена. Структурным анализом называется разложение кинематической цепи механизма на ведущие звенья (начальные механизмы) и структурные группы.

**Степень подвижности механизма.** Число степеней подвижности плоского механизма определяется по формуле П.Л. Чебышева:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 - p_4,$$

где  $n$  - число подвижных звеньев;

$p_5$  - число кинематических пар пятого класса (низшие пары);

$p_4$  - число кинематических пар четвертого класса (высшие пары).

Вращательная кинематическая пара 5-го класса может состоять из двух подвижных звеньев 1 и 2 (рис. 1.1, а) или из одного подвижного 1 и одного неподвижного 0 (стойка) звена (рис. 1.1, б).

Поступательная кинематическая пара 5-го класса образуется как двумя подвижными звеньями 1 и 2 (рис. 1.2, а), так и подвижным звеном 1 и неподвижным звеном 0 (рис. 1.2, б).

Примеры кинематических пар 4-го класса представлены на рис. 1.3, а, б.

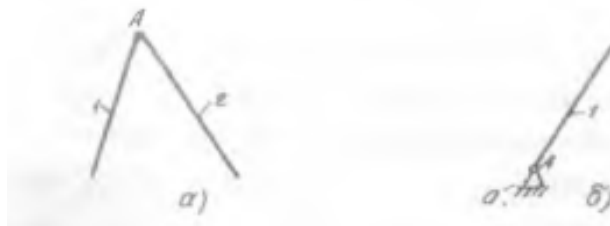


Рисунок 1.1 – Вращательные кинематические пары 5-го класса



Рисунок 1.2 – Поступательные кинематические пары 5-го класса



Рисунок 1.4 – Кинематические пары 4-го класса.

### Замена высших кинематических пар низшими.

Необходимость замены механизма с высшей кинематической парой эквивалентным ему механизмом с низшими парами возникает во многих случаях. Например, после замены механизма с высшей парой рычажным механизмом можно узнать класс механизма, а затем установить, какой в данном случае необходим метод исследования и в каком порядке целесообразно переходить от одних звеньев или их точек к другим. При изучении структуры и кинематики плоских механизмов во многих случаях удобно заменять высшие пары кинематическими цепями или звеньями, входящими только в низшие вращательные и поступательные пары 5-го класса. Такая замена должна производиться с учетом эквивалентности по структуре и кинематике. Для того, чтобы выдержать условие кинематической эквивалентности, замена высшей пары низшими должна быть выполнена следующим образом (рис. 1.4). В точке касания профилей (пара 4-го класса) надо провести нормаль п-п к профилям, на этой нормали найти центры кривизны соприкасающихся профилей В и С, установить в них центры шарниров, соединив их фиктивным звеном ВС. Это звено будет входить в две пары 5-го класса (условие структурной эквивалентности), а механизм ABCD называется заменяющим механизмом.

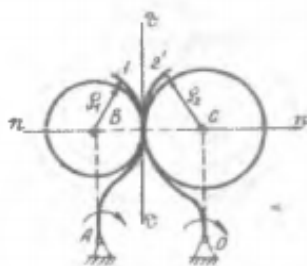


Рисунок 1.5 – Замена высшей пары низшими в криволинейных профилях

Описанная замена правильна для заданного положения основного механизма. В другом положении схема заменяющего механизма останется той же, а размеры звеньев изменятся, ибо центры кривизны В и С сместятся. Если один из соприкасающихся элементов будет представлять некоторую кривую, а второй - прямую, то центр кривизны второго профиля будет бесконечно удален. В этом случае замена осуществляется одной вращательной и одной поступательной парами (рис. 1.5). На рис. 1.7 и 1.8 представлена замена высших пар низшими в кулачковом механизме с поступательно движущимся толкателем и в зубчатом механизме соответственно.

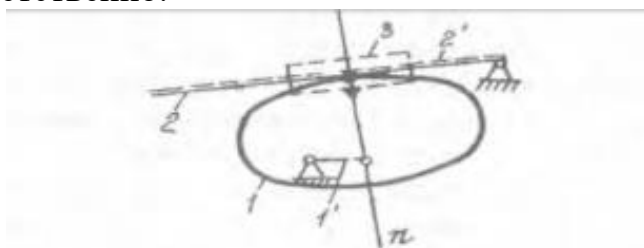


Рисунок 1.6 – Замена высшей пары низшими в кулачковом механизме с качающимся толкателем.

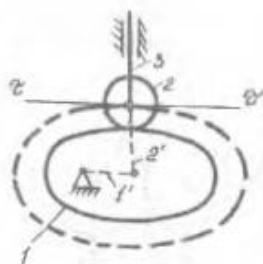


Рисунок 1.7 – Замена высшей пары низшими в кулачковом механизме с поступательно движущимся толкателем

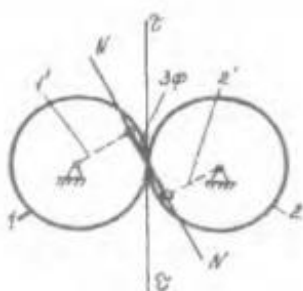


Рисунок 1.8 – Замена высшей пары низшими в зубчатом механизме

**Структурные группы.** Кинематическая цепь, степень подвижности которой равна нулю, называется структурной группой, или группой Ассура. Причем она не должна распадаться на более простые кинематические цепи, удовлетворяющие условию:  $W_{гр}=0$ . Для плоских механизмов, звенья которых входят только в пары 5-го класса, это условие будет выглядеть так:

$$3n - 2p_s = 0.$$



Так как числа звеньев и пар  $p_5$  могут быть только целыми, то последнему условию удовлетворяют определенные сочетания чисел звеньев и кинематических пар, входящих в группу (табл. 1.1).

Таблица 1.1 Сочетание звеньев  $n$  и кинематических пар  $p_5$ , входящих в структурную группу

| №<br>п/п | 1 | 2 | 3 | 4  | 5   | ... |
|----------|---|---|---|----|-----|-----|
| $n$      | 2 | 4 | 6 | 8  | ... | ... |
| $p_5$    | 3 | 6 | 9 | 12 | ... | ... |

Нужно соблюдать следующие правила при разложении механизма на структурные группы:

а) отсоединение структурных групп начинать со звеньев, наиболее удаленных по кинематической цепи от ведущего звена; б) отсоединять наиболее простую структурную группу, то есть группу второго класса второго порядка;

в) следить за тем, чтобы ошибочно не принять несколько простых групп за одну структурную группу более высокого класса (например, две группы второго класса имеют число звеньев  $n = 4$  и пар  $p_5 = 6$ , так же как и группы третьего класса третьего порядка или четвертого класса второго порядка);

г) если попытки отсоединения группы II класса не дадут решения, то надо переходить к попыткам отсоединения групп III класса. После групп III класса следует переходить к группам IV класса и т. д.;

д) следить за тем, чтобы отсоединяемая часть механизма действительно представляла собой структурную группу, т.е. выдерживалось условие  $p_5 = \frac{3n}{2}$ ,

е) наблюдать за тем, чтобы доставшаяся кинематическая цепь продолжала обладать тем же числом степеней подвижности, что и исходный механизм, т.е. чтобы ни одно из звеньев оставшейся цепи и ни одна из оставшихся кинематических пар не выключались из работы. При этом надо иметь в виду, что каждая кинематическая пара и каждое звено могут входить только в одну структурную группу;

ж) выделить в таком же порядке все остальные структурные группы. В результате разложения должны остаться стойка и ведущее звено. Структурные группы принято классифицировать по классам и порядкам. Класс группы определяется по наивысшему классу замкнутого контура, входящего в структурную группу. Класс контура определяется числом внутренних кинематических пар, входящих в контур (табл. 1.2).

Таблица 1.2 – Определение класса контура структурной группы

| Класс<br>контура | II | III | IV | V | ... |
|------------------|----|-----|----|---|-----|
|------------------|----|-----|----|---|-----|

|        |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |     |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Контур |  |  |  |  | ... |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|

Начиная с 4-го класса и выше в рассмотрение принимаются подконттуры. Конттуры 2-го и 3-го классов - неподвижные.

Порядок структурной группы определяется числом свободных кинематических пар, т.е. таких пар, которые могут быть присоединены к другим звеньям. Класс структурной группы обозначается римскими цифрами, а порядок - арабскими (например, II<sub>2</sub> - второй класс второй порядок, III<sub>3</sub> - третий класс третий порядок). При разбивке механизма на структурные группы необходимо знать структурные схемы групп всех систем и семейств, всех классов, порядков и модификаций. На рисунке 1.9 показаны структурные группы различных классов и порядков:

- а) группа второго класса второго порядка;
- б) группа третьего класса третьего порядка;
- в) группа четвертого класса второго порядка;
- г) группа третьего класса четвертого порядка.

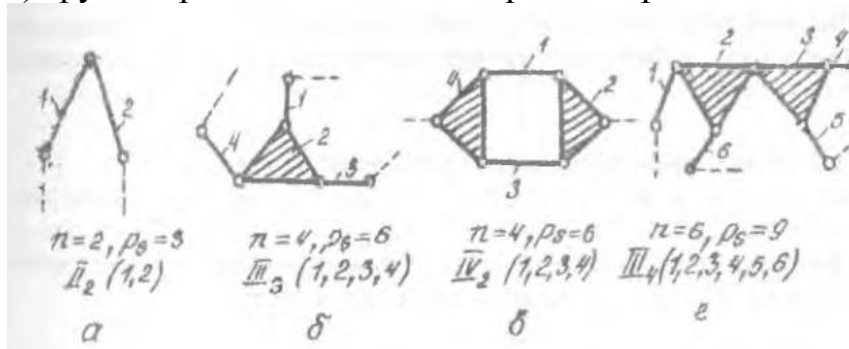


Рисунок 1.9 – Структурные группы различных классов и порядков

Наиболее распространены структурные группы второго класса второго порядка (H<sub>2</sub>). Поэтому их еще дополнительно классифицируют по видам (рис. 1.10).

Число степеней подвижности оставшейся части механизма после выделения из его состава каждой группы нормального вида остается неизменным.

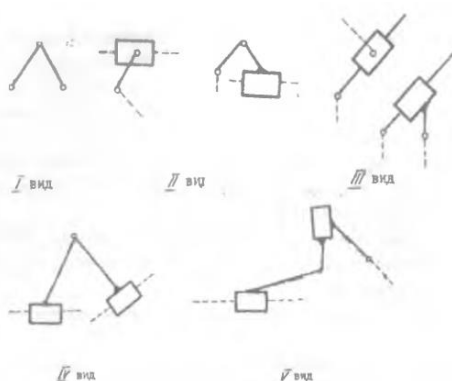


Рисунок 1.10 – Виды структурных групп второго класса второго порядка

При правильном выделении структурных групп оставшиеся звенья должны образовать нормальный механизм, более простой, но обладающий тем же числом степеней подвижности, что и первоначальный механизм.

### **Классификация механизма и формула его строения.**

Класс механизма определяется классом наивысшей группы, входящей в его состав.

Формула строения механизма показывает порядок присоединения структурных групп к ведущему звену и друг к другу.

### **Особые случаи структурного анализа**

Шарнир называется сложным, если он соединяет более двух звеньев. В данном случае (рис. 1.11) шарнир В соединяет три звена. Определяя степень подвижности кинематической цепи механизма относительно стойки, надо иметь в виду, что число пар, образующих сложный шарнир, находится как

$$p_5 = k - 1,$$

где  $k$  - число пересекающихся в шарнире звеньев.

Число пар сложного шарнира называют его кратностью. Шарнир В является двукратным.

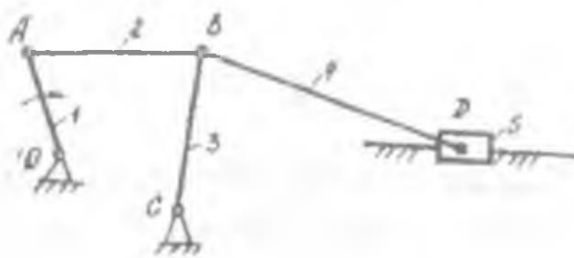


Рисунок 1.11 - Кинематическая схема грохота

Механизм может иметь дополнительное звено 4, не влияющее на характер движения других звеньев (рис. 1.12). В этом случае расстояние между точками С и D при работе механизма остается неизменным, чем и объясняется, что звено 4 не налагает на движение остальных звеньев дополнительных условий связи. Данный механизм является механизмом с избыточными (пассивными) связями. Избыточная связь не влияет на кинематику, но делает механизм статически неопределимой системой. Лучше применять механизмы статически определимые, то есть без избыточных (пассивных) связей.

Степень подвижности механизма с учетом звена 4:

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 6 - 0 = 0,$$

то есть при подсчете по структурной формуле получается, что данная кинематическая схема представляет собой ферму.

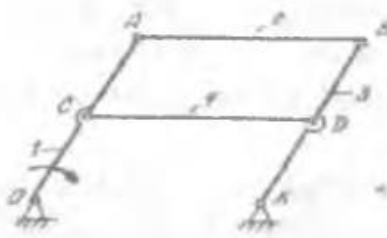


Рисунок 1.12 – Схема механизма с пассивной связью

Действительную степень подвижности кинематической цепи механизма относительно стойки ( $W = 1$ ) можно определить по структурной формуле лишь в том случае, если предварительно выявить звено 4 и его пассивные связи (шарниры C и D) и не учитывать их при подстановке в формулу для определения степени подвижности.

Степень подвижности  $W$  кулачкового механизма с качающимся толкателем, снабженным роликом 2 (рис. 1.13), равна:

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 - 1 = 2.$$

Кулачковый механизм имеет лишь одно ведущее звено, и закон движения толкателя получается вполне определенным. Вторая степень свободы механизма, соответствующая дополнительному вращению ролика 2 вокруг своей оси, на закон движения толкателя не влияет. Ролик 2 позволяет в высшей кинематической паре трение скольжения заменить трением качения.

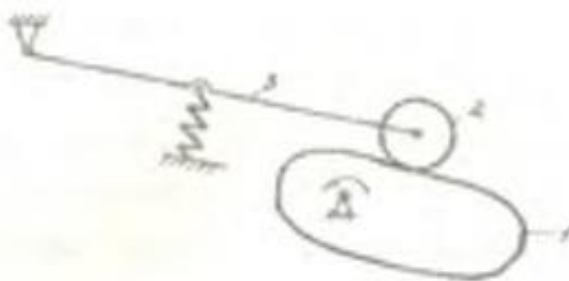


Рисунок 1.13 – Схема кулачкового механизма с качающимся роликовым толкателем.

### Тезаурус

Тезаурус (в информатике) - полный систематизированный набор данных о какой-либо области знаний, позволяющий человеку или вычислительной машине в ней ориентироваться. Структурный анализ плоского механизма - разложение плоского механизма на структурные группы и составление формулы строения механизма.

Плоский механизм - механизм, подвижные звенья которого совершают плоское движение параллельно одной и той же неподвижной плоскости.

Механизм - система тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких твердых тел в требуемое движение других твердых тел.

Звено - твердое тело, входящее в состав механизма.

Структурная группа - кинематическая цепь, степень подвижности которой равна нулю.

Кинематическая цепь - система звеньев, связанных между собой кинематическими парами.

Кинематическая пара - соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающее их относительное движение.

Степень подвижности  $W = 3n - 2p_5 - p_4$ .

Число подвижных звеньев  $n$  - число звеньев, перемещающихся относительно стойки.

Стойка - звено, принимаемое за неподвижное.

Число низших пар  $p_5$  - число кинематических пар, в которых требуемое относительное движение звеньев может быть получено постоянным соприкосновением элементов по поверхности.

Число высших кинематических пар  $p_4$  - число кинематических пар, в которых требуемое относительное движение звеньев может быть получено только соприкосновением их элементов по линии и в точке.

Исходные данные для структурного анализа плоского механизма - схема механизма; размеры звеньев; обозначение ведущего звена.

Анализ исходных данных - совокупность сведений, позволяющих ответить на следующие вопросы: какова работоспособность схемы с учетом заданных размеров звеньев; как передается движение от ведущего звена к последнему по кинематической цепи; для какой из реальных машин может быть применена данная схема.

Построение эквивалентной схемы плоского механизма без высших кинематических пар - совокупность действий, дающих возможность заменить данную схему плоского механизма эквивалентной. Эквивалентная схема - схема, в которой высшие кинематические пары заменены низшими, а закон движения выходного звена остался без изменения. Выходное звено - звено, совершающее движение, для выполнения которого предназначен механизм.

Определение класса структурной группы - это действие, дающее возможность установить высший класс контура, входящий в данную структурную группу. Класс контура - определяется числом звеньев, образующих данный контур. Определение порядка структурной группы - это действие, дающее возможность установить число свободных кинематических связей. Кинематическая связь - условие непосредственного соприкосновения звеньев, образующих кинематическую пару.

Составление формулы строения плоского механизма - формула строения плоского механизма включает порядок подсоединения структурных групп в последовательности от входного звена к выходному с указанием их класса и порядка. Входное звено - звено, которому сообщается движение, преобразуемое механизмом в требуемые движения других звеньев.

**Оборудование и материалы:** варианты структурных схем механизмов, справочные материалы

### **Указания по технике безопасности**

В целях исключения травматизма, а также поломки оборудования, технологической оснастки и приборов каждый студент перед выполнением лабораторных работ должен тщательно изучить правила техники безопасности

#### **ЗАПРЕЩАЕТСЯ:**

- приступать к выполнению работы без ознакомления с правилами по технике безопасности в лаборатории;
- включать оборудование без разрешения и присутствия преподавателя или учебного мастера;
- подходить к оборудованию в расстегнутых халатах и костюмах или с распущенными волосами.

#### **ПЕРЕД ВЫПОЛНЕНИЕМ РАБОТЫ СЛЕДУЕТ:**

- заправить одежду, застегнуть рукава, убрать волосы под головной убор;
- убрать с оборудования все ненужные предметы;
- подготовить к работе оборудование, инструменты, приборы и убедиться в их исправности.

### **Задания**

1. Вычертить механизм в одном из положений, при котором лучше всего просматривается относительное расположение звеньев.
2. Определить число степеней свободы механизма по формуле Чебышева.
3. Произвести замену высших пар низшими кинематическими парами и вычертить эквивалентный механизм.
4. Определить число степеней свободы эквивалентного механизма.
5. Разложить механизм на структурные группы, определить класс и порядок структурных групп.
6. Записать формулу строения механизма.

### **Содержание отчета**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Кинематическая схема механизма (рис. 1.14).

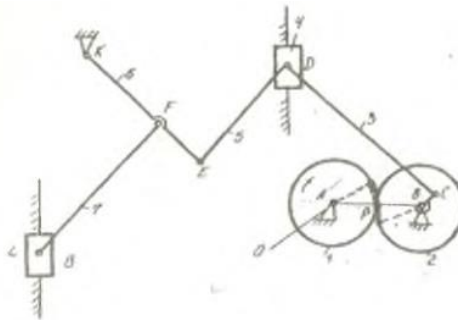


Рисунок 1.14 – Кинематическая схема механизма

2. Определение числа степеней свободы механизма (табл.1.3).

$$n = 8, \quad p_5 = 11, \quad p_4 = 1.$$

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 8 - 2 \cdot 11 - 1 = 1.$$

Таблица 1.3 Кинематические пары основного механизма

| № пар | Наименование пар          | Звенья, входящие в пару |
|-------|---------------------------|-------------------------|
| A     | 5-й класс, вращательная   | 0-1                     |
| P     | 4-й класс                 | 1-2                     |
| B     | 5-й класс, вращательная   | 0-2                     |
| C     | 5-й класс, вращательная   | 2-3                     |
| D     | 5-й класс, вращательная   | 3-4                     |
| D     | 5-й класс, поступательная | 4-0                     |
| D     | 5-й класс, вращательная   | 4-5                     |
| E     | 5-й класс, вращательная   | 5-6                     |
| K     | 5-й класс, вращательная   | 6-0                     |
| F     | 5-й класс, вращательная   | 6-7                     |
| L     | 5-й класс, вращательная   | 7-8                     |
| L     | 5-й класс, поступательная | 8-0                     |

3. Эквивалентная схема плоского механизма без высших кинематических пар (замена высших пар 4-го класса низшими парами 5-го класса) (рис. 1.15).

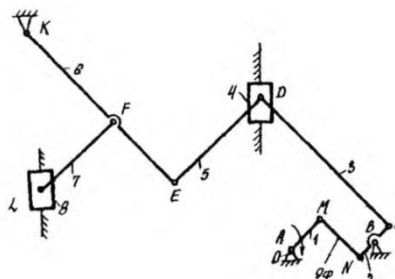


Рисунок 1.15 – Эквивалентная схема механизма

4. Определение числа степеней подвижности эквивалентного механизма (табл.1.4)

$$n = 9, \quad p_5 = 13, \quad p_4 = 0.$$

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 9 - 2 \cdot 13 - 0 = 1.$$

Таблица 1. 4 – Кинематические пары эквивалентного механизма

| № пар | Наименование пар          | Звенья, входящие в пару |
|-------|---------------------------|-------------------------|
| А     | 5-й класс, вращательная   | 0-1                     |
| М     | 5-й класс, вращательная   | 1-9ф                    |
| Н     | 5-й класс, вращательная   | 9ф-2                    |
| В     | 5-й класс, вращательная   | 2-0                     |
| С     | 5-й класс, вращательная   | 2-3                     |
| Д     | 5-й класс, вращательная   | 3-4                     |
| Д     | 5-й класс, поступательная | 4-0                     |
| Д     | 5-й класс, вращательная   | 4-5                     |
| Е     | 5-й класс, вращательная   | 5-6                     |
| К     | 5-й класс, вращательная   | 6-0                     |
| Г     | 5-й класс, вращательная   | 6-7                     |
| Л     | 5-й класс, вращательная   | 7-8                     |
| Л     | 5-й класс, поступательная | 8-0                     |

5. Разложение механизма на структурные группы (группы Ассура) и проверка степени подвижности механизма после отделения соответствующей структурной группы (рис. 1.15):

А)  $W_r = 3n - 2p_5 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0;$

$$W_m = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 10 - 0 = 1$$

Б)  $W_r = 3n - 2p_5 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0;$

$$W_m = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 - 0 = 1$$

В)  $W_r = 3n - 2p_5 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0;$

$$W_m = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 - 0 = 1$$

Г)  $W_m = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = 1$



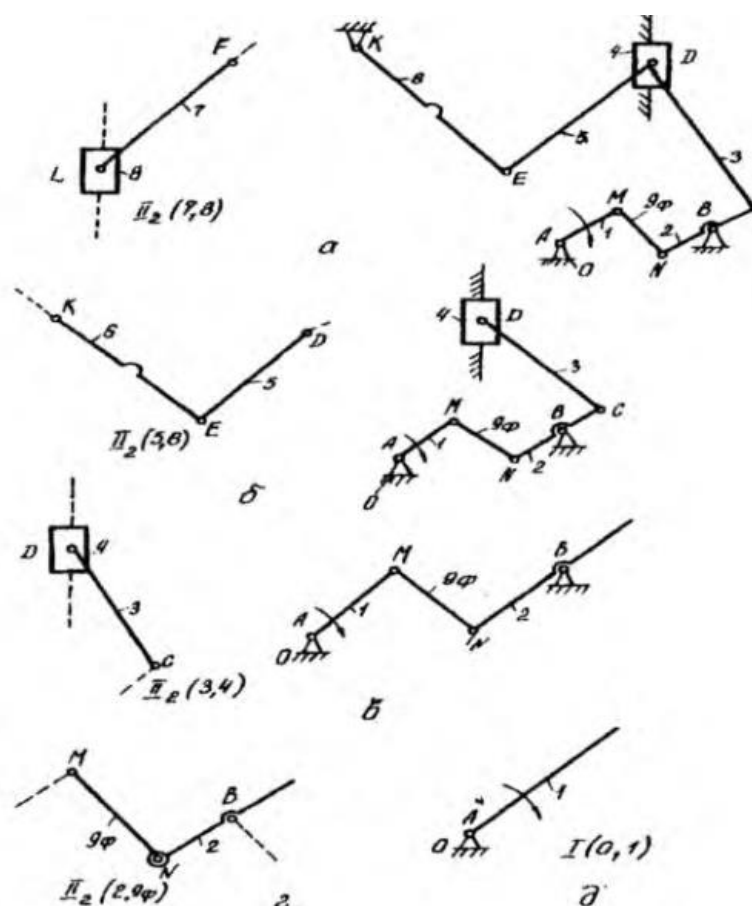


Рисунок 1.6 – Структурные группы механизма. Класс и порядок структурных групп. Схемы механизма после соответствующей группы.

6. Определение класса и порядка структурных групп:

- а)  $\Pi_2(7,8)$ ;
- б)  $\Pi_2(5,6)$ ;
- в)  $\Pi_2(3,4)$ ;
- г)  $\Pi_2(2,9\phi)$ ;
- д)  $I(0,1)$ .

7. Формула строения механизма.

$I(0,1) \rightarrow \Pi_2(2,9\phi) \rightarrow \Pi_2(3,4) \rightarrow \Pi_2(5,6) \rightarrow \Pi_2(7,8)$ .

Это механизм II класса.

### Контрольные вопросы:

1. Дайте определение понятий машина, механизм, машины-автомата, автоматической линии.
2. Дайте определение звену, кинематической пары, кинематической цепи, детали, сборочной единицы.
3. Дайте характеристику основным требованиям, предъявляемым к объектам техники?
4. Как определяется класс кинематической пары?

5. Поясните смысл структурной формулы определения степени подвижности механизма.
6. Начертите схемы основных типов механизмов.
7. Что такое избыточные связи?
8. Как определяется степень подвижности механизмов?
9. Дайте характеристику структурной классификации механизмов.

## Лабораторная работа № 2.

Тема: «Изучение конструкции и составление кинематических схем приводов технологических машин»

**Цель работы:** ознакомление студентов с условными графическими обозначениями в кинематических схемах и обучение самостоятельному составлению кинематических схем действующих приводов; научиться составлять самостоятельно кинематические схемы в соответствии со стандартными условными графическими изображениями

**Знать:** основные источники научно-технической информации по основным группам деталей машин используемых в машиностроении; правила и порядок проектирования технических объектов

**Уметь:** выбирать оптимальные решения при создании объектов энергетического машиностроения; подготавливать техническую документацию в соответствии с требованиями ЕСКД

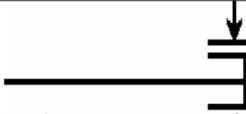
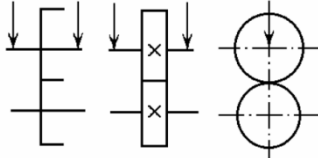
**Владеть:** терминологией в области деталей машин, используемых в машиностроении; навыками практического применения полученных знаний в профессиональной деятельности.

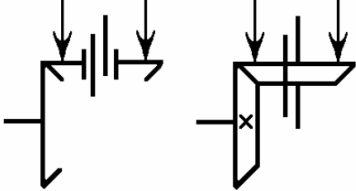
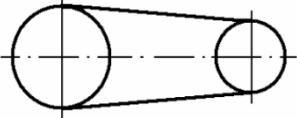
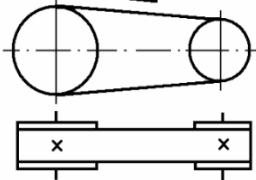
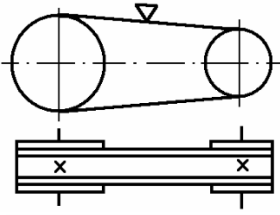
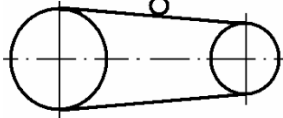
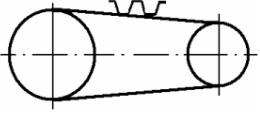
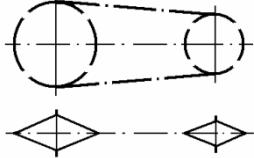
### Теоретическая часть

Таблица 1 – Основные графические обозначения элементов кинематики

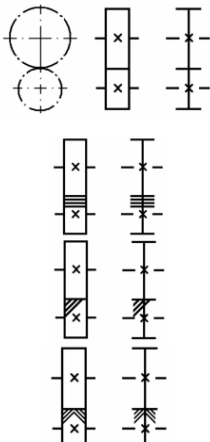
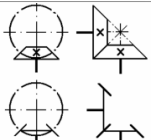
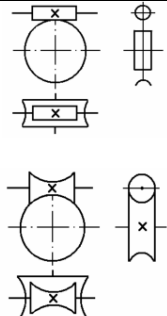
| Наименование                                                                                     | Обозначение                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                | 2                                                                                    |
| 1. Вал, валик, ось, стержень, шатун и т.п.                                                       |  |
| 2. Подшипники скольжения и качения на валу (без уточнения типа):<br>а) радиальные;<br>б) упорные |  |
| 3. Муфта. Общее обозначение без уточнения типа                                                   |  |

Продолжение таблицы 2.1.

|                                                           |                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                         | 2                                                                                    |
| 4. Тормоз. Общее обозначение без уточнения типа           |  |
| 5. Передачи фрикционные:<br>а) с цилиндрическими роликами |  |

|                                                               |                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| б) с коническими роликами                                     |    |
| 6. Передача с ремнем без уточнения типа ремня                 |    |
| 7. Передача с плоским ремнем                                  |    |
| 8. Передача с клиновым ремнем                                 |    |
| 9. Передача с круглым ремнем                                  |   |
| 10. Передача с зубчатым ремнем                                |  |
| 11. Передача цепью, общее обозначение без уточнения типа цепи |  |

Продолжение таблицы 2.1

| 1                                                                                                                                                                                 | 2                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>12. Передачи зубчатые (цилиндрические):</p> <p>а) внешнее зацепление (общее обозначение без уточнения типа зубьев)</p> <p>б) то же, с прямыми, косыми и шевронными зубьями</p> |    |
| <p>13. Передачи зубчатые с пересекающимися валами, конические</p>                                                                                                                 |    |
| <p>14. Передачи зубчатые со скрещивающимися осями:</p> <p>а) червячные с цилиндрическим червяком</p> <p>б) червячные глобоидные</p>                                               |   |
| <p>15. Электродвигатель</p>                                                                                                                                                       |  |

**Оборудование и материалы:** варианты кинематических схем для самостоятельного рассмотрения студентами, комплект моделей приводов, линейка

### Указания по технике безопасности

В целях исключения травматизма, а также поломки оборудования, технологической оснастки и приборов каждый студент перед выполнением лабораторных работ должен тщательно изучить правила техники безопасности

#### ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

- приступать к выполнению работы без ознакомления с правилами по технике безопасности в лаборатории;
- включать оборудование без разрешения и присутствия преподавателя или учебного мастера;
- подходить к оборудованию в расстегнутых халатах и костюмах или с распущенными волосами.

### ПЕРЕД ВЫПОЛНЕНИЕМ РАБОТЫ СЛЕДУЕТ:

- заправить одежду, застегнуть рукава, убрать волосы под головной убор;
- убрать с оборудования все ненужные предметы;
- подготовить к работе оборудование, инструменты, приборы и убедиться в их исправности.

### Задания

1. Студенты заносят графические обозначения элементов кинематики в таблицу и затем рассматривают предложенную кинематическую схему привода и определяют ее состав.

2. Студенты знакомятся с работой действующих моделей приводов, после чего вычерчивают кинематические схемы с выносками позиций и расшифровкой обозначений.



Рисунок 1 – Модель привода 1.

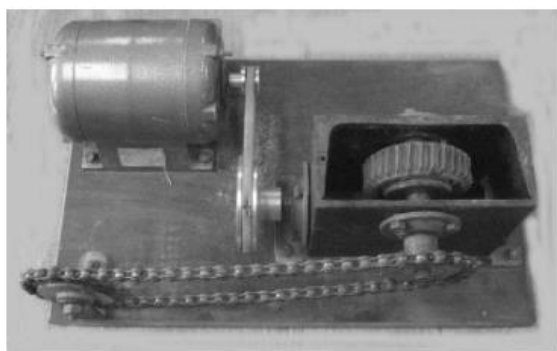


Рисунок 2 – Модель привода 2.

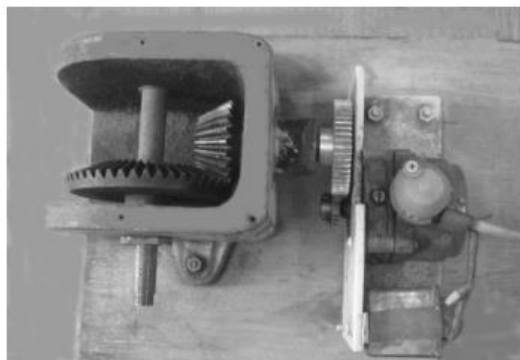


Рисунок 3 – Модель привода 3.

## **Содержание отчета**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Название и цель работы;
2. Таблицу графических обозначений элементов кинематики;
3. Задание и исходные данные;
4. Кинематическую схему привода, предложенного преподавателем;
5. Вычерченные кинематические схемы с выносками позиций и расшифровкой обозначений схемы привода.

## **Контрольные вопросы:**

1. Условные обозначения на кинематических схемах.
2. Общие правила выполнения кинематических схем.
3. Дайте определение механизма и машины.
4. Как классифицируют машины по назначению и характеру выполняемой работы?
5. Что такое фрикционный механизм и как он работает?
6. Какие механизмы имеют гибкие связи?
7. Перечислите конструктивные признаки зубчатых механизмов.

### Лабораторная работа № 3.

Тема: «Определение силовых и кинематических характеристик приводов машин»

**Цель работы:** получение теоретических знаний по расчету и конструированию деталей и узлов общего назначения, встречающихся в различных машинах и механизмах

**Знать:** правила и порядок проектирования технических объектов; правила и порядок проектирования технических объектов

**Уметь:** самостоятельно разбираться в нормативных методиках расчета и применять их для решения поставленной задачи

**Владеть:** навыками практического применения полученных знаний в профессиональной деятельности.

#### Теоретическая часть

Силовые (мощность и вращающий момент) и кинематические (частота вращения и угловая скорость) параметры привода рассчитывают на валах из требуемой (расчетной) мощности двигателя ( $P_{\text{дв}}$ ) и его номинальной частоты вращения ( $n_{\text{ном}}$ ). Необходимые расчетные соотношения представлены в табл. (3.1).

Таблица 3.1 - Кинематические и силовые параметры привода

| Вариант соединения элементов привода                                                                      | Определяемый параметр                                   |                                          |                                                  |                                                                       | Вал привода |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------|
|                                                                                                           | Мощность $P$ , кВт                                      | Частота вращения $n$ , мин <sup>-1</sup> | Угловая скорость $\omega$ , рад/с                | Вращающий момент $T$ , Н·м                                            |             |
| дв – оп – зп – м – рм                                                                                     | $P_{\text{дв}}$                                         | $n_{\text{ном}}$                         | $\omega = 1 / 30 (\pi n_{\text{ном}})$           | $T_{\text{дв}} = P_{\text{дв}} / \omega_{\text{ном}}$                 | дв          |
|                                                                                                           | $P_1 = P_{\text{дв}} \eta_{\text{оп}} \eta_{\text{пк}}$ | $n_1 = n_{\text{ном}} / u_{\text{оп}}$   | $\omega_1 = \omega_{\text{ном}} / u_{\text{оп}}$ | $T_1 = T_{\text{дв}} u_{\text{оп}} \eta_{\text{оп}} \eta_{\text{пк}}$ | б           |
|                                                                                                           | $P_2 = P_1 \eta_{\text{зп}} \eta_{\text{пк}}$           | $n_2 = n_1 / u_{\text{зп}}$              | $\omega_2 = \omega_1 / u_{\text{зп}}$            | $T_2 = T_1 u_{\text{зп}} \eta_{\text{зп}} \eta_{\text{пк}}$           | т           |
|                                                                                                           | $P_{\text{рм}} = P_2 \eta_{\text{м}} \eta_{\text{пс}}$  | $n_{\text{рм}} = n_2$                    | $\omega_{\text{рм}} = \omega_2$                  | $T_{\text{рм}} = T_2 \eta_{\text{м}} \eta_{\text{пс}}$                | рм          |
| дв – м – зп – — оп – рм                                                                                   | $P_{\text{дв}}$                                         | $n_{\text{ном}}$                         | $\omega = 1 / 30 (\pi n_{\text{ном}})$           | $T_{\text{дв}} = P_{\text{дв}} / \omega_{\text{ном}}$                 | дв          |
|                                                                                                           | $P_1 = P_{\text{дв}} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{пк}}$  | $n_1 = n_{\text{ном}}$                   | $\omega_1 = \omega_{\text{ном}}$                 | $T_1 = T_{\text{дв}} u_{\text{оп}} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{пк}}$  | б           |
|                                                                                                           | $P_2 = P_1 \eta_{\text{зп}} \eta_{\text{пк}}$           | $n_2 = n_1 / u_{\text{зп}}$              | $\omega_2 = \omega_1 / u_{\text{зп}}$            | $T_2 = T_1 u_{\text{зп}} \eta_{\text{зп}} \eta_{\text{пк}}$           | т           |
|                                                                                                           | $P_{\text{рм}} = P_2 \eta_{\text{оп}} \eta_{\text{пс}}$ | $n_{\text{рм}} = n_2 / u_{\text{оп}}$    | $\omega_{\text{рм}} = \omega_2 / u_{\text{оп}}$  | $T_{\text{рм}} = T_2 \eta_{\text{оп}} \eta_{\text{пс}}$               | рм          |
| Примечание: $\eta_{\text{пк}}$ – КПД подшипников качения; $\eta_{\text{пс}}$ – КПД подшипников скольжения |                                                         |                                          |                                                  |                                                                       |             |



Их выбирают в зависимости от последовательности соединения элементов привода по кинематической схеме. В заданиях на курсовое проектирование предусмотрено два варианта соединения элементов привода. Первый вариант: двигатель (дв) – открытая передача (оп) – закрытая передача (зп) – муфта (м) – рабочая машина (рм). Второй вариант: дв – м – зп – оп – рм. Определяемые параметры относятся к различным валам привода: валу двигателя (дв); быстроходному валу привода (б); тихоходному валу привода (т) и валу рабочей машины (рм).

**Оборудование и материалы:** варианты кинематических схем для самостоятельного рассмотрения студентами, комплект моделей приводов, линейка

### **Указания по технике безопасности**

В целях исключения травматизма, а также поломки оборудования, технологической оснастки и приборов каждый студент перед выполнением лабораторных работ должен тщательно изучить правила техники безопасности

#### **ЗАПРЕЩАЕТСЯ:**

- приступать к выполнению работы без ознакомления с правилами по технике безопасности в лаборатории;
- включать оборудование без разрешения и присутствия преподавателя или учебного мастера;
- подходить к оборудованию в расстегнутых халатах и костюмах или с распущенными волосами.

#### **ПЕРЕД ВЫПОЛНЕНИЕМ РАБОТЫ СЛЕДУЕТ:**

- заправить одежду, застегнуть рукава, убрать волосы под головной убор;
- убрать с оборудования все ненужные предметы;
- подготовить к работе оборудование, инструменты, приборы и убедиться в их исправности.

### **Задания**

1. Получить от преподавателя вариант кинематической схемы привода машины или механизма.
2. Спроектировать полученный вариант схемы в отчет о лабораторной работе
2. Выбрать оптимальные параметры для расчета представленной кинематической схемы
4. Произвести расчет кинематических и силовых характеристик привода.

### **Содержание отчета**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Название и цель работы;

2. Кинематическую схему привода;
3. Задание и исходные данные;
4. Расчет кинематических и силовых характеристик привода;
5. Вычерченные кинематические схемы с выносками позиций и расшифровкой обозначений схемы привода.

### **Контрольные вопросы:**

1. Основные типы механических передач.
2. Достоинства и недостатки механических передач.
3. Определение передаточного отношения механических передач.
4. Что называется крутящим моментом.
5. Что такое угловая скорость вала и как она определяется?
6. Какие валы называются входными, а какие выходными.
7. Как определить мощность привода?
8. Как подобрать электродвигатель к приводу?

## Лабораторная работа № 4.

Тема: «Изучение конструкции, регулировка и оценка нагрузочной способности цилиндрического двухступенчатого редуктора»

**Цель работы:** ознакомиться с классификацией передаточных механизмов, конструкцией редуктора, его узлов и деталей; выяснить назначение всех деталей редуктора; определить основные параметры зубчатых зацеплений обеих ступеней редуктора.

**Знать:** основные источники научно-технической информации по основным группам деталей машин используемых в машиностроении; методику проведения экспериментальных исследований

**Уметь:** самостоятельно разбираться в нормативных методиках расчета и применять их для решения поставленной задачи

**Владеть:** навыками практического применения полученных знаний в профессиональной деятельности.

### Теоретическая часть

Передаточные механизмы (ПМ) в виде редукторов, коробок скоростей, вариаторов и мультипликаторов нашли широкое применение в современном машиностроении: станках, автомобилях, сельскохозяйственных машинах, кранах, транспортирующих устройствах, буровом оборудовании и во многих областях техники.

Редуктором называется механизм, состоящий из одной или нескольких передач зацеплением, смонтированных в едином закрытом корпусе (картере), предназначенный для редуцирования параметров движения – понижения угловой скорости  $\omega$  (частоты вращения  $n$ ) и повышения вращающего момента на исполнительном (рабочем) валу агрегата. Основной кинематической характеристикой передачи является передаточное число  $u = \omega_1 / \omega_2$  и равно отношению чисел зубьев колеса  $Z_2$  и шестерни  $Z_1$  ( $u = Z_2 / Z_1$ ). Для редуктора  $Z_2 > Z_1$  и соответственно  $u > 1$ . Если редуктор состоит из нескольких передач, то передаточное число редуктора определяется перемножением передаточных чисел каждой последовательно расположенной передачи.

Подобный механизм может выполнять и обратную задачу – повышать угловую скорость и понижать вращающий момент на рабочем валу. Тогда этот механизм относится к мультипликаторам,  $Z_2 < Z_1$  и соответственно  $u < 1$ .

Внешние характеристики редукторов каждого типа определяются следующими основными параметрами: передаточным отношением (частотой вращения выходного вала) – кинематической характеристикой; вращающим моментом и допускаемой консольной нагрузкой на выходном валу – силовой характеристикой редуктора; коэффициентом полезного действия (КПД).

Из зубчатых редукторов наиболее часто используются цилиндрические редукторы благодаря широкому диапазону передаваемых ими мощностей, малых габаритов, высокой долговечности и КПД, простоте изготовления и обслуживания.

В свою очередь из цилиндрических редукторов наиболее распространены двухступенчатые трёхосные редукторы, валы которых находятся в горизонтальной плоскости. Редукторы с последовательным расположением ступеней (рисунок 4.1а) наиболее просты, однако несимметричное расположение колёс относительно опор приводит к повышению концентрации нагрузки по длине зубьев. Поэтому такие редукторы требуют жёстких валов.

Для улучшения условий работы зубчатых колёс применяют редукторы с раздвоенной быстроходной ступенью (рисунок 4.1б). Хотя этот вариант сложнее технологически и требует некоторого увеличения осевого размера редуктора, однако, вследствие симметричного расположения колёс позволяет добиться более равномерного распределения нагрузки по ширине зубчатого венца наиболее нагруженной тихоходной ступени и уравнивания сил в косозубых передачах раздвоенной ступени. Для обеспечения равномерного распределения нагрузки между параллельно работающими передачами на быстроходной ступени, промежуточный вал (средний) или вал шестерни устанавливаются на подшипниках, допускающих смещение вдоль оси и самоустановку раздвоенной ступени. Тихоходная ступень может быть прямозубой, косозубой или шевронной.

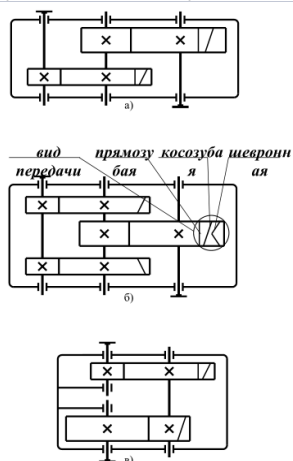


Рисунок 4.1 - Наиболее распространенные кинематические схемы цилиндрических двухступенчатых редукторов

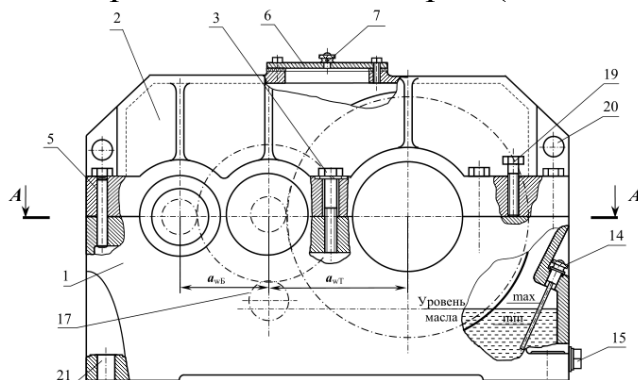
Кроме того, из двухступенчатых цилиндрических редукторов находят применение соосные зубчатые редукторы (рисунок 1в). Они имеют малые габариты по длине и в них легко достигается одинаковое погружение колёс в масляную ванну. Однако, вследствие необходимости размещения некоторых подшипников внутри корпуса у этих редукторов увеличен размер в осевом направлении и усложнена конструкция корпуса. Помимо этого наблюдение и контроль состояния внутренних подшипников в эксплуатации затруднены.

Конструктивное оформление двухступенчатого зубчатого редуктора с последовательным расположением валов показано на рисунках 2 и 3.

- |                                  |                                                       |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1 – основание корпуса;           | 14 – игла масломерная (маслоуказатель);               |
| 2 – крышка корпуса;              | 15 – пробка для слива масла;                          |
| 3 – болты стяжные;               | 16 – уплотнение вала;                                 |
| 4 – гайки крепёжные;             | 17 – зубчатое колесо для смазки быстроходной ступени; |
| 5 – штифты конические;           | 18 – шпонка призматическая;                           |
| 6 – смотровая крышка;            | 19 – винт отжимной;                                   |
| 7 – отдушина;                    | 20 – проушины грузовые;                               |
| 8 – быстроходный (ведущий) вал;  | 21 – нижний пояс основания редуктора                  |
| 9 – промежуточный вал;           | с отверстиями;                                        |
| 10 – тихоходный (ведомый) вал;   | $Z_1-Z_2$ – быстроходная косозубая зубчатая пара;     |
| 11 – подшипники качения;         | $Z_3-Z_4$ – тихоходная косозубая зубчатая пара.       |
| 12 – крышка подшипника глухая;   |                                                       |
| 13 – крышка подшипника сквозная; |                                                       |

Корпус редуктора с целью облегчения сборки изготовлен в виде разъёмной (по осям валов передач) коробки. Он состоит из нижней части 1, называемой основанием, и верхней 2 – крышки. Разъём корпуса выполнен горизонтальным. Корпус и крышка соединяются болтами 3, поставленными с зазором в отверстия специальных фланцев и гайками 4 (возможно соединение винтами и шпильками с гайками). Взаимное положение крышки и корпуса фиксируется коническими (реже цилиндрическими) штифтами 5. В верхней части крышки имеется смотровое окно (люк), через которое производится наблюдение за состоянием зубчатых колёс передачи, а также заливается масло.

Люк закрывается крышкой 6, имеющей отдушину 7, предназначенную для выравнивания давления внутри корпуса по отношению к наружному. При отсутствии отдушины нагретый воздух при эксплуатации редуктора будет выдавливаться вместе с маслом (вследствие избыточного давления) через уплотнения и на корпусе образуются масляные подтёки, отдушина также необходима для полного слива масла из редуктора. Внутри корпуса размещены две косозубые пары: быстроходная  $Z_1-Z_2$  и тихоходная  $Z_3-Z_4$ . Каждая пара состоит из шестерни (меньшего зубчатого колеса) и колеса.



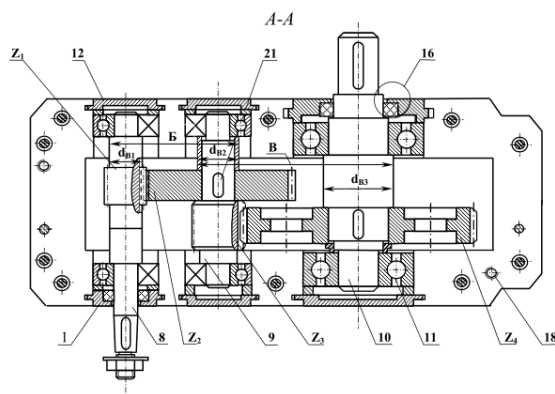


Рисунок 4.2 - Конструкция редуктора с последовательным расположением валов

В изучаемом редукторе имеется три вала, расположенных последовательно: быстроходный (ведущий) 8, промежуточный 9 и тихоходный (ведомый) 10. Плоскость разъёма корпуса проходит по осям валов. В опорах всех валов передач: быстроходного 8, промежуточного 9 и тихоходного 10 применены подшипники качения 11, расположенные в отверстиях приливов (бобышек) корпуса и крышки. Назначение опор – фиксировать и удерживать вращающиеся детали в нужном, для правильной работы механизма, взаимном положении.

В рассматриваемом редукторе могут использоваться радиальные шарикоподшипники, либо роликоподшипники (последние воспринимают радиальную и значительную осевую нагрузку). На торец кольца подшипника наносят маркировку в виде ряда цифр и букв. Заметим, что на маркировке две первые цифры справа обозначают внутренний диаметр  $d$  подшипника. Эти цифры, умноженные на 5 дают  $d$  (для подшипников с  $d=20 - 495$  мм). Третья цифра справа обозначает серию подшипников. Особо лёгкая серия обозначается цифрой 1, лёгкая – 2, средняя – 3, тяжёлая – 4 и т.д. Четвёртая цифра справа указывает тип подшипника: 0 – радиальный шариковый однорядный, 1 – шариковый двухрядный сферический, 2 – с короткими цилиндрическими роликами, 3 – роликовый двухрядный со сферическими роликами и т.д. Пятая и шестая цифры справа обозначают отклонение конструкции подшипника от основного типа (например буртик или кольцевая проточка на наружном кольце). Седьмая цифра справа обозначает серию ширины подшипника. Цифры 2,4,5,6, стоящие через тире впереди слева цифр условного обозначения подшипника, указывают его класс точности, в порядке её понижения. Приведённая упрощённая расшифровка маркировки подшипников является далеко не исчерпывающей, т.к. слева и справа от условного обозначения подшипника могут располагаться дополнительные знаки, характеризующие изменение металла элементов подшипника, специальные технологические требования и т.д. Снаружи подшипники закрыты закладными (врезными) крышками: глухими 12 и сквозными (с отверстиями для прохода вала) 13. Эти крышки входят своими

кольцевыми выступами в соответствующие канавки в отверстиях корпуса редуктора, что обеспечивает их осевую фиксацию

**Оборудование и материалы:** редуктор зубчатый цилиндрический двухступенчатый, ключи гаечные рожковые 10х12, 14х17, 19х22, отвёртка, штангенциркуль с диапазоном 0-250 мм, транспортир, линейка, карандаш, мел, микрокалькулятор.

### **Указания по технике безопасности**

Работу выполнять после ознакомления с методикой её проведения и следующими правилами техники безопасности:

- Запрещается работать неисправным ключом, применять несоответствующего размера.
- Прежде чем начать какое-либо действие, убедитесь, что оно не принесёт вреда окружающим.
- Снятые детали и узлы редуктора следует положить на стол или подставку таким образом, чтобы они не могли упасть от случайного толчка.
- Не подкладывайте пальцы под вал колеса и крышку редуктора при их установке.

### **Задания**

#### **1. Разборка редуктора**

Разборка редуктора поясняется на примере двухступенчатого редуктора, приведённого на рисунках 2, 3 и производится в следующей последовательности:

- Отвинтить гайки 4 и вынуть болты 3.
- С помощью отжимных винтов 19 разъединить крышку и корпус 1.
- Снять крышку редуктора (отложить в сторону).
- Измерить штангенциркулем размеры Б и В и соответствующие диаметры валов  $d_{b1}$ ,  $d_{b2}$ ,  $d_{b3}$  (см. рисунок 4.2),
- подсчитать межосевое расстояние.

$$\alpha_{w1} = B - \frac{d_{b1}}{2} - \frac{d_{b2}}{2}; \quad \alpha_{w2} = B - \frac{d_{b2}}{2} - \frac{d_{b3}}{2};$$

- Вынуть валы в сборке с колёсами, подшипниками и сквозными крышками подшипников. Подшипники и зубчатые колёса с валов не спрессовывать, наружные кольца конических подшипников не терять.

#### **2 Ознакомление с конструкцией редуктора**

При разборке необходимо ознакомиться с его конструкцией, выяснить назначение деталей (в соответствии с приведённым выше описанием и рекомендованной литературой). Предлагаемые для изучения на занятиях редукторы могут конструктивно отличаться от описанного в данных указаниях. Одновременно с этим выполнять следующее:

- Составить кинематическую схему изучаемого редуктора (см. примеры на рисунке 1), с соблюдением условных обозначений по ГОСТ 2.701-84, на

ней пронумеровать валы и зубчатые колёса и проставить размеры межосевых расстояний ступеней.

- Сделать эскизы:
- зубчатого колеса и вала-шестерни изучаемого редуктора и проставить условные обозначения с размерами;
- отдельных элементов корпуса проушина грузовая, бобышка подшипника (по указанию преподавателя);
- уплотнений и подшипниковых узлов одного из валов изучаемого редуктора (быстроходного или тихоходного) с указанием размеров, посадок и условного обозначения подшипника, ориентируясь на его маркировку, нанесённую на торец кольца.
- Визуальным осмотром определить состояние, характер и виды повреждений зубьев зубчатых колёс, элементов подшипников качения и шпоночных соединений. Сделать выводы по оценке условий и сроке эксплуатации изучаемого редуктора.

### 3 Определение параметров зубчатого зацепления

- Межосевые расстояния обеих ступеней сравнить со стандартным значением по ГОСТ 2185-66 (СТ СЭВ 229-75). (межосевое расстояние в редукторе может быть и нестандартным).

- Подсчитать числа зубьев шестерни  $Z_1$  и  $Z_3$  – обеих ступеней редуктора.

- Подсчитать числа зубьев зубчатых колёс быстроходной  $Z_2$  и тихоходной  $Z_4$  ступеней редуктора.

- Вычислить передаточное число каждой ступени:

$$u_o = \frac{Z_2}{Z_1}, \quad u_m = \frac{Z_4}{Z_3},$$

- Подсчитать общее передаточное число редуктора:

$$u_{\Sigma} = u_o \cdot u_m,$$

- Измерить ширину зубчатых колёс каждой ступени  $b_2$  и  $b_4$ .

- Определить коэффициент ширины колёс:

$$\psi_{BAB} = \frac{b_2}{\alpha_{\omega B}}, \quad \psi_{BAT} = \frac{b_4}{\alpha_{\omega T}},$$

- Вычислить делительные диаметры шестерен каждой ступени:

$$d_1 = \frac{2 \cdot \alpha_{\omega B}}{u_B + 1}, \quad d_2 = \frac{2 \cdot \alpha_{\omega T}}{u_T + 1},$$

- Подсчитать окружной модуль зацепления:

$$m_{t1} = \frac{d_1}{Z}, \quad m_{t2} = \frac{d_3}{Z_3},$$

- Измерить углы наклона зубьев по наружному цилиндру на колёсах обеих ступеней. Замеры производятся следующим образом: по листу чистой бумаги, наложенному на копировальную, прокатить без скольжения зубчатые колёса и по полученным отпечаткам замерить транспортиром острый угол между следом осевой плоскости колеса и боковой линией зуба.



При отсутствии транспорта угол можно определить с помощью линейки и калькулятора.

- Вычислить нормальный модуль для обеих ступеней (полученный результат уточнить по ГОСТ 9563-60.

$$m_{n1} = m_{t1} \cdot \cos \beta_1, \quad m_{n2} = m_{t2} \cdot \cos \beta_2,$$

- Уточнить значение угла наклона зуба по формуле, (до тысячных):

$$\beta_1 = \arccos\left(\frac{Z_{\Sigma 1} \cdot m_{n1}}{2 \cdot \alpha_{\omega 1}}\right), \quad \beta_2 = \arccos\left(\frac{Z_{\Sigma 2} \cdot m_{n2}}{2 \cdot \alpha_{\omega 2}}\right),$$

- Подсчитать окружной и нормальный шаг зацепления каждой ступени:

$$p_n = m_n \cdot \pi, \quad p_t = \frac{m_n \cdot p}{\cos \beta},$$

- Измерить окружной шаг зацепления  $p_t$  обеих ступеней и сравнить его с расчётным.

- Измерить диаметр вершин зубьев шестерен  $d_{a1}$ ,  $d_{a3}$  обеих ступеней, затем вычислить по формуле:

$$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m_{n1}, \quad d_{a3} = d_3 + 2 \cdot m_{n2},$$

Результаты измерений сравнить с расчетными значениями, пояснить почему нет равенства.

- Вычислить диаметры вершин зубьев колёс  $d_{a2}$  и  $d_{a4}$  по формуле:

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m_{n1}, \quad d_2 = m_{t2} \cdot Z_2,$$

$$d_{a4} = d_4 + 2 \cdot m_{n2}, \quad d_4 = m_{t2} \cdot Z_4,$$

- Вычислить диаметры впадин зубьев колёс и шестерен обеих ступеней:

$$d_{fi} = d_i - 2,5 \cdot m_n.$$

- Измерения параметров производить с точностью до 0.05 мм. Кроме того, необходимо обмерить колесо любой ступени с целью простановки размеров на его эскиз.

**4** Сборка редуктора производится в последовательности, обратной разборке. После выполнения работы редуктор представить для проверки комплектности преподавателю.

### Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Название и цель работы;
2. Кинематическую схему редуктора;
3. Эскизы: зубчатого колеса, шестерни, подшипниковых узлов с уплотнением валов;
4. Характеристику зацепления;
5. Результаты измерений и расчетных данных.

### Контрольные вопросы:

1. Назначение отдушины в редукторе.

2. Какой способ смазки подшипников в редукторе ?
3. Что называется передаточным числом зубчатой передачи ?
4. Назначение отжимного винта в редукторе.
5. Назначение призматических шпонок в редукторе.
6. Назначение штифтов в корпусе редуктора.
7. Какие составляющие нормальной силы действуют в косозубом зацеплении?
8. Как определяется делительный диаметр косозубого колеса ?
9. В каких случаях устанавливаются мазеудерживающие кольца ?
10. Назовите основной геометрический параметр зацепления.
11. От чего зависят допускаемые контактные напряжения для материала зубчатых колёс ?
12. Какие параметры зубчатого зацепления стандартизованы ?
13. На каком валу редуктора мощность больше ?
14. По какому основному признаку отличают ось от вала ?
15. Как выбирают размеры поперечного сечения шпонок ?
16. Как уплотняется плоскость разъёма корпуса ?
17. Почему твёрдость поверхности зубьев шестерни принимают больше твёрдости зубьев колеса ?
18. Какие параметры и как влияют на нагрузочную способность зубчатого зацепления ?
19. Какое условие прочности положено в основу проектного расчёта закрытых зубчатых передач ?
20. Дайте определение модуля зацепления.
21. Дайте характеристику подшипника с обозначением 7306 .
22. Чем определяется КПД редуктора ?
23. Что такое редуктор, его назначение, в чем отличие от мультипликатора?

## Лабораторная работа № 5.

Тема: «Изучение конструкции и определение технических характеристик ременной передачи»

**Цель работы:** ознакомиться с конструкцией ременной передачи; выяснить назначение всех деталей ременной передачи; определить основные параметры ременной передачи.

**Знать:** основные источники научно-технической информации по основным группам деталей машин используемых в машиностроении; методику проведения экспериментальных исследований

**Уметь:** самостоятельно разбираться в нормативных методиках расчета и применять их для решения поставленной задачи

**Владеть:** навыками практического применения полученных знаний в профессиональной деятельности.

### Теоретическая часть

Ременная передача – передача трением с гибкой связью. Она состоит из ведущего диаметром  $d_1$ , ведомого диаметром  $d_2$  шкивов и ремня 1, надетого на шкивы с предварительным натяжением (рис. 5.1). Нагрузку передают силы трения между шкивами и ремнем.

После зубчатой передачи ременная – наиболее распространенная из механических передач.

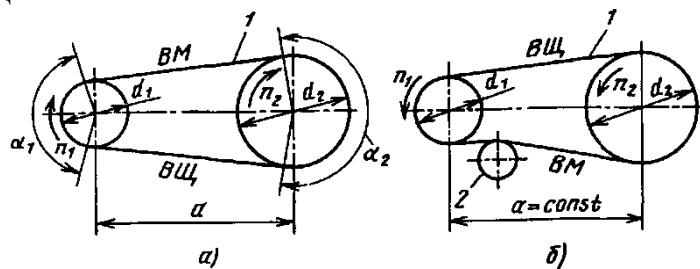


Рисунок 5.1 – Ременная передача

В зависимости от формы поперечного сечения ремня бывают передачи: плоским ремнем (рис. 5.2, а), клиновым ремнем (рис. 5.2, б), поликлиновым ремнем (рис. 5.2, в), круглым ремнем (рис. 5.2, г). Наибольшее применение в машиностроении имеют клиновые и поликлиновые ремни.

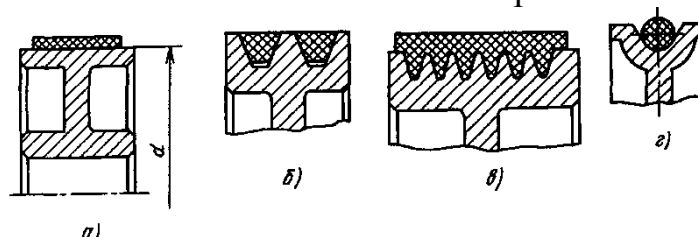


Рисунок 5.2 – Формы поперечного сечения ремня

Ремни изготавливают из прорезиненных тканей или синтетических материалов.

Передача плоским ремнем обладает повышенными работоспособностью и долговечностью (в связи с меньшими напряжениями изгиба в плоских ремнях). Ее рекомендуют применять при больших межосевых расстояниях (до 15 м) или высоких скоростях ремня (до 100 м/с).

За счет клинового эффекта в передачах клиновым и поликлиновым ремнями можно реализовать большие силы трения и уменьшить габариты передачи.

Ремни круглого сечения предназначены для пространственных передач малой мощности (оборудование полиграфической и текстильной промышленности, настольные станки, приборы, бытовые машины). Скорость ремня до 30 м/с.

Разновидностью ременной передачи является передача зубчатым ремнем, передающая нагрузку путем зацепления ремня со шкивами.

Достоинства ременных передач: простота конструкции, эксплуатации и малая стоимость; возможность передачи движения на значительные расстояния (до 15м); возможность работы с высокими частотами вращения; плавность и бесшумность работы вследствие эластичности ремня; смягчение вибраций и толчков вследствие упругости ремня; предохранение механизмов от перегрузок вследствие возможного проскальзывания ремня (к передачам зубчатым ремнем это свойство не относится).

Недостатки ременных передач: большие радиальные размеры, в особенности при передаче значительных мощностей; малая долговечность ремня в быстроходных передачах; большие нагрузки на валы и подшипники от натяжения ремня, необходимость устройств для натяжения ремня; Непостоянное передаточное число вследствие неизбежного упругого скольжения ремня; чувствительность нагрузочной способности к наличию паров влаги и нефтепродуктов.

**Применение.** Ременные передачи применяют в приводах для передачи движения от электродвигателя или ДВС, когда по конструктивным соображениям межосевое расстояние должно быть достаточно большим, а передаточное число  $u$  может быть не строго постоянным (приводы металлорежущих станков, конвейеров, транспортных, дорожных, строительных и сельскохозяйственных машин и др.). Передачи зубчатым ремнем можно применять и в приводах, требующих постоянного значения  $u$  (приборные и робототехнические устройства).

Мощность, передаваемая ременной передачей, обычно до 50кВт, хотя может достигать 2000 кВт и больше. Скорость ремня  $v = 5...50$  м/с, а в высокоскоростных передачах – до 100 м/с и выше.

**Клиновые ремни** имеют трапецевидное поперечное сечение (рис. 5.3). Ремни работают на шкивах с канавками соответствующего ремню профиля. Профили ремней и канавок шкивов имеют контакт только по боковым (рабочим) поверхностям ремней и боковым граням канавок шкивов.

Между внутренней поверхностью ремня и дном канавки шкива должен быть зазор.

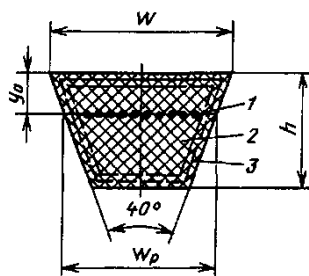


Рисунок 5.3 – Поперечное сечение клинового ремня

В передаче часто применяют несколько клиновых ремней (комплект).

**Достоинством** этой передачи по сравнению с передачей плоским ремнем является то, что благодаря повышенному (до трех раз) сцеплению ремня со шкивами, обусловленному *эффектом клина*, она может передавать большую мощность, допускает меньший угол обхвата на малом шкиве, а следовательно, и меньшее межосевое расстояние  $a$ , допускает бесступенчатое регулирование скорости (ременные вариаторы).

**Недостатками** являются большие напряжения изгиба вследствие значительной высоты ремня, большие потери на внешнее и внутреннее трение, большая стоимость изготовления шкивов и неодинаковая работа ремней в комплекте вследствие отклонений в их длине.

Рекомендуют **применять** передачи клиновыми ремнями при малых межосевых расстояниях, больших передаточных числах, вертикальном расположении осей валов. Их можно встретить в приводах станков, промышленных установок, вентиляторов, в транспортных, дорожно-строительных и сельскохозяйственных машинах. Клиновые передачи применяют для мощностей до 200кВт.

**Поликлиновые ремни** — бесконечные плоские ремни с продольными ребрами — клиньями, входящими в кольцевые клиновые канавки на шкивах (рис. 5.4). В поликлиновых ремнях корд 1 из высокопрочного полиэфирного шнура расположен в тонкой плоской части. Резина 2 над кордом и по ребрам ремня защищена оберткой 3. Выпускают также ремни без обертки, обеспечивающие коэффициент трения в 2 раза выше, чем при наличии обертки, что увеличивает тяговую способность, позволяет снижать предварительное натяжение.

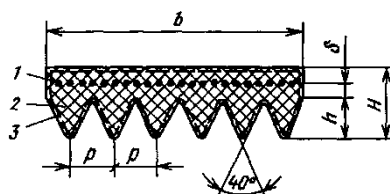


Рисунок 5.4 – Поперечное сечение поликлинового ремня

Изготавливают ремни трех сечений (в порядке увеличения высоты  $H$  ремня, высоты  $h$  ребра, шага  $p$ ): К, Л и М. Размер  $\delta$  определяет положение нейтрального слоя.

Поликлиновые ремни сочетают достоинства ремней плоских (гибкость) и клиновых (высокая тяговая способность). Благодаря высокой гибкости допускают применение шкивов малых диаметров. Поликлиновые ремни могут работать при скоростях до 65 м/с.

Рабочая поверхность расположена по всей ширине ремня, что обуславливает высокую нагрузочную способность: при одинаковой передаваемой мощности ширина  $b$  поликлинового ремня существенно меньше ширины комплекта клиновых ремней нормальных сечений. Поликлиновую передачу применяют при мощностях до 1000 кВт.

Малая масса ремня способствует снижению уровня его колебаний. Однако передачи поликлиновыми ремнями чувствительны к относительному осевому смещению шкивов и отклонению от параллельности осей валов.

**Зубчатые ремни** выполняют плоскими с поперечными зубьями на внутренней поверхности (рис. 5.5). При работе передачи зубья ремня входят во впадины соответствующего профиля на шкивах. *Передача зубчатым ремнем работает по принципу зацепления.*

Зубчатое зацепление ремня со шкивом устраняет скольжение и необходимость в большом предварительном натяжении, уменьшает влияние угла обхвата (межосевого расстояния) на тяговую способность, что позволяет уменьшить габариты передачи и реализовать большие передаточные числа.

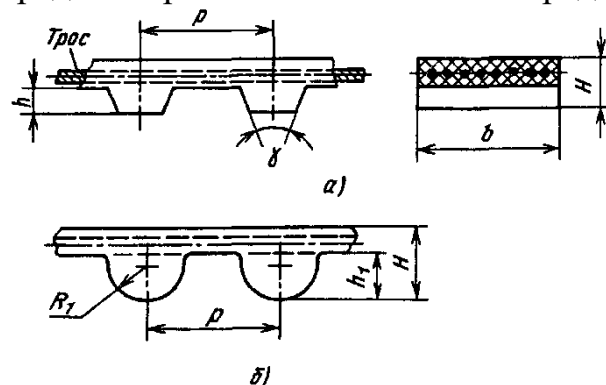


Рисунок 5.5 – Зубчатые ремни

**Достоинства** передач зубчатым ремнем: постоянное передаточное число; малое межосевое расстояние; небольшие нагрузки на валы и подшипники; большое передаточное число ( $u < 12$ ); низкий уровень шума и отсутствие динамических нагрузок вследствие эластичности ремня и упругости зубьев.

**Недостатки** передач зубчатым ремнем: сравнительно высокая стоимость; чувствительность к отклонению от параллельности осей валов.

**Применение.** Передачу зубчатым ремнем применяют как в высоконагруженных передачах (например, кузнечно-прессовое оборудование), используя ее высокую тяговую способность, так и в передачах точных перемещений (в связи с постоянством передаточного числа): приводы печатающих устройств ЭВМ, киносьемочная аппаратура, робототехника и др.

Мощность, передаваемая зубчатым ремнем, до 100 кВт; скорость ремня до 60 м/с; КПД передачи 0,94...0,98.

В зависимости от способа изготовления зубчатые ремни выпускают двух видов: сборочные и литые.

**Оборудование и материалы:** модель ременной передачи, виды ремней, штангенциркуль, калькулятор, компьютер с программным комплексом.

### Указания по технике безопасности

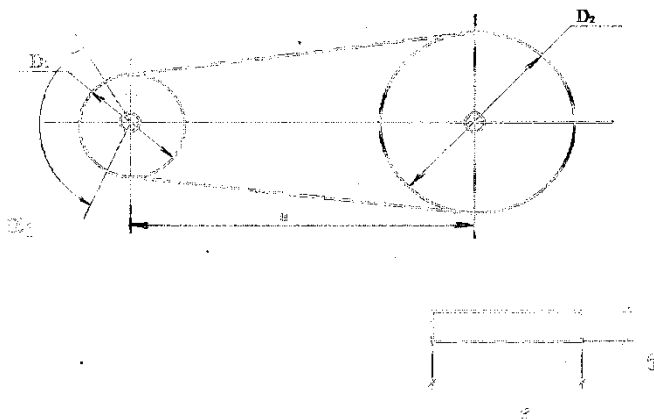
Работу выполнять после ознакомления с методикой её проведения и следующими правилами техники безопасности:

- Запрещается работать неисправным ключом, применять несоответствующего размера.
- Прежде чем начать какое-либо действие, убедитесь, что оно не принесёт вреда окружающим.
- Снятые детали и узлы ременной передачи следует положить на стол или подставку таким образом, чтобы они не могли упасть от случайного толчка.
- Не подкладывайте пальцы под валы с установленными шкивами при их установке.

### Задания

1. В проектном расчете плоскоременной передачи следует определить следующие параметры:

|                                        |                      |
|----------------------------------------|----------------------|
| $D_1$ – диаметр ведущего шкива         | $b$ – толщину ремня  |
| $D_2$ – диаметр ведомого шкива         | $v$ – ширину ремня   |
| $\alpha_1$ – угол обхвата малого шкива | $V$ – скорость ремня |
| $a$ – межосевое расстояние             | $L$ – длину ремня    |



Определяем диаметр ведущего шкива:

$$D_1 = 6\sqrt[3]{T_9}, \text{ мм}$$

Округляем до стандартного значения.

Диаметр ведомого шкива:

$$D_2 = D_1 \cdot U_{p.n.} \cdot (1 - \varepsilon), \text{ мм}$$

где:  $\varepsilon$  – коэффициент скольжения;  $\varepsilon = 0,01$ .

Округляем до стандартного значения.

Уточняем передаточное отношение:

$$U_{p.n.} = \frac{D_2}{D_1 \cdot (1 - \varepsilon)}.$$

Разница между полученным и заданным значением  $U_{p.n.}$  составляет 0,08, что превышает допустимые 3%.

Так как ближайшие стандартные значения диаметров не удовлетворяют требованиям, принимаем  $D_2 = 420$  мм, тогда:

Межосевое расстояние:

$$a = 2 \cdot (D_1 + D_2),$$

Угол обхвата малого шкива:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 60 \cdot \frac{D_2 - D_1}{a},$$

Длина ремня:

$$L = 2a + 0,5\pi(D_1 + D_2) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4a}.$$

Скорость ремня:

$$V = \frac{\pi D_1 n_{\text{э}}}{60}.$$

Окружная сила:

$$F\tau = \frac{N_{\text{э}}}{V}.$$

Ширина ремня:

$$b \geq \frac{F\tau}{Z \cdot [P]},$$

где:

$$[P] = P_0 \cdot C_{\alpha} \cdot C_v \cdot C_p \cdot C_{\theta}$$

$P_0$  – наибольшая допускаемая нагрузка на прокладку,  $P_0 = 3$ .

$$C_{\alpha} = 1 - 0,003 \cdot (180^\circ - \alpha_1)$$

$C_v$  – учитывает влияние скорости ремня

$$C_v = 1,04 - 0,0004V^2$$

$C_p$  – коэффициент режима работы  $C_p = 1$

$C_{\theta}$  – учитывает расположение передачи. Если угол  $\theta \leq 60^\circ$ ,  $C_{\theta} = 1$ .

При  $\theta > 60^\circ$ ,  $C_{\theta} = 0,9$ .

Принимаем стандартное значение, ширина шкива при этом.

### Выполняем проверку прочности ремня

Прочность ремня обеспечена, если максимальное напряжение в ремне

$$\sigma^{\text{max}} \leq [\sigma]$$

где:  $[\sigma]$  допускаемое напряжение.



Для прорезиненных ремней:  $[\sigma] = 6 \div 8 \text{ МПа}$

$$\sigma^{\max} = \sigma_I + \sigma_V + \sigma_U$$

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{\delta \cdot b},$$

где:  $\sigma_1$  – напряжение от растяжения

$F_1$  – натяжение ведущей ветви.

$$F_1 = F_0 + 0,5 \cdot F_r$$

$$F_0 = \sigma_0 \cdot b \cdot \delta$$

где:  $\sigma_0 = 1,8 \text{ МПа}$  – напряжение предварительного натяжения ремня

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{\delta \cdot b}$$

Напряжение от изгиба:

$$\sigma_U = \frac{E_U \cdot \delta}{D_1}, \text{ МПа;}$$

$E_U = 80 - 150 \text{ МПа}$  – модуль упругости ремня.

Напряжение от центробежной силы:

$$\sigma_V = \rho \cdot V^2 \cdot 10^{-6},$$

где  $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$  – плотность ремня

$$\sigma^{\max} = 2,65 + 0,12 + 2,25 = 5,02 \text{ МПа} < [\sigma],$$

т.е. прочность ремня обеспечена.

Выполняем проверку долговечности ремня

Число пробегов ремня в секунду:

$$\lambda = V/L, 1/\text{с} < [\lambda] = 5 \text{ 1/с}$$

Долговечность ремня:

$$H_0 = \frac{\sigma_{-1}^6 \cdot 10^7 \cdot C_i \cdot C_H}{(\sigma^{\max})^6 \cdot 2 \cdot 3600 \cdot \lambda} \text{ час.}$$

$\sigma_{-1}$  – предел выносливости  $\sigma_{-1} = 7 \text{ МПа}$

$C_i = 1,5 \sqrt{U_{rp}} - 0,5$  – коэффициент, учитывающий влияние передаточного отношения.

$C_H = 1$  при постоянной нагрузке

Итак,  $H_0 > [H]$ , т. е. долговечность ремня обеспечена.

Нагрузка на вал передачи

$$F_B = 3F_0 \cdot \sin(\alpha_1/2), \text{ Н.}$$

**Содержание отчета**

Отчет должен содержать наименование, назначение и цель работы; использованные при замерах приборы и материалы. Порядок проведения работы, методики проведения замеров, а также результаты измерений занесенные в таблицу. По результатам замеров необходимо провести все необходимые расчеты и на основании необходимых расчетов сформулировать выводы.

### **Контрольные вопросы:**

1. Что называется ременной передачей?
2. Опишите основную конструкцию ременных передач.
3. Виды ремней и материалы для их изготовления.
4. Достоинства ременных передач.
5. Перечислите недостатки ременных передач.
6. Перечислите применение ременных передач.

## Лабораторная работа № 6.

Тема: «Изучение конструкции и определение технических характеристик цепной передачи»

**Цель работы:** ознакомиться с конструкцией цепной передачи; выяснить назначение всех деталей цепной передачи; определить основные параметры цепной передачи.

**Знать:** основные источники научно-технической информации по основным группам деталей машин используемых в машиностроении; методику проведения экспериментальных исследований

**Уметь:** самостоятельно разбираться в нормативных методиках расчета и применять их для решения поставленной задачи

**Владеть:** навыками практического применения полученных знаний в профессиональной деятельности.

### Теоретическая часть

Цепная передача – это передача зацеплением с гибкой связью. Движение передает шарнирная цепь 1, охватывающая ведущую 2 и ведомую 3 звездочки и зацепляющаяся за их зубья (рис. 6.1).

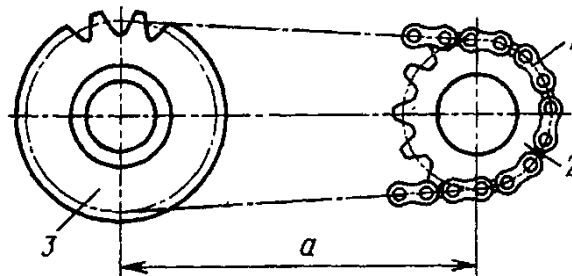


Рисунок 6.1 – Цепная передача

**Достоинства** цепных передач: по сравнению с зубчатыми цепные передачи могут передавать движение между валами при значительных межосевых расстояниях (до 8 м); по сравнению с ременными передачами: более компактны, передают большие мощности, требуют значительно меньшей силы предварительного натяжения, обеспечивают постоянство передаточного числа (отсутствует скольжение и буксование); могут передавать движение одной цепью нескольким ведомым звездочкам.

**Недостатки** цепных передач: значительный шум при работе вследствие удара звена цепи о зуб звездочки при входе в зацепление, особенно при малых числах зубьев и большом шаге (этот недостаток ограничивает применение цепных передач при больших скоростях); сравнительно быстрое изнашивание шарниров цепи, необходимость применения системы смазывания и установки в закрытых корпусах;

удлинение цепи вследствие износа шарниров и сход ее со звездочек, что требует применения натяжных устройств.

**Применение.** Цепные передачи применяют в станках, мотоциклах, велосипедах, промышленных роботах, буровом оборудовании, строительно-дорожных, сельскохозяйственных, полиграфических и других машинах для передачи движения между параллельными валами на значительные расстояния, когда применение зубчатых передач нецелесообразно, а ременных невозможно. Цепные передачи наибольшее применение получили для передачи мощностей до 120 кВт при окружных скоростях до 15 м/с.

**Приводные цепи.** *Приводная цепь – главный элемент цепной передачи – состоит из соединенных шарнирами отдельных звеньев.* Помимо приводных бывают тяговые и грузовые цепи, которые в дальнейшем не рассмотрены.

Основные типы стандартизованных приводных цепей: *роликовые, втулочные и зубчатые*

**Натяжение цепи.** По мере изнашивания шарниров цепь вытягивается, стрела  $f$  провисания ведомой ветви увеличивается, что вызывает захлестывание звездочки цепью.

*Регулирование натяжения* цепи осуществляют перемещением вала одной из звездочек, нажимными роликами или оттяжными звездочками.

Натяжные устройства должны компенсировать удлинение цепи в пределах двух звеньев, при большей вытяжке – два звена цепи удаляют. Натяжение не компенсирует увеличение шага цепи вследствие износа деталей шарниров.

**КПД передачи** зависит от потерь на трение в шарнирах цепи, в контакте цепи с зубьями звездочек, в опорах валов, а также от потерь на перемешивание масла при смазывании погружением:  $\eta=0,95...0,97$ . При нерегулярном периодическом смазывании  $\eta=0,92...0,94$ .

**Оборудование и материалы:** модель цепной передачи, комплект цепей, штангенциркуль, калькулятор, компьютер с программным комплексом.

### Указания по технике безопасности

Работу выполнять после ознакомления с методикой её проведения и следующими правилами техники безопасности:

- Запрещается работать неисправным ключом, применять несоответствующего размера.
- Прежде чем начать какое-либо действие, убедитесь, что оно не принесёт вреда окружающим.
- Снятые детали и узлы цепной передачи следует положить на стол или подставку таким образом, чтобы они не могли упасть от случайного толчка.
- Не подкладывайте пальцы под валы с установленными звездочками при их установке.

### Задания

Выбираем приводную роликовую однорядную цепь.

Вращающий момент на ведущий звездочке  $M_{чр1} = 76,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Передаточное число было принято ранее  $u_{з,п} = 2,8$ .

Число зубьев:

– ведущей звёздочки  $Z_1 = 29 - 2 \cdot 2,8 = 23$  ;

– ведомой звёздочки  $Z_2 = 23 \cdot 2,8 = 64,2$  .

Фактическое передаточное число  $u_{\phi} = \frac{64}{23} = 2,78 = 2,8$  .

Расчётный коэффициент нагрузки  $K_3$ , вычислим по формуле

$$K_3 = K_d \cdot K_{пер} \cdot K_{\theta} \cdot K_s \cdot K_p,$$

где  $K_d = 1,3$  – динамический коэффициент;

$K_{пер} = 1$  – коэффициент межосевого расстояния;

$K_{\theta} = 1,25$  – коэффициент, учитывающий влияние наклона цепи (наклон более  $60^\circ$ );

$K_s = 1,5$  – периодический способ смазки;

$K_p = 1,25$  – двухсменные работы.

Шаг однорядной цепи  $p$ , мм, вычислим по формуле

$$p \geq 2,8 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{чр2} \cdot K_3}{Z_1 \cdot [P]}} ,$$

Принимаем цепь по ГОСТ13568-75.

Скорость цепи  $V$ , м/с, определим по формуле

$$V = \frac{Z_1 \cdot p \cdot n_{чр2}}{60 \cdot 10^3}$$

Оптимальное межосевое расстояние  $a$ , мм определим по формуле

$$a = (30 \dots 50) \cdot p,$$

где  $p$  – стандартный шаг цепи, мм.

Число звеньев в цепи  $l_{\delta}$ , определим по формуле

$$l_{\delta} = 2a_{\delta} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{[(z_2 - z_1) / 2\pi]^2}{a_p},$$

$$a_p = \frac{a}{p} = 50$$

Уточняем межосевое расстояние  $a_p$ , мм

$$a_p = 0,25 \cdot \left\{ l_p - 0,5 \cdot (z_2 + z_1) + \sqrt{[l_p - 0,5 \cdot (z_2 + z_1)]^2 - 8 \cdot \left(\frac{z_2 - z_1}{2 \cdot \pi}\right)^2} \right\},$$

Монтажное межосевое расстояние  $a_m$ , мм вычислим по формуле

$$a_m = 0,995 \cdot a.,$$

$$l = l_{\delta} \cdot p,$$

Определяем диаметры делительных окружностей звёздочек  $d_{д1}$  и  $d_{д2}$ , мм, по формулам

$$d_{o1} = \frac{p}{\sin \frac{180}{Z_1}},$$

$$d_{o2} = \frac{p}{\sin \frac{180}{Z_2}},$$

Диаметры наружных окружностей звёздочек  $D_e$ , мм, вычислим по формуле

$$D_e = p \cdot \left( \operatorname{ctg} \frac{180}{Z} + 0,7 - \frac{0,31 \cdot d_1}{p} \right),$$

где  $d_1 = 7,92$  – диаметр ролика цепи, мм,

Диаметры окружности впадин ведущей  $D_{a1}$ , мм, и ведомой  $D_{a2}$ , мм, звёздочки определим по формуле

$$D_a = d_o - (d_1 - 0,175 \cdot \sqrt{d_a}),$$

Проверим частоту вращения меньшей звёздочки  $n_1$ , об/мин

$$[n_1] = \frac{15 \cdot 10^3}{p},$$

Условие  $[n_1] > n_1$  выполнено.

Окружную силу  $F_t$ , Н, находим по формуле

$$F_t = \frac{P_{\text{вп1}} \cdot 10^3}{V},$$

Давление в шарнире цепи  $P_o$ , МПа, вычислим по формуле

$$p_o = \frac{F_t \cdot K_s}{A},$$

Условие давления в шарнире  $p_o \leq [P_u]$  выполнено.

Предварительное натяжение цепи от провисания ведомой ветви, Н, находим по формуле

$$F_0 = K_f \cdot q \cdot a \cdot g.$$

Натяжение сил от центробежных сил  $F_v$ , Н, определим по формуле

$$F_v = q \cdot v^2,$$

Проверяем коэффициент запаса прочности цепи  $S$  по формуле

$$S = \frac{Q_p}{F_t \cdot K_o + F_o + F_v},$$

Нормативный коэффициент запаса прочности  $S = 20,6 > [S] = 7,3$

Условие прочности  $S > [S]$  выполнено.

Силу давления цепи на вал  $F_{оп}$ , Н определим по формуле

$$F_{оп} = k_b \cdot F_t + 2 F_0,$$

Размеры ведущей звёздочки

Диаметр ступицы звёздочки  $d_{ст2}$ , мм, вычислим по формуле

$$d_{ст2} = 1,6 \cdot d_{в2},$$

Длину ступицы  $l_{ст2}$ , мм, определим по формуле

$$l_{ст2} = (1,2 \div 1,6) \cdot d_{в2},$$

Принимаем  $l_{ст2} = 40$  мм.

Толщину диска звёздочки  $C$ , мм, находим по формуле

$$C = 0,93 \cdot B_{в.н.},$$

где  $B_{в.н} = 12,07$  мм – расстояние между пластинами внутреннего звена.

Диаметр вала под звёздочкой исходя из пониженного допускаемого напряжения на кручение  $[\tau_k] = 20$  МПа, учитывая изгиб вала от натяжения цепи,  $d_3$ , мм, вычислим по формуле

$$d_{в3} = \sqrt[3]{\frac{M_{зп}}{0,2 \cdot [\tau_k]}},$$

Диаметр ступицы ведомой звёздочки  $d_{ст3}$ , мм, определим по формуле

$$d_{ст3} = 1,6 \cdot d_{в3},$$

Длину ступицы  $l_{ст3}$ , мм, определим по формуле

$$l_{ст.3} = (1,2 \div 1,6) \cdot d_{в3},$$

Толщину диска звёздочки  $C_1$ , мм, находим по формуле

$$C_1 = 0,93 \cdot B_{вп},$$

### Содержание отчета

Отчет должен содержать наименование, назначение и цель работы; использованные при замерах приборы и материалы. Порядок проведения работы, методики проведения замеров, а также результаты измерений занесенные в таблицу. По результатам замеров необходимо провести все необходимые расчеты и на основании необходимых расчетов сформулировать выводы.

### Контрольные вопросы:

1. Каковы достоинства и недостатки цепных передач по сравнению с ременными передачами?
2. Где применяют цепные передачи?
3. Назовите основные типы приводных цепей. Какие из них получили наибольшее распространение?
4. Почему при высоких скоростях рекомендуют применять цепи с малым шагом?
5. Почему ограничивают минимальное число зубьев малой звездочки и максимальное число зубьев большой звездочки?
6. Что является основным параметром цепной передачи?
7. Чем производится регулировка натяжения цепи?
8. Что является основным критерием работоспособности цепных передач?
9. От чего зависит коэффициент эксплуатации цепной передачи?

## Лабораторная работа № 7.

Тема: «Изучение конструкции и определение технических характеристик червячного редуктора с цилиндрическим червяком»

**Цель работы:** получить представление о правилах и нормах проектирования и конструирования автономных узлов машин (редукторов). Получить навыки в измерении параметров червячной передачи, регулировке ее зацепления и подшипников.

**Знать:** основные источники научно-технической информации по основным группам деталей машин используемых в машиностроении; методику проведения экспериментальных исследований

**Уметь:** самостоятельно разбираться в нормативных методиках расчета и применять их для решения поставленной задачи

**Владеть:** навыками практического применения полученных знаний в профессиональной деятельности.

### Теоретическая часть

Червячные передачи отличаются от зубчатых своим происхождением: они содержат в себе свойства передачи «винт-гайка» и зубчатых. Это определяет условия их работы и выдвигает требования к конструктивно-технологическим решениям. Надежность работы червячной передачи зависит от точности взаимного расположения червяка и винтиков червяка, шероховатости их рабочих элементов и качества смазки.

Одноступенчатые передачи применяются при необходимости редуцирования угловой скорости между перекрещивающимися валами в диапазоне передаточных отношений  $u = 8 \dots 63$ . Вследствие сравнительно низкого КПД червячные редукторы применяются для передачи мощности, как правило до 50 кВт.

**Оборудование и материалы:** червячный редуктор, набора гаечных ключей и отверток, тангенрейсмас, штангенциркуль, масштабная линейка, графитная краска для проверки пятна контакта, набор регулировочных прокладок, сборочный чертеж редуктора, справочные таблицы параметров червячных передач.

### Указания по технике безопасности

Запрещается оставлять без наблюдения работающую испытательную машину или установку. При проведении лабораторных работ нельзя находиться в непосредственной близости от движущихся частей машины. При работе на машинах и установках нельзя прикасаться к токоведущим



частям, а также к электрощитам, электрорубильникам. При проведении необходимо принять меры предосторожности и находиться не ближе двух метров от машины в момент разрушения образца. Запрещается переходить с одного рабочего места на другое без разрешения преподавателя, работать одному в лаборатории без преподавателя.

За 5 минут до окончания занятий в лаборатории студенты обязаны собрать все предметы, инструменты, пособия и т. и сдать их. За потерю и порчу приборов, инструментов, пособий и т.п.

### **Задания**

1. Осмотреть редуктор и наметить план его разборки.
2. Замерит 2-3 раза расстояние между осями валов и округлить его до ближайшего стандартного по ГОСТу, если оно лежит в пределах последнего. Значение  $\alpha_w$  занести в таблицу отчета.
3. Отвинтить крепежные элементы крышки корпуса и крышек подшипниковых узлов, снять крышки и ознакомиться с внутренним устройством редуктора. Особое внимание обратить на способ регулировки подшипников и правильность зацепления червячной пары.
4. Отвинтить крепежные элементы крышки корпуса и крышек подшипниковых узлов, снять крышки и ознакомиться с внутренним устройством редуктора. Особое внимание обратить на способ регулировки подшипников и правильность зацепления червячной пары.
5. Вынуть червячное колесо редуктора вместе с валом, а также червяк с деталями на нем (детали и подшипники с валов не снимать).
6. Ознакомиться с конструкцией колеса и червяка. Путем замера, осмотра и расчета определить их размеры и параметры. Результаты занести в таблицу отчета.
7. Параметры червячной пары, регламентируемые стандартом, сверить с ГОСТ 2144-93.
8. Выполнить кинематическую схему редуктора и эскизы элементов зацепления (червяка и колеса) в соответствии со СТ СЭВ 859-78.
9. Собрать редуктор в последовательности, обратной разборке.

### **Содержание отчета**

Отчет должен содержать наименование, назначение и цель работы; использованные при замерах оборудование и материалы; кинематическую схему исследуемого редуктора и эскиза одного из элементов кинематической пары (червяка или колеса).

Таблица 6.1 – Таблица основных геометрических, кинематических и силовых параметров исследуемого червячного редуктора

| Наименование параметра и его единица              | Обозначение | Способ определения                            | Результаты измерений и вычислений |
|---------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1                                                 | 2           | 3                                             | 4                                 |
| <b>Червяк</b>                                     |             |                                               |                                   |
| Число витков (заходов)                            | $Z_1$       | Сосчитать                                     |                                   |
| Шаг осевой, мм                                    | $p^1$       | Измерить                                      |                                   |
| Модуль расчетный                                  | $m^1$       | $m^1 = \frac{P}{\pi}$                         |                                   |
| Диаметр вершин витков, мм                         | $d_{a1}$    | Измерить                                      |                                   |
| Делительный диаметр, мм                           | $d_1$       | $d_1 = d_{a1} - 2 \cdot m$                    |                                   |
| Диаметр впадин витков, мм                         | $d_{f1}$    | $d_1 = d_{f1} - 2,4 \cdot m$                  |                                   |
| Коэффициент диаметра червяка*                     | $q_1$       | $q_1 = \frac{d_1}{m}$                         |                                   |
| Угол подъема витка винтовой линии, град           | $\gamma$    | $\gamma = \frac{z_1}{q}$                      |                                   |
| Длина нарезной части, мм                          | $b_1$       | Измерить                                      |                                   |
| <b>Колесо</b>                                     |             |                                               |                                   |
| Число зубьев, шт                                  | $Z_2$       | Сосчитать                                     |                                   |
| Диаметр вершин зубьев, мм                         | $d_{a2}$    | Измерить                                      |                                   |
| Делительный диаметр, мм                           | $d_2$       | $d_2 = z_2 \cdot m$                           |                                   |
| Диаметр впадин зубьев, мм                         | $d_{f2}$    | $d_2 = d_{f2} - 2,4 \cdot m$                  |                                   |
| Наибольший диаметр колеса, мм                     | $d_{am2}$   | Измерить                                      |                                   |
| Ширина венца, мм                                  | $b_2$       | Измерить                                      |                                   |
| <b>Редуктор</b>                                   |             |                                               |                                   |
| Межосевое расстояние, мм                          | $a_w$       | Измерить                                      |                                   |
| Передаточное отношение                            | $U$         | $U = \frac{z_2}{z_1}$                         |                                   |
| Расчетное значение КПД                            | $\eta$      | $\eta = \frac{tg\gamma}{tg(\gamma + \rho^1)}$ |                                   |
| Мощность на ведущем валу, кВт                     | $P_1$       | Задается                                      |                                   |
| Частота вращения ведущего вала, мин <sup>-1</sup> | $n_1$       | Задается                                      |                                   |

Продолжение таблицы 6.1

| 1                                     | 2     | 3                               | 4 |
|---------------------------------------|-------|---------------------------------|---|
| Вращающий момент на ведущем валу, Н·м | $T_2$ | $T_2 = \frac{P_2}{\omega_2}$    |   |
| Силы в зацеплении, Н                  |       |                                 |   |
| Окружная                              | $F_t$ | $F_t = \frac{2 \cdot T_1}{d_1}$ |   |
| Радиальная                            | $F_r$ | $F_r = F_t \cdot tg\alpha$      |   |
| Осевая                                | $F_a$ | $F_a = F_t \cdot tg\beta$       |   |

Примечания:

1. Значения модуля  $m^1$  и коэффициента диаметра червяка  $q_1$  принять по ГОСТ 2144-93 и уточнить все расчеты, связанные с этими параметрами.
2. Значение угла трения  $\rho^1$  приведены в справочной литературе.
3. Параметры передачи, относящиеся к ведущим звеньям, отмечены индексом 1, а ведомым – 2.

### Контрольные вопросы:

1. Как измеряются межосевое расстояние  $a_w$  и осевой шаг червяка  $p_x$ ?
2. Как определяют количество витков  $z_1$  реального червяка?
3. Дайте характеристику одного из узлов (червяка или вала червячного колеса) рассмотренного редуктора; поясните конструкцию червяка и колеса, способ крепления на валу, тип подшипников ит.д.
4. В редуктор заливают определенное количество масла. Почему необходимо контролировать уровень масла в процессе эксплуатации редуктора? Как определяют уровень масла? Как обеспечивают поддержание рабочих качеств масла на стадии проектирования?
5. Почему подшипники червяка редуктора преимущественно монтируют в стаканах?
6. Как осуществляют смазывание подшипников червяка при верхнем и нижнем его расположении?
7. Какие конструктивные решения применяют для улучшения теплового режима работы червячного редукторов?
8. Выполните возможные схемы установки подшипников на валах червяка и червячного колеса.
9. Как обеспечивают точность монтажа червячной пары, и на что она влияет?
10. Какие факторы влияют на КПД червячного редуктора?
11. Назовите отличительные особенности червячной передачи по сравнению с зубчатой конической.

## Лабораторная работа № 8.

Тема: «Изучение конструкции подшипников качения»

**Цель работы:** ознакомиться с классификацией, конструкцией и условными обозначениями, отличительными признаками подшипников качения (ПК); определить возможные направления воспринимаемых нагрузок различными типами подшипников.

**Знать:** основные источники научно-технической информации по основным группам деталей машин используемых в машиностроении; методику проведения экспериментальных исследований

**Уметь:** самостоятельно разбираться в нормативных методиках расчета и применять их для решения поставленной задачи

**Владеть:** навыками практического применения полученных знаний в профессиональной деятельности.

### Теоретическая часть

ПК классифицируют по следующим основным признакам: направлению воспринимаемых нагрузок, форме тел качения, числу рядов тел качения и по основным конструктивным особенностям.

По направлению воспринимаемой нагрузки ПК разделяют на четыре группы:

радиальные подшипники – только для радиальной нагрузки (роликоподшипники с цилиндрическими роликами, однорядные шарикоподшипники с канавкой для ввода шариков) или для радиальной и ограниченной осевой нагрузки (шарикоподшипники однорядные, шарико- и роликоподшипники двухрядные сферические);

радиально-упорные подшипники – для восприятия комбинированных, т.е. радиальных и осевых нагрузок;

упорно-радиальные подшипники – для восприятия большой осевой и небольшой радиальной нагрузок;

упорные подшипники – для восприятия только осевых нагрузок.

По форме тел качения ПК делятся на роликовые и шариковые.

Роликовые подшипники выполняют: а) с короткими цилиндрическими роликами; б) с коническими роликами; в) с игольчатыми роликами; г) со сферическими или сфероконическими роликами.

По числу рядов тел качения подшипники подразделяются на одно-, двух-, четырёх- и многорядные.

К основным конструктивным особенностям подшипников качения относятся: наличие защитных шайб; конусное отверстие внутреннего кольца подшипника, сдвоенные подшипники и др.

## **Краткая характеристика основных типов подшипников качения**

1. Шариковые радиальные однорядные подшипники (тип 0000) предназначены для восприятия радиальной нагрузки и ограниченной осевой в обе стороны, являются одними из наиболее распространённых и дешёвых подшипников. Характеризуются сравнительно малыми радиальной и особенно осевой жёсткостью, не рекомендуются для применения в узлах, требующих точной фиксации валов.

2. Шариковые радиальные двухрядные сферические подшипники (тип 1000) предназначены для восприятия радиальной нагрузки, но могут воспринимать и ограниченные осевые нагрузки любого направления, допускают значительные (до  $2 - 3^\circ$ ) перекосы внутреннего кольца (вала) относительно наружного кольца (корпуса). Применяются в узлах с нежёсткими валами и в конструкциях, в которых не может быть обеспечена надлежащая соосность отверстий корпусов.

3. Роликовые радиальные ПК с короткими цилиндрическими роликами (тип 2000) предназначены для восприятия только радиальной нагрузки. Изготавливают также подшипники с дополнительным буртом на внутреннем (42000) или наружном (12000) кольце. Эти подшипники могут воспринимать кроме радиальной и ограниченную осевую нагрузку. Допускают отдельный монтаж внутреннего (с комплектом роликов) и наружного колец подшипника. Обладают большей радиальной грузоподъёмностью, чем радиальные шарикоподшипники. Чувствительны к перекосам осей колец. Применяются с жёсткими валами и в корпусах, посадочные поверхности которых имеют малые отклонения от соосности.

4. Роликовые радиальные подшипники с игольчатыми роликами (тип 74000 и др.) предназначены для восприятия только радиальной нагрузки, осевую не воспринимают и осевое положение вала не фиксируют. Могут применяться без внутреннего кольца. Применяются в узлах, требующих малых радиальных размеров, и в узлах с качательным движением.

5. Шариковые радиально-упорные ПК предназначены для восприятия радиальной и односторонней осевой нагрузок. Допустимая осевая нагрузка для подшипника зависит от номинального угла контакта шариков с кольцами. Выпускают подшипники с углами контакта:  $\alpha = 12^\circ$  (тип 36000),  $\alpha = 26^\circ$  (тип 46000),  $\alpha = 36^\circ$  (тип 66000). Подшипники с большими углами контакта предназначены для восприятия больших осевых нагрузок, подшипники чувствительны к перекосам. Для восприятия двухсторонних осевых нагрузок применяют подшипники в паре. Пару ПК с большим углом контакта (типов 46000 и 66000) рекомендуется устанавливать в одной, фиксирующей вал опоре. В узле с радиально-упорными подшипниками должна быть предусмотрена регулировка осевого зазора подшипников.

6. Роликовые радиально-упорные однорядные подшипники с коническими роликами предназначены для восприятия радиальной нагрузки и односторонней осевой. Чувствительны к перекосам. Для восприятия двухсторонних осевых нагрузок применяют в паре. Подшипники выпускают

с углами  $\alpha = 11...16^\circ$  (тип 7000) и  $\alpha = 22...29^\circ$  (тип 27000). Пару ПК типа 27000 рекомендуется устанавливать в одной фиксирующей вал опоре.

В узле с радиально-упорными роликовыми подшипниками должна быть предусмотрена регулировка осевого зазора подшипников. По сравнению с шариковыми радиально-упорными подшипниками эти подшипники отличаются большей грузоподъемностью, меньшей точностью вращения и предельной частотой вращения, меньшей стоимостью. Допустим отдельный монтаж наружного и внутреннего колец с комплектом роликов.

7. Шариковые упорные одинарные подшипники (тип 8000) предназначены для восприятия односторонней осевой нагрузки, применяются при значительно меньших по сравнению с другими шарикоподшипниками частотах вращения, очень чувствительны к перекосам.

**Оборудование и материалы:** комплект подшипников качения, штангенциркуль, масштабная линейка, справочные таблицы параметров червячных передач.

### **Указания по технике безопасности**

Запрещается оставлять без наблюдения работающую испытательную машину или установку. При проведении лабораторных работ нельзя находиться в непосредственной близости от движущихся частей машины. При работе на машинах и установках нельзя прикасаться к токоведущим частям, а также к электрощитам, электрорубильникам. При проведении необходимо принять меры предосторожности и находиться не ближе двух метров от машины в момент разрушения образца. Запрещается переходить с одного рабочего места на другое без разрешения преподавателя, работать одному в лаборатории без преподавателя.

За 5 минут до окончания занятий в лаборатории студенты обязаны собрать все предметы, инструменты, пособия и т. и сдать их. За потерю и порчу приборов, инструментов, пособий и т.п.

### **Задания**

1. По описанию и плакатам студенты знакомятся с классификацией ПК и их условными обозначениями, потом, получив комплект подшипников и измерительный инструмент, делают эскизы подшипников. В отчёте по 10 лабораторной работе должны быть выполнены эскизы подшипников (указанных преподавателем) с основными размерами:  $d$  – внутренний диаметр,  $D$  – наружный диаметр,  $B$  – ширина подшипника, приведены краткие характеристики рассмотренных подшипников. На эскизе подшипника стрелками должны быть указаны направления воспринимаемых нагрузок (рис. 8.1).

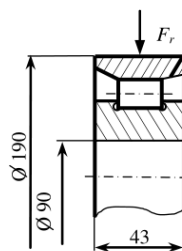


Рисунок 8.1 – Эскиз подшипника

Пример заполнения журнала на роликовый радиальный подшипник представлен на рис. 8.2.

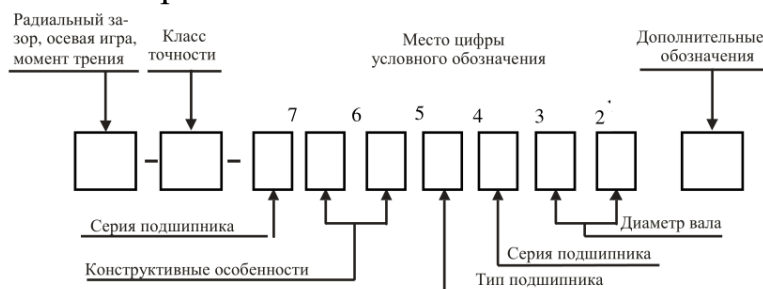


Рисунок 8.2 – Пример заполнения отчета

Подшипник 2318. Расшифровка условного обозначения подшипника: 2 – роликовый радиальный с короткими цилиндрическими роликами, 3 – средней узкой серии, 18 – диаметр вала:  $d = 18 \times 5 = 90$  мм; класс точности – 0.

Краткая характеристика ПК: подшипник предназначен только для радиальных нагрузок, осевой фиксации вала не обеспечивает, чувствителен к перекосам. Грузоподъемность данного подшипника выше грузоподъемности шарикового подшипника, имеющего такие же габариты.

## Содержание отчета

Отчет должен содержать

1. Наименование и цель работы;
2. Эскиз подшипника, выполненный в соответствии с измеренными размерами;
3. Отчетный журнал в соответствии с рисунком 8.2.

## Контрольные вопросы:

1. Нагрузку каких направлений может воспринимать данный ПК?
2. Обеспечивает ли подшипник фиксацию вала в осевом направлении?
3. Допускает ли подшипник перекосы вала в корпусе и в каких пределах?
4. Сравнительная оценка грузоподъемности подшипника.
5. Сравнительная оценка жесткости подшипника в радиальном и осевом направлениях.

## Лабораторная работа № 9.

Тема: «Изучение конструкций подшипниковых узлов»

**Цель работы:** ознакомиться с основными схемами установки подшипников качения (ПК) и их условными обозначениями на чертежах и на схемах.

**Знать:** основные источники научно-технической информации по основным группам деталей машин используемых в машиностроении; методику проведения экспериментальных исследований

**Уметь:** самостоятельно разбираться в нормативных методиках расчета и применять их для решения поставленной задачи

**Владеть:** навыками практического применения полученных знаний в профессиональной деятельности.

### Теоретическая часть

Узел подшипника обеспечивает восприятие радиальных и осевых сил, а также исключает осевое смещение вала, нарушающее нормальную работу сопряжённых деталей (зубчатых и червячных колес, червяков, уплотнений и др.). Это достигается за счёт крепления подшипников на валах и фиксирования их в корпусе.

Способы установки подшипников

Наибольшее распространение получили два способа фиксирования подшипников в корпусе.

Первый способ состоит в том, что осевое фиксирование вала выполняют в одной опоре, а другую опору делают «плавающей» (скользящей).

Фиксирующая опора ограничивает осевое перемещение вала в одном или в обоих направлениях, воспринимает радиальную и осевую силы.

«Плавающая» опора не ограничивает осевых перемещений вала и может воспринимать только радиальную нагрузку. Поэтому в плавающей опоре применяют только радиальный подшипник (шариковый или роликовый).

Наиболее распространённая схема установки подшипников. Вал зафиксирован относительно корпуса одним из подшипников. Другой подшипник не фиксируется в корпусе или на валу в осевом направлении и, перемещаясь («плавая») относительно корпуса, компенсирует тепловое удлинение деталей узла, а также погрешности изготовления.

Такой способ установки подшипников применяют в конструкциях при сравнительно длинных валах ( $L = 10d \dots 12d$ ), а также при установке валов в подшипники, размещённые в разных корпусах (например, приводные валы конвейеров). Основной недостаток способа – малая жёсткость вала. Жёсткость вала может быть повышена при установке в фиксирующей опоре



двух подшипников, за счёт регулировки которых сводят к минимуму радиальные и осевые смещения («игру») вала.

В таком исполнении способ используют для установки валов конических и червячных передач, требующих точной осевой фиксации.

Часто фиксирующие подшипники монтируют в специальном стакане и осевое положение вала регулируют мерными прокладками, находящимися между торцовыми поверхностями стакана и корпуса.

В фиксирующей опоре часто устанавливают несколько подшипников: радиальных или радиально-упорных – для восприятия только радиальной нагрузки и радиально-упорных или упорных – для восприятия только осевой нагрузки.

Второй способ состоит в том, что осевое фиксирование вала выполняют в двух опорах.

Наиболее проста конструктивно схема установки подшипников враспор, её широко применяют при сравнительно коротких валах. Для исключения защемления вала в опорах, вследствие нагрева при работе, предусматривают зазор  $a = 0,2 + 0,5$  мм (в узлах с радиально-упорными шарикоподшипниками). При установке враспор внешняя осевая нагрузка будет восприниматься либо одной, либо другой крышкой.

Установка подшипников враспор позволяет выполнить корпус со сквозной расточкой, без заплечиков и специальных упоров. Вал фиксируется в осевом направлении относительно корпуса, так как подшипники упираются в заплечики валов и в торцы фланцевых крышек корпуса. Поэтому в таких опорах обычно отпадает необходимость в специальных деталях для осевого крепления подшипников на валу. Осевой зазор  $a$  между торцами фланцевых крышек и наружных колец подшипника служит для компенсации возможного теплового удлинения деталей подшипникового узла. Требуемый осевой зазор создают чаще всего с помощью набора мерных прокладок, устанавливаемых между торцовыми поверхностями корпуса и фланцев крышек.

В опорах с установленными враспор однорядными радиально-упорными коническими роликоподшипниками разъёмного типа с увеличением осевой «игры» возрастает радиальный зазор в подшипниках, а следовательно, и радиальное биение вала. Поэтому в таких опорах необходимо создать условия для более точного регулирования осевой «игры», чем регулирование в опорах с радиальными подшипниками, а расстояние между опорами даже для крупных подшипников не должно превышать 600 – 700 мм.

При установке подшипников враспору опасность защемления вала в опорах снижается, так как при увеличении длины вала в связи с температурным удлинением осевой зазор в подшипниках увеличивается.

**Оборудование и материалы:** плакаты с конструкциями подшипниковых узлов, способами крепления подшипников на валах и

способах установки их в корпусе; измерительный инструмент, опоры валов редуктора, коробка скоростей.

### **Указания по технике безопасности**

В целях исключения травматизма, а также поломки оборудования, технологической оснастки и приборов каждый студент перед выполнением лабораторных работ должен тщательно изучить правила техники безопасности

#### **ЗАПРЕЩАЕТСЯ:**

- приступать к выполнению работы без ознакомления с правилами по технике безопасности в лаборатории;
- включать оборудование без разрешения и присутствия преподавателя или учебного мастера;
- подходить к оборудованию в расстегнутых халатах и костюмах или с распущенными волосами.

#### **ПЕРЕД ВЫПОЛНЕНИЕМ РАБОТЫ СЛЕДУЕТ:**

- заправить одежду, застегнуть рукава, убрать волосы под головной убор;
- убрать с оборудования все ненужные предметы;
- подготовить к работе оборудование, инструменты, приборы и убедиться в их исправности.

### **Задания**

1. Ознакомиться по описанию и плакатам с конструкциями подшипниковых узлов, способами крепления подшипников качения на валах и способами установки их в корпусе.

2. Получить измерительный инструмент и конкретные узлы (опоры валов редукторов, коробок скоростей и др.).

3. Выполнить эскизы.

4. Составить краткую характеристику каждого подшипникового узла. Для этого необходимо ответить на вопросы:

- 4.1. Тип подшипника. Вид воспринимаемой нагрузки.
- 4.2. Какой способ крепления на валу подшипника применён?
- 4.3. Какой способ установки подшипника качения в корпусе представлен в опоре?
- 4.4. Как осуществляются смазка и уплотнение подшипникового узла?
- 4.5. Монтаж и демонтаж узла. Какой вид сборки целесообразен: осевая или радиальная? Предварительный натяг. Способ регулировки осевого положения валов.

### **Содержание отчета**

Отчет должен содержать название, цель работы, оборудовании и материалы, должны быть выполнены эскизы четырёх или пяти подшипниковых узлов с основными размерами и посадками. На эскизе каждого подшипникового узла стрелками должны быть указаны направления воспринимаемых нагрузок. Должна быть краткая характеристика каждого подшипникового узла

### **Контрольные вопросы:**

1. Примеры типовых подшипниковых узлов с эскизами и характеристиками конструкции.
2. Классы точности и посадки подшипников качения.
3. Смазывание и уплотнение подшипниковых узлов.
4. Монтаж и демонтаж.
5. Предварительный натяг.
6. Регулирование осевого положения валов.

## **Список рекомендуемой литературы**

### **Перечень основной литературы**

1. Детали машин и основы конструирования / сост. В.М. Сербин ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». – Ставрополь : СКФУ, 2016. – 114 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=458938>
2. Чибряков, М.В. Детали машин и основы конструирования: разработка электромеханического привода / М.В. Чибряков, А.В. Миронов ; Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Кафедра прикладной механики, физики и инженерной графики. – Санкт-Петербург : СПбГАУ, 2018. – 52 с. : схем., ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=560924>

### **Перечень дополнительной литературы:**

1. Детали машин и основы конструирования : учебник для бакалавров / [Г.И. Рошин, Е.А. Самойлов, Н.А. Алексеева и др.] ; под ред. Г.И. Рошина, Е.А. Самойлова. - М.:Юрайт, 2012. - 415 с. : ил. - (Бакалавр). - На учебнике гриф: Доп.МО. - Библиогр.: с. 401-402. - ISBN 978-5-9916-1664-5
2. Шейнблит, А. Е. Курсовое проектирование деталей машин : [учеб.пособие] / А.Е. Шейнблит. - 2-е изд., перераб. и доп. - Калининград : Янтарный сказ, 2006. - 456 с. : ил. - ISBN 5-7406-0257-2
3. Детали машин и основы конструирования: лабораторный практикум : [16+] / авт.-сост. В.М. Сербин, А.А. Соловьев ; Министерство науки и высшего образования РФ, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет». – Ставрополь : СКФУ, 2018. – 106 с. : ил.,табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=562840>
4. Андреев, В.И. Детали машин и основы конструирования. Курсовое проектирование : учебное пособие / В.И. Андреев, И.В. Павлова. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 352 с. — ISBN 978-5-8114-1462-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/12956> (дата обращения: 16.10.2019)
5. Андреев, В.И. Детали машин и основы конструирования. Курсовое проектирование : учебное пособие / В.И. Андреев, И.В. Павлова. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 352 с. — ISBN 978-5-8114-1462-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/12956>

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека on-line»
3. Электронно-библиотечная система Лань

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

**Методические указания**  
по организации самостоятельной работы  
по дисциплине «ДЕТАЛИ МАШИН И ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ»  
для студентов направления подготовки  
23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Пятигорск 2026 г.

## Содержание

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение .....                                                            | 64 |
| 1.Общая характеристика самостоятельной работы студента.....               | 65 |
| 2. План - график выполнения самостоятельной работы.....                   | 66 |
| 3.Методические рекомендации по изучению теоретического материала .....    | 67 |
| 3.1. Вид самостоятельной работы: самостоятельное изучение литературы..... | 67 |
| 3.2. Вид самостоятельной работы: подготовка к лабораторным занятиям ..... | 67 |
| 4. Методические указания .....                                            | 68 |
| 5.Методические указания по подготовке к экзамену.....                     | 68 |
| Список рекомендуемой литературы .....                                     | 69 |

## **Введение**

Методические указания и задания для выполнения самостоятельной работы студентами по дисциплине «Детали машин и основы конструирования» по направлению подготовки бакалавров: 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Методическое пособие содержит весь необходимый материал для выполнения самостоятельной работы по дисциплине «Детали машин и основы конструирования».

В данном методическом пособии приведены темы и вопросы для самостоятельного изучения.

## 1.Общая характеристика самостоятельной работы студента

Самостоятельная работа – это вид учебной деятельности, выполняемый учащимся без непосредственного контакта с преподавателем или управляемый преподавателем опосредовано через специальные учебные материалы; неотъемлемое обязательное звено процесса обучения, предусматривающее прежде всего индивидуальную работу учащихся в соответствии с установкой преподавателя или учебника, программы обучения.

На современном этапе самостоятельную работу студента следует разделить на работу с бумажными источниками информации, т.е. учебниками, методическими пособиями, монографиями, журналами и т.д. и электронными источниками информации, т.е. доступ к электронным ресурсам через Интернет.

Сегодня самостоятельную работу студента невозможно представить без использования информационной сети – Интернет. Необходимость использования Интернета возникает не только при подготовке к практическим и семинарским занятиям, но, в большей степени, при написании различных исследовательских и творческих работ. Многие современные монографии, периодические журналы изданы только в электронном виде и с ними можно познакомиться только в Интернете.

**Цели и задачи самостоятельной работы:** формирование способностей к самостоятельному познанию и обучению, поиску литературы, обобщению, оформлению и представлению полученных результатов, их критическому анализу, поиску новых и неординарных решений, аргументированному отстаиванию своих предложений, умений подготовки выступлений и ведения дискуссий.

### Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

| Наименование компетенции                                                                                                                        |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Код, формулировка компетенции                                                                                                                   | Код, формулировка индикатора                                                                                                                               | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов                                 |
| ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и инженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности | ИД-1 <sub>ОПК-1</sub><br>Основы естественнонаучных и инженерных наук, методов математического анализа и моделирования.                                     | Готовность к контролю технического состояния транспортных средств с использованием средств технического диагностирования                            |
|                                                                                                                                                 | ИД-2 <sub>ОПК-1</sub><br>Применять естественнонаучные и инженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности. | Готовность к организации и контролю качества и безопасности процессов сервиса, параметров технологических процессов с учетом требований потребителя |



|                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                 | ИД-3опк-1<br>Навыком применения естественнонаучных и общетехнических знаний, методов математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности.                              | Способен адаптировать и модифицировать специализированное программное обеспечение, методы и алгоритмы систем искусственного интеллекта и машинного обучения в профессиональной деятельности |
| ОПК-5 Способен принимать обоснованные технические решения, выбирать эффективные и безопасные технические средства, и технологии при решении задач профессиональной деятельности | ИД-1опк-5<br>Знать эффективные и безопасные технические средства, и технологии                                                                                                             | Готовность к контролю технического состояния транспортных средств с использованием средств технического диагностирования                                                                    |
|                                                                                                                                                                                 | ИД-2опк-5<br>Уметь принимать обоснованные технические решения, выбирать эффективные и безопасные технические средства, и технологии при решении задач профессиональной деятельности        | Готовность к организации и контролю качества и безопасности процессов сервиса, параметров технологических процессов с учетом требований потребителя                                         |
|                                                                                                                                                                                 | ИД-3опк-5<br>Владеть навыками принятия обоснованных технических решений выбора эффективных и безопасных технических средств, и технологий при решении задач профессиональной деятельности. | Способен адаптировать и модифицировать специализированное программное обеспечение, методы и алгоритмы систем искусственного интеллекта и машинного обучения в профессиональной деятельности |

## 2. План - график выполнения самостоятельной работы

| Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)               | Вид деятельности студентов                         | Средства и технологии оценки | Объем часов, в том числе |                                    |       |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------------|-------|
|                                                            |                                                    |                              | СРС                      | Контактная работа с преподавателем | Всего |
| 4 семестр                                                  |                                                    |                              |                          |                                    |       |
| ОПК-1<br>(ИД-1; ИД-2; ИД-3)<br>ОПК-5<br>(ИД-1; ИД-2; ИД-3) | Самостоятельное изучение литературы по темам № 6-9 | Собеседование                | 85,38                    | 11,82                              | 97,2  |
| ОПК-1<br>(ИД-1; ИД-2;                                      | Подготовка к лабораторным                          | Отчёт (письменный)           | 1,62                     | 0,18                               | 1,8   |

|                                         |          |  |    |    |     |
|-----------------------------------------|----------|--|----|----|-----|
| ИД-3)<br>ОПК-5<br>(ИД-1; ИД-2;<br>ИД-3) | занятиям |  |    |    |     |
| Итого за 4 семестр                      |          |  | 87 | 12 | 108 |
| Итого                                   |          |  | 87 | 12 | 108 |

### **3. Методические рекомендации по изучению теоретического материала**

#### **3.1. Вид самостоятельной работы: самостоятельное изучение литературы**

Изучать учебную дисциплину «Детали машин и основы конструирования» рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них в программе дисциплины. При теоретическом изучении дисциплины студент должен пользоваться соответствующей литературой. Примерный перечень литературы приведен в рабочей программе

Для более полного освоения учебного материала студентам читаются лекции по важнейшим разделам и темам учебной дисциплины. На лекциях излагаются и детально рассматриваются наиболее важные вопросы, составляющие теоретический и практический фундамент дисциплины.

**Итоговый продукт: конспект лекций**

**Средства и технологии оценки: Собеседование**

**Критерии оценивания:** Оценка «отлично» выставляется студенту, если в полном объеме изучен курс данной дисциплины и выполнены практические задания

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если достаточно полно изучен курс данной дисциплины и выполнены практические задания

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, недостаточно если полно изучен курс данной дисциплины и выполнены практические задания

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если отсутствуют знания и практические навыки по данной дисциплине.

#### **Темы для самостоятельного изучения:**

1. Общие сведения о деталях машин. Основы конструирования и деталей машин.
2. Основы автоматизированного проектирования деталей машин.
3. Неразъемные соединения. Разъемные соединения.
4. Зубчатые передачи. Винтовые и червячные передачи.
5. Передача винт-гайка. Ременные передачи.
6. Цепные передачи. Волновые передачи. Фрикционные передачи и вариаторы.
7. Валы и оси. Подшипники скольжения.
8. Подшипники качения.
9. Муфты. Пружины.

#### **3.2. Вид самостоятельной работы: подготовка к лабораторным занятиям**

**Итоговый продукт:** отчет по лабораторной работе

**Средства и технологии оценки:** защита отчета

**Критерии оценивания:** Оценка «отлично» выставляется студенту, если в полном объеме изучен курс данной дисциплины и выполнены лабораторные задания

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если достаточно полно изучен курс данной дисциплины и выполнены лабораторные задания

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, недостаточно, если полно изучен курс данной дисциплины и выполнены лабораторные задания

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если отсутствуют знания и практические навыки по данной дисциплине

#### **4. Методические указания**

Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Детали машин и основы конструирования», направления подготовки 23.03.03 - Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

#### **5. Методические указания по подготовке к экзамену**

Процедура проведения **экзамена** осуществляется в соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования в СКФУ.

В экзаменационный билет включаются три вопроса (один вопрос для проверки знаний и два вопроса для проверки умений и навыков студента).

Для подготовки по билету отводиться 30 минут.

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования справочными таблицами

При проверке лабораторного задания, оцениваются:

- знание параметра;
- последовательность и рациональность выполнения.

## **Список рекомендуемой литературы**

### **Перечень основной литературы**

1. Детали машин и основы конструирования / сост. В.М. Сербин ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». – Ставрополь : СКФУ, 2016. – 114 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=458938>
2. Чибряков, М.В. Детали машин и основы конструирования: разработка электромеханического привода / М.В. Чибряков, А.В. Миронов ; Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Кафедра прикладной механики, физики и инженерной графики. – Санкт-Петербург : СПбГАУ, 2018. – 52 с. : схем., ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=560924>

### **Перечень дополнительной литературы:**

1. Детали машин и основы конструирования : учебник для бакалавров / [Г.И. Рошин, Е.А. Самойлов, Н.А. Алексеева и др.] ; под ред. Г.И. Рошина, Е.А. Самойлова. - М.:Юрайт, 2012. - 415 с. : ил. - (Бакалавр). - На учебнике гриф: Доп.МО. - Библиогр.: с. 401-402. - ISBN 978-5-9916-1664-5
2. Шейнблит, А. Е. Курсовое проектирование деталей машин : [учеб.пособие] / А.Е. Шейнблит. - 2-е изд., перераб. и доп. - Калининград : Янтарный сказ, 2006. - 456 с. : ил. - ISBN 5-7406-0257-2
3. Детали машин и основы конструирования: лабораторный практикум : [16+] / авт.-сост. В.М. Сербин, А.А. Соловьев ; Министерство науки и высшего образования РФ, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет». – Ставрополь : СКФУ, 2018. – 106 с. : ил.,табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=562840>
4. Андреев, В.И. Детали машин и основы конструирования. Курсовое проектирование : учебное пособие / В.И. Андреев, И.В. Павлова. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 352 с. — ISBN 978-5-8114-1462-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/12956> (дата обращения: 16.10.2019)
5. Андреев, В.И. Детали машин и основы конструирования. Курсовое проектирование : учебное пособие / В.И. Андреев, И.В. Павлова. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 352 с. — ISBN 978-5-8114-1462-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/12956>

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека on-line»
3. Электронно-библиотечная система Лань