Минобрнауки России

Бузулукский гуманитарно-технологический институт

(филиал) федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения

высшего образования

**«Оренбургский государственный университет»**

Кафедра *«Технической эксплуатации и ремонта автомобилей»*

*А.О. Шустерман*

**Методические указания**

**по освоению дисциплины «Теория механизмов и машин»**

Уровень высшего образования

БАКАЛАВРИАТ

Направление подготовки

*23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов*

(код и наименование направления подготовки)

*Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (нефтегазодобыча)*

 (наименование направленности (профиля) образовательной программы)

Квалификация

*Бакалавр*

Форма обучения

*Заочная*

Бузулук 2019

Теория механизмов и машин: методические указания для обучающихся по освоению дисциплины / А.О. Шустерман; Бузулукский гуманитарно-технолог. ин-т (филиал) ОГУ. – Бузулук: БГТИ (филиал) ОГУ, 2019.

Составитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.О. Шустерман

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2019 г.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов заочного обучения.

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины являются приложением к рабочей программе по дисциплине.

**Содержание**

[Введение](#_Toc466217638) 4

1 Виды работ студентов……………………………………………………………..5

2 Основные виды работ студентов и особенности их проведения при изучении курса…………………………………………………………………………………..5

# Введение

Цель методических указаний – помочь студенту в организации изучения дисциплины выполнения различных форм аудиторной и самостоятельной работы.

Для освоения данной дисциплины в вузе читаются лекции и проводятся практические занятия.

**Цель (цели)** освоения дисциплины:

1. иметь представление об износе поверхностей кинематических пар механизмов, о трении в механизмах и машинах и о потери энергии на трении, об учете упругости звеньев при исследовании движения машины, о новых направлениях науки и техники, связанных с созданием и применением робототехнических систем.

2. знать общие методы исследования и проектирования механизмов и машин, основные термины и определения курса для использования при исследовании механизма, классификацию механизмов, задачи структурного, кинематиче6ского силового анализа механизма и динамического

**Задачи:**

В результате освоения дисциплины студент должен уметь:

1. Проводить структурный анализ механизмов

2. Выполнять кинематический анализ графическим и графоаналитическим способом

3. Производить силовой анализ рычажных механизмов

4. Проводить синтез зубчатых механизмов

5. Выполнять синтез кулачкового механизма с разными видами толкателей

6. Проводить динамический анализ машины.

# 1 Виды работы студентов

Основные виды занятий: по курсу предусмотрено проведение лекционных занятий, на которых дается основной систематизированный материал, практические занятия, самостоятельная работа, сдача экзамена.

Самостоятельная работа предусматривает аудиторною и внеаудиторную работу.

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

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Задания для самостоятельной работы содержатся в фонде оценочных средств по дисциплине. Выполненные задания к каждому разделу сдаются в письменном виде.

Содержание самостоятельной работы определяется в соответствии с рекомендуемыми видами заданий согласно рабочей программы дисциплины.

# 2 Основные виды работы студентов и особенности их проведения при изучении данного курса

**2.1 Рекомендации к прослушиванию лекционного курса**

Лекция – это развернутое, продолжительное и системное изложение сущности какой-либо учебной, научной проблемы. Основа лекции – теоретическое обобщение, в котором конкретный фактический материал служит иллюстрацией или необходимым отправным моментом, это форма учебного занятия, цель которого состоит в рассмотрении теоретических вопросов излагаемой дисциплины в логически выдержанной форме.

В учебном процессе в зависимости от дидактических задач и логики учебного материала мы будем использовать вводные, текущие и обзорные лекции; в зависимости от деятельности студентов - информационные, объяснительные, лекции - беседы.

Лекционная форма целесообразна в процессе:

* изучения нового материала, мало связанного с ранее изученным;
* рассмотрения сложного для самостоятельного изучения материала;
* подачи информации крупными блоками;
* выполнения определенного вида заданий по одной или нескольким темам либо разделам;
* применения изученного материала при решении практических задач.

В состав учебно-методических материалов лекционного курса включаются:

* учебники и учебные пособия, в том числе разработанные преподавателями кафедры, конспекты (тексты, схемы) лекций в печатном виде и /или электронном представлении - электронный учебник, файл с содержанием материала, излагаемого на лекциях, файл с раздаточными материалами;
* тесты и задания по различным темам лекций (разделам учебной дисциплины) для самоконтроля студентов;
* списки учебной литературы, рекомендуемой студентам в качестве основной и дополнительной по темам лекций (по соответствующей дисциплине).

Приступая к изучению дисциплины, студенту необходимо ознакомиться с тематическим планом занятий, списком рекомендованной учебной и научной литературы. Следует уяснить последовательность выполнения индивидуальных учебных заданий, темы и сроки проведения семинаров, написания учебных и творческих работ, завести в свою рабочую тетрадь.

При изучении дисциплины студенты выполняют следующие задания: изучают рекомендованную учебную и научную литературу; пишут контрольные работы, готовят презентации и сообщения к практическим занятиям; выполняют самостоятельные творческие работы, участвуют в выполнении практических заданий. Уровень и глубина усвоения дисциплины зависят от активной и систематической работы в данных направлениях.

**2.2 Рекомендации при подготовке к практическим занятиям**

Практические занятия относятся к основным видам учебных занятий. Они составляют важную часть профессиональной подготовки.

Подготовка к практическому занятию

* подберите необходимую учебную и справочную литературу, конспекты,
* освежите в памяти теоретические сведения, полученные на лекциях и в процессе самостоятельной работы,
* определитесь в целях и специфических особенностях практической работы.
* отберите те задачи и упражнения, которые позволят в полной мере реализовать цели и задачи предстоящей работы,
* прорешайте задачи, примеры из лекции, учебника,
* ответьте на контрольные вопросы.

**Тематика практических занятий**

**Тема 1. Классификация рычажных механизмов**

Основой материал.

*Механизмом* называется кинематическая цепь, имеющая стойку (т.е. звено, принятое за неподвижное), в которой движение одного или нескольких звеньев полностью определяет характер движения остальных звеньев этой цепи.

Другими словами, - это кинематическая цепь, обладающая определенностью движения всех звеньев. Только одним звеньям дается принудительное движение (определенным образом задаются их законы  движения, например, подсоединением к двигателю), а другие получают движение от этих звеньев. В итоге механизм можно трактовать как механическую систему тел, предназначенную для преобразования, движения одного или нескольких тел в требуемое движение других тел.

Звенья, законы движения которых заданы, называются входными.

Звенья, законы которых надо определить, называются выходными. Количество входных звеньев определяется числом степеней свободы кинематической цепи, положенной в основу данного механизма.

Понятия входное и выходное (вход и выход) – это кинематическая характеристика. Не надо путать с понятиями – ведущее звено и ведомое звено. Ведущим звеном называется звено, к которому подводится мощность; ведомое звено – звено, с которого снимается мощность (для выполнения полезной работы).

Таким образом, понятия ведущее и ведомое звено – это силовая (энергетическая) характеристика. Однако в подавляющем большинстве случаев входное звено одновременно является и ведущим, выходное звено – ведомым.

Механизмы, входящие в состав машины, весьма разнообразны. Одни из них представляют собой сочетание только твердых тел, другие имеют в своем составе гидравлические, пневматические тела или электрические, магнитные и другие устройства. Соответственно такие механизмы называются гидравлическими, пневматическими, электрическими и т.д. С точки зрения их функционального назначения механизмы обычно делятся на следующие виды:

* механизмы двигателей и преобразователей
* передаточные механизмы
* исполнительные механизмы
* механизмы управления, контроля и регулирования
* механизмы подачи, транспортировки, питания и сортировки обрабатываемых сред и объектов
* механизмы автоматического счета, взвешивания и упаковки готовой продукции.

Механизмы двигателей осуществляют преобразование различных видов энергии в механическую работу (например, механизмы двигателей внутреннего сгорания, паровых машин, электродвигателей, турбин и др.).

Механизмы преобразователей (генераторов) осуществляют преобразование механической работы в другие виды энергии (например, механизмы насосов, компрессоров, гидроприводов и др.).

Передаточный механизм (привод) имеет своей задачей передачу движения от двигателя к технологической машине или исполнительному механизму, преобразуя это движение в необходимое для работы данной технологической машины или исполнительного механизма.

Исполнительный механизм – это механизм, который непосредственно воздействует на обрабатываемую среду или объект. В его задачу входит  изменение формы, состояния, положения и свойств обрабатываемой среды или объекта (например, механизмы металлообрабатывающих станков, прессов, конвейеров, прокатных станов, экскаваторов, грузоподъемных машин и др.).

Механизмами управления, контроля и регулирования называются различные механизмы и устройства для обеспечения и контроля размеров обрабатываемых объектов (например измерительные механизмы по контролю размеров, давления, уровней жидкости; регуляторы, реагирующие на отклонение угловой скорости главного вала машины и устанавливающие заданную скорость этого вала; механизм, регулирующий постоянство расстояния между валками прокатного стана, и т.д.).

К механизмам подачи транспортировки, питания и сортировки обрабатываемых сред и объектов относятся механизмы винтовых шнеков, скребковых и ковшевых элеваторов для транспортировки и подачи сыпучих материалов, механизмы загрузочных бункеров для штучных заготовок, механизмы сортировки готовой продукции по размерам, весу, конфигурации и т.д.

Механизмы автоматического счета, взвешивания и упаковки готовой продукции применяются во многих машинах, в основном выпускающих массовую штучную продукцию. Надо иметь в виду, что эти механизмы могут быть и исполнительными механизмами, если они входят в специальные машины, предназначенные для этих целей.

Данная классификация показывает лишь многообразие функционального применения механизмов, которая может быть еще значительно расширена. Однако для выполнения различных функций часто применяются механизмы, имеющие одинаковое строение, кинематику и динамику. Поэтому для изучения в теории механизмов и машин выделяются механизмы, имеющие общие методы их синтеза и анализа работы, независимо от их функционального предназначения. С этой точки зрения выделяются следующие виды механизмов:

* механизмы с низшими парами (рычажные механизмы)
* кулачковые механизмы
* зубчатые механизмы
* фрикционные механизмы
* механизмы с гибкими связями
* механизмы с деформируемыми звеньями (волновые передачи)
* гидравлические и пневматические механизмы.

В пределах данного небольшого курса в основном рассматриваются общие вопросы анализа и синтеза рычажных, зубчатых и кулачковых механизмов. Частично рассматриваются вопросы, связанные с выбором пневмо- и гидропривода.

Самостоятельная работа.

Задание на самостоятельную работу содержаться в фонде оценочных средств.

**Тема 2. Структурный анализ плоских механизмов**

Основной материал.

**Определение числа степеней свободы кинематической цепи**

Как отмечалось выше, число входных звеньев для превращения кинематической цепи в механизм должно равняться числу степеней свободы этой кинематической цепи.

Под числом степеней свободы кинематической цепи в данном случае подразумевается число степеней свободы подвижных звеньев относительно стойки (звена, принятого за неподвижное). Однако сама стойка в реальном пространстве может перемещаться.

Например, любое неподвижное тело на Земле имеет нулевую степень свободы, но в Мировом пространстве вместе с Землей оно перемещается, используя все шесть степеней свободы.  Другой пример: кинематическая цепь, положенная в основу поршневого двигателя, имеет одну степень свободы относительно стойки (звена, принятого при исследовании за неподвижное, которое состоит из цилиндра, присоединенного к картеру и раме или корпусу автомобиля, мотоцикла или другой машины), хотя при движении машины сама стойка также перемещается.

Однако, независимо от того движется машина или нет, характер движения звеньев поршневого двигателя относительно стойки остается неизменным.

Введем следующие обозначения:

k – число звеньев кинематической цепи

p1 – число кинематических пар первого класса в данной цепи

p2 – число пар второго класса

p3 – число пар третьего класса

p4 – число пар четвертого класса

p5 – число пар пятого класса.

Общее число степеней свободы k свободных звеньев, размещенных в пространстве, равно 6k. В кинематической цепи они соединяются в кинематические пары (т.е. на их относительное движение накладываются связи).

Кроме того, в качестве механизма используется кинематическая цепь, имеющая стойку (звено, принятое за неподвижное). Поэтому число степеней свободы кинематической цепи будет равно общему числу степеней свободы всех звеньев за вычетом связей, накладываемых на их относительное движение:

W=6k– ∑Si

Число связей, накладываемых всеми парами I класса, равно их числу, т.к. каждая пара первого класса накладывает одну связь на относительное движение звеньев, соединенных в такую пару; число связей, накладываемых всеми парами II класса, равно их удвоенному количеству (каждая пара второго класса накладывает две связи) и т.д.

У звена, принятого за неподвижное, отнимаются все шесть степеней свободы (на стойку накладывается шесть связей). Таким образом:

S1=p1, S2=2p2, S3=3p3, S4=4p4, S5=5p5, Sстойки=6,

а сумма всех связей

∑Si=p1+2p2+3p3+4p4+5p5+6.

В результате получается следующая формула для определения числа степеней свободы пространственной кинематической цепи:

W=6k–p1–2p2–3p3–4p4–5p5–6.

Сгруппировав первый и последний члены уравнения, получаем:

W=6(k–1)–p1–2p2–3p3–4p4–5p5,

или окончательно:

W=6n–p1–2p2–3p3–4p4–5p5,

где  n – число подвижных звеньев кинематической цепи.

Данное уравнение носит название структурной формулы кинематической цепи общего вида.

Примечание: авторы некоторых учебников придают иной смысл индексу при обозначении числа кинематических пар pi , а именно:

p1 – число одноподвижных пар (т.е. кинематических пар, обеспечивающих одну степень свободы в относительном движении),

p2 – число двухподвижных пар и т.д.

Самостоятельная работа.

Задание на самостоятельную работу содержаться в фонде оценочных средств.

**Тема 3. Кинематический анализ шатунного механизма.**

Основной материал

Кинематический анализ – это исследование движения звеньев механизма без учета сил, вызывающих данное движение. При кинематическом анализе решаются следующие задачи:

* определение положений звеньев, которые они занимают при работе механизма, а также построение траекторий движения отдельных точек механизма;
* определение скоростей характерных точек механизма и определение [угловых скоростей](http://www.isopromat.ru/teormeh/obzornyj-kurs/uglovaya-skorost-i-uskorenie) его звеньев;
* определение ускорений отдельных точек механизма и угловых ускорений его звеньев.

При решении задач кинематического анализа используются все существующие методы – графический, графоаналитический (метод планов скоростей и ускорений) и аналитический.

При кинематическом анализе в качестве начального звена принимается входное звено (звено, закон движения которого задан), т.е. входное звено со стойкой составляют начальный механизм – с него начинается решение задачи.

Далее решение ведется по [группам Ассура](http://www.isopromat.ru/tmm/kratkij-kurs/gruppa-assura) в порядке их присоединения к механизму.

#### Графический метод кинематического исследования

При этом методе решение задачи сводится к построению диаграмм (графиков) движения исследуемого звена или точки. Строятся диаграммы перемещений, скоростей и ускорений – поэтому данный метод часто называют методом кинематических диаграмм.

Исследование начинается с построения различных положений механизма. Строится “N” последовательных положений механизма, которые он занимает в процессе работы в пределах одного цикла (обычно один полный оборот входного звена). Построение ведется строго в масштабе KL.

Количество положений механизма “N” выбирается в зависимости от необходимой точности исследования. При чисто графическом решении задачи обычно принимают N=12. Это обеспечивает в большинстве случаев достаточную практическую точность при относительно небольшом количестве построений. Большее количество положений делает метод весьма громоздким, приводит к значительному затемнению чертежа и трудности его чтения.

При использовании графического метода в качестве алгоритма решения задачи с помощью ЭВМ количество положений механизма, выбираемых для исследования, не имеет ограничений.

Построение отдельных положений механизма ведется по группам Ассура и обычно сводится к графическому  решению элементарных геометрических задач.

После построения “N” положений механизма строится диаграмма перемещений исследуемого звена. Одно из положений механизма принимается за нулевое (в качестве нулевого положения можно назначать любое положение механизма, но при чисто графическом решении задачи обычно в качестве нулевого принимают положение механизма, в котором исследуемое звено занимает одно из своих крайних положений).

От нулевого положения производится нумерация остальных положений механизма, последовательно занимаемых им в процессе работы (на входном звене нумерация должна совпадать с направлением его движения).

Самостоятельная работа.

Задание на самостоятельную работу содержаться в фонде оценочных средств.

**Тема 4. Силовой анализ рычажного механизма.**

Основной материал

Силовой расчет механизмов относится к решению первой задачи динамики. Как видно из содержания задач динамики, приведенного выше, первая задача включает в себя две части: изучение сил, действующих на звенья механизма; определение неизвестных сил при заданном законе движения на входе (эта вторая часть и есть задача силового расчета).

В целях дальнейшего понимания терминологии и систематизации материала целесообразно повторить известные из физики и[теоретической механики](http://www.isopromat.ru/teormeh) сведения о силах, а также ввести некоторые новые (применяемые в теории механизмов и машин) понятия. С точки зрения решения задач динамики силы (в данном случае под силой понимается обобщенное понятие силового фактора – собственно сила или момент) можно классифицировать следующим образом:

а) по взаимодействию звена механизма с другими объектами. По этому признаку силы подразделяются на внешние и внутренние:

- внешние силы – это силы взаимодействия звена механизма с какими-то телами или полями, не входящими в состав механизма;

- внутренние силы – это силы взаимодействия между звеньями механизма (реакции в кинематических парах);

- движущая сила – это сила, которая помогает движению звена и развивает положительную мощность; б) по мощности, развиваемой силой. По этому признаку силы делятся на силы движущие и силы сопротивления (рисунок 1):

- сила сопротивления препятствует движению звена и развивает отрицательную мощность.



Рисунок 1

В свою очередь силы сопротивления можно разделить на силы полезного сопротивления и силы вредного сопротивления:

- *силы полезного сопротивления* – это силы, для преодоления которых и создан механизм. Преодолевая силы полезного сопротивления, механизм создает полезную работу (например, преодолевая сопротивления резанию на станке, добиваются необходимого изменения формы детали; или, преодолевая сопротивление воздуха в компрессоре, сжимают его до требуемого давления и т.д.);

- *силы вредного сопротивления* – это силы, на преодоление которых затрачивается мощность и эта мощность теряется безвозвратно. Обычно в качестве вредных сил сопротивления выступают силы трения, гидравлического и аэродинамического сопротивлений. Работа по преодолению этих сил переводится в тепло и рассеивается в пространство, поэтому коэффициент полезного действия любого механизма всегда меньше единицы;

в) силы веса – это силы взаимодействия звеньев механизма с гравитационным полем земли;

г) силы трения – силы, сопротивляющиеся относительному перемещению соприкасающихся поверхностей;

д) силы инерции – силы, возникающие при неравномерном движении звена и сопротивляющиеся его ускорению (замедлению). Сила инерции действует на то тело, которое заставляет ускоряться (замедляться) данное звено.

Самостоятельная работа.

Задание на самостоятельную работу содержаться в фонде оценочных средств.

**Тема 5. Динамический анализ зубчатого механизма.**

Основной материал

Зубчатые механизмы применяются для передачи и преобразования вращательного движения. В зубчатых механизмах движение между колесами передается с помощью последовательно зацепляющихся зубьев.

Процесс передачи движения с помощью зубьев принято называть зубчатым зацеплением.

Вращательное движение между валами можно передавать с помощью фрикционной передачи, в которой вращающий момент обеспечивается силами трения. Основным недостатком фрикционной передачи является возможность пробуксовывания, который отсутствует у зубчатых передач.

Зубья зубчатых колес составляют высшую пару IV класса, т.е. представляют собой некоторые поверхности, находящиеся в контакте. Таким образом, профили зубьев – это кривые (а в некоторых случаях прямые) линии.



Рисунок 2

На рисунке 2 показаны два профиля, находящиеся в контакте в точке А. Скорость точки А, принадлежащей первому профилю (V1), перпендикулярна радиусу О1А, соответственно, скорость точки А, принадлежащей второму профилю (V2), перпендикулярна радиусу О2А.

Рассмотрим проекции этих скоростей на общую нормаль (N-N), проведенную к профилям в точке их контакта (С1 – проекция скорости V1 , С2 – проекция скорости V2). Могут получиться различные соотношения между значениями этих проекций:

1) С2> С1 – точка А, принадлежащая второму профилю (А2), в направлении нормали движется быстрее точки А, принадлежащей первому профилю (А1). Второй профиль «убегает» от первого, в следующий момент произойдет разрыв кинематической пары (нарушится контакт между звеньями);

2) С1> С2 – точка А1 в направлении нормали движется быстрее точки А2 (положение на рисунке 2 соответствует этому случаю), то есть точка А1 стремится к внедрению  во второй профиль. Если вычертить следующее положение механизма, то первый профиль в области точки А будет накладываться на второй.

В теории зацепления это явление носит название «интерференция профилей». В реальном механизме это приведет к заклиниванию или поломке передачи. Очевидно, что оба этих положения недопустимы – и разрыв кинематической пары, и, тем более, заклинивание и поломка делают передачу неработоспособной;

3) *С1 = С2 – условие нормальной безотрывной работы профилей.*

Из рисунка 2 видно, что  ΔAV1C1 подобен   ΔO1AB1, и, соответственно,   ΔAV2C2 подобен   ΔO2AB2. Из подобия треугольников можно записать отношение сходственных сторон:



Здесь *i12 – передаточное отношение* от первого профиля ко второму (это отношение угловой скорости на входе к угловой скорости на выходе).

Из подобия треугольников O1B1W и O2B2W (W – точка пересечения общей нормали N-N с линией центров O1O2) получаем:



VW1 – скорость точки W, связанной с первым профилем,

VW2 – скорость точки W, связанной со вторым профилем.

Эти скорости совпадают не только по величине, но и по направлению (VW1⊥O1W, VW2⊥O2W , т.е. оба вектора перпендикулярны межосевому расстоянию O1O2).

Две точки совпадают по своему положению и имеют одинаковые скорости, то есть их относительная скорость равна нулю (VW1W2=0). Таким образом, точка W является мгновенным центром относительного вращения рассматриваемых профилей.

Исходя из вышеизложенного, можно следующим образом сформулировать условие работоспособности передачи, составленной из двух профилей, входящих высшую кинематическую пару:

*- для нормальной безотрывной работы профилей необходимо, чтобы нормаль к этим профилям в точке контакта в любой момент времени проходила через мгновенный центр их относительного вращения*.

Это условие носит название основного закона зацепления.

Самостоятельная работа.

Задание на самостоятельную работу содержаться в фонде оценочных средств.

**Тема 6. Методика составление уравнений.**

Основной материал

Под синтезом кулачкового механизма будем понимать построение профиля кулачка, в каждой точке которого угол давления не превышал бы допустимого, а размеры самого профиля были бы минимальны.

 Данная задача решается в 3 этапа:

1. Строится график заданного закона движения (как правило либо график ускорения точки В толкателя как функция угла положения – aB = f(φ1), либо график линейной скорости точки В – vB= f(φ1)). Требуется построить график перемещения точки В как функцию от угла поворота кулачка sB= f(φ1).
2. Определение минимального размера кулачковой шайбы при условии, что угол давления в любой точке профиля не превышает допустимого.
3. Построение профиля кулачка.

Дано: Надо построить:

вид графика aB = f(φ1),  графики aB = f(φ1)

максимальный ход vB= f(φ1)

толкателя hт sB= f(φ1)



 b – база графика (сколько отводиться на график по оси φ1­).

Порядок построения:

1. Произвольно выбирается база графика.
2. Считаем масштаб по оси φ1:

, мм/град

1. Если задан симметричный вид графика, то:

φуд = φсб 🡪 bуд = bсб

В общем случае закон движения может быть несимметричным.

1. Зададимся произвольным образом а1= 40 ÷ 50 мм. Тогда

а2= а1/ν

 Возникает вопрос: каким должно быть расстояние х ?

Его находят из условия равенства площадей под и над осью φ1.



Почему надо выдерживать равенство площадей?

 Физический смысл площади под кривой ускорения на площадке х – скорость толкателя на данном участке.

 Физический смысл площади под кривой скорости на участке φуд – максимальное удаление (перемещение т.В толкателя). Если площади не будут равновеликими, то толкатель, поднявшись на одну величину, опустится на другую.

 Построив график ускорения, строим график скорости методом графического интегрирования, выбрав отрезок интегрирования ОК1. Интегрируя график скорости (с отрезком интегрирования ОК2, обычно ОК1=ОК2), получаем график перемещения т.В толкателя. Полученную ломаную линию заменяют плавной кривой.

 Расчет масштаба:

(уSВ)max на графике перемещений получается автоматически, и его величина зависит от отрезка ОК2. Тогда, зная ход толкателя, масштаб перемещения будет:

μ=

Затем в первом приближении принимаем, что кулачок вращается равномерно, тогда угол поворота кулачка пропорционален времени поворота, и оси φ и t совпадают, но каждая ось имеет свой масштаб.



где b – в [мм]; частота вращения кулачка n – [об/мин]; φраб – [град].

Масштаб скорости:



Масштаб ускорения:



Самостоятельная работа.

Задание на самостоятельную работу содержаться в фонде оценочных средств.

**Тема 7. Исследование колебаний в механизмах**

Основной материал

Вибрации нашли полезные применения в технике. Примерами этого являются различные вибромассажеры, вибротранспортеры и т.д. Однако работа с инструментом, основанном на вибрации, приводит к профессиональным травмам и заболеваниям. Основные мероприятия, связанные с выявлением источника вибрации, с целью последующего снижения его виброактивности или полного его устранения, называют виброзащитой.

Виброзащита осуществляется по следующим основным направлениям:

1. Уменьшение активности источника с помощью статического уравновешивания механизмов (полного или частичного), а также уравновешивания роторов.
2. Изменение конструкции объекта: установка гасителей колебаний, демпферов, виброизоляторов.
3. Когда центр масс совмещен с А, то он становиться неподвижным. Этого добиваются с помощью двух противовесов, один из которых устанавливается на продолжении шатуна, а другой на продолжении кривошипа.

Для того чтобы рассчитать массы противовесов, применяют метод замещающих масс, суть которого заключается в том, что масса каждого звена условно разноситься по двум точкам. При этом должны выполняться следующие условия:разнесем массу этого звена по точкам А и В так, чтобы положение центра масс не изменилось.

 m = mA + mB

 lAB = lAS + lBS

 mA lAS = mB lBS

Сосредоточим массу 3-го звена в т.С

Массу 2-го звена разнесем по шарнирам В и С. Если на продолжении звена 2 поставить противовес массой mпр2 и на расстоянии от т.В равное lпр2, то центр масс звеньев 2 и 3 переместиться в т.В, при этом

mпр2.lпр2 = (m2C + m3C).lBC

При этом либо задаются массой противовеса и определяют lпр2, либо задаются lпр2 и определяют массу противовеса.

mпр1.lпр1 = (m1B + mпр2+ m2В+ m2C+ m3C).lAB

После всех указанных мероприятий, центр масс переместиться в точку А, однако невсегда конструктивно возможно установить противовес на продолжении шатуна и ограничиваются установкой противовеса на звене 1. В этом случае центр масс системы смещают на линию АС, и этот центр масс перемещается с постоянным ускорением: а = const

В этом случае механизм – частично статически уравновешанный, его нежелательно устанавливать на высоком фундаменте, т.к. главный вектор сил инерции создает опрокидывающий момент, что недопустимо.

В четырехшарнирном механизме центр масс системы разноситься по точкам А и D, а противовесы устанавливаются на продолжении звеньев 1 и 3.

Ротор – тело любой геометрической формы, имеющее свое основное движение – движение вращения (коленвал, колесо турбины и т.д.).

Пусть в силу каких-либо причин центр масс ротора смещен от оси вращения О на постоянную величину е.

1. ω=0 🡪 на опоры действует только сила тяжести G=mg.
2. ω=соnst

1) 2)

Если заменить воздействие опоры реакцией и записать условие статического равновесия (по Даламберу):



Из рассмотрения данного треугольника следует, что при вращении ротора на его опоре возникает знакопеременная нагрузка Q12, которая достигает максимума, когда ФS и G направлены вниз, и минимума, когда эти вектора направлены по вертикали в разные стороны.

Состояние ротора , характеризующегося таким распределением масс, при котором на его опорах возникает знакопеременная нагрузка, называется неуравновешанностью ротора.

Причины вызывающие неуравновешанность ротора:

1. неточность изготовления ротора;
2. неточность сборки;
3. различные включения при отливке частей ротора;
4. перепады температур.

Мерой неуравновешенностью ротора является дисбаланс () – вектор, направленный по ФS и отличающийся от него в ω2 раз:

 ,[г.мм]

Для того чтобы определить величину и направление D, в рассмотрение вводят плоскость дисбаланса, в которой этот вектор расположен, и угол дисбаланса.

Мероприятие, связанное с определением величины и направления D, с целью его последующего уменьшения, называется уравновешиванием ротора.

Существуют 3 вида неуравновешанности:

1. статическая;
2. моментная;
3. динамическая (общий случай).

Самостоятельная работа.

Задание на самостоятельную работу содержаться в фонде оценочных средств.

**Тема 8. Методы гашения колебаний**

Основной материал

Статическая неуравновешанность характеризуется тем, что главная центральная ось инерции ротора расположена параллельно оси его вращения, а центр масс ротора смещен от оси вращения на величину е статическое.

Статическая неуравновешанность проявляется в статике: если ось вращения ротора установить на призмы, то ротор, стремясь занять положение устойчивого положения равновесия, будет поворачиваться.



При вращении ротора возникает статический дисбаланс Dcт. Для устранения статической неуравновешанности по линии действия Dcт устанавливают корректирующую массу mk на расстоянии еk от оси вращения, и эта корректирующая масса создает дисбаланс:



Для статического уравновешивания необходимо, чтобы



при этом можно задаться величиной mk и определить еk , или задаться еk и найти mk.

В результате уравновешивания главная центральная ось инерции должна совпасть с осью вращения.

Однако бывают случаи, когда в силу конструктивных особенностей ротора нельзя установить одну корректирующую массу. Тогда устанавливают две корректирующих масс в разных плоскостях.

Бывает другой случай статической неуравновешанности, когда ротор по своему объему имеет какие-либо включения сторонних предметов или частиц.



Каждая частица создает дисбаланс: Dст1, Dст2, Dст3.

Возникает вопрос, как расположить корректирующую массу?



 Строится план дисбалансов.



Величину и направление Dk определяют из плана.

Здесь также либо задаются величиной mk и определяют еk , либо задаются еk и находят mk.

Моментная неуравновешанность характеризуется тем, что центр масс ротора расположен на оси его вращения, главная центральная ось инерции повернута относительно оси вращения на некоторый угол γ.



Моментная неуравно-вешанность проявляется только при вращении ротора (появляются биения на опорах).

Динамический момент, возникающий при вращении ротора

MД = DД.lД

Для устранения моментной неуравновешанности выбирают в произвольном месте две корректирующие плоскости.

Выберем их так, чтобы одна проходила через опору А, другая – через опору В.

 в обоих плоскостях



Для моментного уравновешивания необходимо чтобы



Таким образом, для устранения моментной неуравновешенности необходимо иметь две корректирующие массы, которые размещают в 2-х корректирующих плоскостях.

Динамическая неуравновешанность является общим случаем неуравновешанности ротора, а именно имеет место как статическая, так и моментная неуравновешанности.

При этом центр масс ротора не лежит на оси вращения, и главная центральная ось инерции повернута на угол γ относительно оси вращения.





Выберем в произвольном месте две корректирующие плоскости (опоры А и В).

Вектор дисбаланса разнесем по этим плоскостям так, чтобы



Динамический момент представим в виде пары сил

 MД = DД.lД lД = lАВ

В 1-ой плоскости находим результирующий вектор дисбаланса.

Для уравновешивания DI необходимо на линии его действия установить корректирующую массу mk1 на расстоянии ек1 так, чтобы она создавала дисбаланс корректирующей массы в 1-ой плоскости



Во 2-ой плоскости



Динамическая неуравновешанность устраняется путем установки двух корректирующих масс в двух корректирующих плоскостях. При этом дисбалансы корректирующих масс в 1-ой и во 2-ой плоскостях неравны и непараллельны.

Самостоятельная работа.

Задание на самостоятельную работу содержаться в фонде оценочных средств.

**2.3 Методические рекомендации по подготовке к тестированию**

Тестирование позволяет путем поиска правильного ответа и разбора допущенных ошибок лучше усвоить тот или иной материал. Для выполнения тестового задания, прежде всего, следует внимательно прочитать поставленный вопрос. После ознакомления с вопросом следует приступать к прочтению предлагаемых вариантов ответа. Необходимо прочитать все варианты и в качестве ответа следует выбрать индекс (цифровое обозначение), соответствующий правильному ответу. На выполнение теста отводится ограниченное время. Оно может варьироваться в зависимости от уровня тестируемых, сложности и объема теста. Как правило, время выполнения тестового задания определяется из расчета 30-45 секунд на один вопрос. К работе над тестовым заданием следует приступать после изучения рекомендованной литературы и материалов лекций.

**2.4 Методические рекомендации по подготовке к экзамену**

Цель экзамена - проверка и оценка уровня полученных студентом специальных познаний по учебной дисциплине, а также умения логически мыслить, аргументировать избранную научную позицию, реагировать на дополнительные вопросы, ориентироваться в массиве правовых норм. Оценке подлежит также и правильность речи студента. Дополнительной целью итогового контроля в виде экзамена является формирование у студента таких качеств, как организованность, ответственность, трудолюбие, самостоятельность. Студент в целях получения качественных и системных знаний должен начинать подготовку к экзамену задолго до его проведения, лучше с самого начала лекционного курса.  В ходе подготовки к экзамену студентам необходимо обращать внимание не только на уровень запоминания, но и на степень понимания излагаемых проблем.