

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

**(ФГАОУ ВО «МГТУ»)**

**Методические указания  
к самостоятельной работе студентов (курсантов)**

**Теория механизмов и машин**  
(для всех специальностей и форм обучения)

Разработчик

Прежин С.Д., ст. преподаватель

## Оглавление

1. Общие организационно-методические указания .....	3
2. Наименование тем и содержание самостоятельной работы .....	4
3. Список рекомендуемой литературы .....	5
4. Методические указания к изучению тем дисциплины .....	6

## **1. Общие организационно-методические указания**

1.1. Самостоятельная работа проводится вне сетки расписания студентами самостоятельно на базе имеющегося библиотечного фонда и доступных электронных ресурсов на сайте МГТУ [www.mstu.edu.ru](http://www.mstu.edu.ru)

1.2. Целями самостоятельной работы являются: углубление практических навыков по изучаемым в сетке расписания вопросам и самостоятельное изучение ряда теоретических и практических вопросов, не изучавшихся на занятиях в сетке расписания.

1.3. Самостоятельная работа является неотъемлемой частью изучения дисциплины, так как общий объём её изучения в часах определяется с учётом объёма самостоятельной работы.

1.4. Важнейшим фактором успешного и эффективного проведения самостоятельной работы является её систематический и планомерный характер в соответствии с тематическим планом.

1.5. Настоящие методические указания предназначены для руководства в проведении самостоятельной работы и для оценки степени её эффективности.

1.6. В настоящих указаниях представлены темы, изучаемые студентами в процессе аудиторных занятий, а также некоторые дополнительные вопросы для более глубокого изучения дисциплины.

1.7. Дополнительные методические указания и разъяснения по конкретным вопросам могут быть получены непосредственно у преподавателя в часы индивидуальных вечерних консультаций.

## **2. Наименование тем и содержание самостоятельной работы**

1. Основные понятия. Машина, механизм, звено, кинематическая пара, кинематическая цепь. Классификация кинематических пар.
2. Структурный анализ и синтез механизмов. Избыточные связи.
3. Основные виды механизмов. Рычажные, кулачковые, фрикционные, зубчатые, механизмы с гибкой связью.
4. Кинематический анализ механизмов. Передаточное отношение. Аналог скорости. Аналог ускорения. Методы кинематического анализа.
5. Трение в механизмах. Динамика винтовой пары.
6. Синтез плоских рычажных механизмов по положениям звеньев.
7. Уравновешивание механизмов. Виды неуравновешенности. Частичное и полное уравновешивание.
8. Синтез зацеплений. Основная теорема зацепления. Плоское зацепление. Теорема Виллиса.
9. Основы теории эвольвентного зацепления.
10. Синтез кулачковых механизмов.
11. Динамический анализ машинных агрегатов. Приведение сил и масс в механизмах. Динамическая модель машинного агрегата. Уравнение движения агрегата. Фазы движения машинного агрегата.
12. Колебания в механизмах. Вибрация. Методы защиты от вибрации. Виброзащитные устройства.

### 3. Список рекомендуемой литературы

1. Теория механизмов и машин: учеб.-метод. пособие / В. П. Чмиль. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2016. - 279 с.
2. Сборник задач по теории механизмов и машин: учеб. пособие для вузов / И. И. Артоболевский, Б. В. Эдельштейн. - Изд. 3-е, стер. - Москва: Альянс, 2013, 2014. - 255 с.
3. Теория механизмов и механика машин: учебник для вузов / К. В. Фролов, С. А. Попов, А. К. Мусатов [и др.] ; под ред. К. В. Фролова. - 4-е изд., испр. - Москва: Высш. шк., 2003. - 496 с.
4. Теория механизмов и машин: Учеб. для вузов/ К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др.; Под ред. К.В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1987. - 496 с.
5. Прыгунов А.И. Теория механизмов и машин. Методические указания к выполнению курсовой работы и контрольные задания для студентов инженерных специальностей. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2003 г.
6. Курсовое проектирование по теории механизмов и механике машин: учеб. пособие для вузов / С. А. Попов, Г. А. Тимофеев; под ред. К. В. Фролова. - 4-е изд., перераб. и доп. - Москва: Высш. шк., 2002. - 411 с.
7. Левитская, О.Н. Курс теории механизмов и машин / О.Н. Левитская, И.И. Левитский - М.: Высш.шк., 1978. - 269 с.
8. Ходяков И.В. Прикладная механика в лабораторных работах: Учебное пособие. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2002.

#### 4. Методические указания к изучению тем дисциплины

1. Основные понятия. Машина, механизм, звено, кинематическая пара, кинематическая цепь. Классификация кинематических пар. Следует ознакомиться с конструкцией основных кинематических пар по их рисункам в аксонометрии, изучить их классификацию и обозначение по международным стандартам. При этом следует основное внимание уделить делению пар на высшие и низшие кинематические пары с учётом особенности их элемента. Уметь привести примеры кинематических пар с элементом в виде линии и точки ([1] стр. 8-15, [2] стр. 7-8, [3] стр. 38-47, [4] стр. 18-23).

##### Контрольные вопросы:

Дайте определение звену, детали.

Что называют кинематической парой?

Дайте определение элементу кинематической пары.

Какие кинематические пары называют высшими?

Как связаны между собой подвижность и класс кинематической пары?

К каким классам относятся вращательная и цилиндрическая кинематические пары?

Какое максимальное число степеней свободы имеет звено в пространстве?

Какое максимальное число степеней свободы имеет звено на плоскости?

Сколько из них вращательных и поступательных степеней свободы?

Дайте определение структурной схемы механизма.

2. Структурный анализ и синтез механизмов. Избыточные связи. При изучении раздела необходимо особое внимание обратить на избыточные связи и к чему приводит их наличие в механизмах ([1] стр. 15-18, 28-31, [3] стр.47-62, [4] стр. 34-58, [5] стр. 9-10).

##### Контрольные вопросы:

Запишите формулу Чебышева. В каком случае и для чего она применяется?

Запишите формулу Малышева без учета избыточных связей. В каком случае и для чего она применяется?

Как запишется формула Малышева при наличии избыточных связей?

Какое число избыточных связей имеет плоский кривошипно-ползунный механизм?

Чем опасны и чем полезны избыточные связи?

Дайте определение структурным группам (группам Ассура).

Как определяется класс структурной группы и класс механизма?

В чем заключается синтез структурной схемы механизма по методу

наслоения структурных групп.

Приведите пример синтеза структурной схемы плоского механизма с одной степенью свободы.

3. Основные виды механизмов. Рычажные, кулачковые, фрикционные, зубчатые, механизмы с гибкой связью. Следует изучить конструкции основных механизмов плоских и пространственных, их назначение передач в машинах и классификацию. Необходимо уметь дать определение специальных терминов ТММ таких как «кривошип», «шатун», «коромысло», «кулиса», «кулачок» и т.д. Особо следует обратить внимание на классификацию кулачковых механизмов с учётом характера замыкания между кулачком и толкателем (коромыслом) ([1] стр. 18-28, [2] стр. 16-33, [3] стр. 62-67, [4] стр. 23-32).

Контрольные вопросы:

Какое звено называют кривошипом? шатуном? коромыслом? кулисой?

Приведите примеры рычажных плоских и пространственных механизмов. Изобразите структурные схемы и дайте названия звеньев.

Дайте определение кулачку, толкателю, изобразите структурную схему кулачкового механизма и дайте название звеньев.

Дайте определение зубчатому механизму. Приведите примеры. Какой зубчатый механизм называют планетарным?

Дайте определение механической передачи. Какие бывают механические передачи?

Приведите примеры механизмов с гибкими связями.

Какие механизмы называют гидравлическими, пневматическими?

4. Кинематический анализ механизмов. Передаточное отношение. Аналог скорости. Аналог ускорения. Методы кинематического анализа. Особое внимание при изучении раздела обратите на аналитические методы анализа (рассмотрите пример кривошипно-ползунного механизма) ([1] стр. 31-33, 40-46, [2] стр. 33-37, 65-77, [3] стр. 67-78, [4] стр. 59-65, 89-109).

Контрольные вопросы:

Сформулируйте основные задачи кинематического анализа механизмов.

Какие существуют методы кинематического анализа механизмов? В чем заключается каждый метод?

Дайте определение передаточного отношения и передаточного числа механизма.

Как определяется знак передаточного отношения?

Дайте определение аналога скорости, аналога ускорения. В чем они измеряются?

Изобразите структурные схемы соосного и несоосного кривошипно-ползунного механизма.

Какие особенности имеет кинематика ползуна в составе механизма?

Как влияет длина шатуна на величину составляющих второго порядка скорости и ускорения ползуна?

5. Трение в механизмах. Динамика винтовой пары. Следует изучить силовые соотношения в винтовой кинематической паре. Уяснить, от чего зависит КПД винтовой пары. Особое внимание уделить условию самоторможения в резьбе и областям применения самотормозящихся и несамотормозящихся резьб ([1] стр. 112-140, [3] стр. 206-224, [4] стр. 225-242, [8] стр. 46-52).

Контрольные вопросы:

Дайте определение угла трения. Как он связан с коэффициентом трения?

Что такое угол подъема резьбы? От чего он зависит?

На какие силы раскладывают силу взаимодействия между звеньями в винтовой кинематической паре? Запишите формулу, определяющую соотношение между этими силами.

Как влияет профиль резьбы на трение? Что такое приведенный угол трения?

Запишите условие самоторможения в прямоугольной и метрической резьбах.

От чего зависит КПД винтовой пары? Запишите формулу, по которой он вычисляется.

Назовите способы повышения КПД винтовой пары.

Какой величиной ограничен КПД самотормозящейся резьбы?

Назовите области применения самотормозящихся и несамотормозящихся резьб.

6. Синтез плоских рычажных механизмов по положениям звеньев. Рассмотреть синтез механизмов на примере кривошипно-ползунного (соосного и несоосного) и кривошипно-коромыслового механизмов. Особое внимание следует уделить влиянию параметров синтеза на динамику механизмов, в частности на угол давления. Следует уяснить причину жёсткого ограничения угла давления шатуна на ползун в кривошипно-ползунных механизмах. ([2] стр. 231-234, [3] стр. 297-306, [4] стр. 307-313, [5] стр. 10-11)

Контрольные вопросы:

Сформулируйте основные задачи синтеза механизмов.



Изобразите структурную схему соосного и несоосного кривошипно-ползунного механизма. Что такое положительный и отрицательный дезаксиал?

Что такое угол давления? Укажите угол давления шатуна на ползун в кривошипно-ползунном механизме.

Почему ограничивают угол давления шатуна на ползун? К чему это приводит?

К чему приводит введение дезаксиала?

Как решается задача синтеза кривошипно-коромыслового механизма?

Сформулируйте теорему Грасгофа о существовании кривошипа в шарнирном четырехзвеннике.

7. Уравновешивание механизмов. Виды неуравновешенности. Частичное и полное уравновешивание. Особое внимание следует уделить обоснованию необходимости проведения уравновешивания механизмов. Обратит внимание на невозможность полного статического уравновешивания кривошипно-ползунного механизма путём постановки противовесов на кривошип. Рассмотреть варианты полного конструктивного уравновешивания кривошипно-ползунных механизмов, изложенные в рекомендованной литературе ([1] стр. 50-76, [2] стр. 78-95, [3] стр. 189-205, [4] стр. 202-224, [5] стр. 11-12).

Контрольные вопросы:

С какой целью проводят уравновешивание механизмов?

Что является причиной неуравновешенности механизмов? Какие известны виды неуравновешенности механизмов?

Дайте определение статическому уравновешиванию механизмов.

В чем заключается метод замещающих масс?

Как выполняют полное статическое уравновешивание шарнирного четырехзвенника?

Почему невозможно полное статическое уравновешивание кривошипно-ползунного механизма путём постановки противовеса на кривошип? Какие существуют конструктивные приёмы полного уравновешивания кривошипно-ползунных механизмов?

Какие виды неуравновешенности роторов вы знаете?

Как устраняется статическая неуравновешенность ротора?

Какое минимальное число плоскостей коррекции необходимо использовать

для моментного уравнивания ротора?

Какие виды неуравновешенности устраняет динамическая балансировка?

Как устроен простейший балансировочный станок?

8. Синтез зацеплений. Основная теорема зацепления. Плоское зацепление. Теорема Виллиса. Следует обратить внимание на эквивалентность понятий зацепление и высшая кинематическая пара, таким образом, синтез зацеплений эквивалентен синтезу элементов высших кинематических пар. При изучении темы основное внимание уделить теореме плоского зацепления (теорема Виллиса), понятиям полюса зацепления и начальных окружностей ([1] стр. 141-153, [2] стр. 201-211, [3] стр. 316-322, [4] стр. 340-345, [8] стр. 52-60)

Контрольные вопросы:

Дайте определение сопряженным поверхностям, сопряженным профилям.

К чему сводится синтез зацеплений?

Сформулируйте и докажите основную теорему зацепления.

Сформулируйте и докажите теорему плоского зацепления (теорему Виллиса).

Что такое полюс зацепления?

Дайте определение начальным окружностям.

Почему не существует отдельно взятой начальной окружности?

9. Основы теории эвольвентного зацепления. Основное внимание обратить на понятия модуля зацепления и делительной окружности. Ознакомиться с методами изготовления зубчатых колес. ([1] стр. 153-169, [3] стр. 334-354, [4] стр. 358-376, [8] стр. 52-60)

Контрольные вопросы:

Какая кривая называется эвольвентой?

Дайте определения основной окружности, окружностям вершин и впадин зубьев.

Дайте определение модуля зубьев. Для чего вводится понятие модуля?

Дайте определение делительной окружности. Как вычислить диаметр делительной окружности через модуль?

Запишите формулы, по которым вычисляются диаметры окружностей вершин и впадин зубьев.

Что такое угол зацепления? Какое его стандартное значение? Докажите, что он является углом давления.

Запишите формулу, по которой вычисляется передаточное число зубчатой передачи.

Какие существуют методы изготовления зубчатых колес?

В чем заключается метод обкатки?

В каких случаях выполняют коррегирующее при изготовлении зубчатых колес? За счет чего оно достигается?

Какие параметры зубчатого колеса при коррегировании изменятся, а какие останутся без изменения?

10. Синтез кулачковых механизмов. Рассмотреть этапы синтеза кулачковых механизмов. Проработать определение минимальных размеров механизма из условия ограничения угла давления кулачка на толкатель и синтез профиля кулачка по методу обращения движения ([2] стр. 214-230, [3] стр. 422-450, [4] стр. 444-469, [5] стр. 4-10).

Контрольные вопросы:

С чем связано ограничение угла давления со стороны кулачка на толкатель в кулачковых механизмах?

Сформулируйте понятия «жёсткий» и «мягкий» удар применительно к законам движения толкателя в кулачковых механизмах.

Изложите основные этапы синтеза кулачковых механизмов.

Покажите угол давления кулачка на толкатель в кулачковом механизме. Как выглядит условие ограничения угла давления?

Как определяется минимальный начальный радиус кулачка из условия ограничения угла давления?

В чем заключается метод обращения движения?

Как осуществляется синтез профиля кулачка?

Как определяют минимальный радиус ролика толкателя в процессе синтеза кулачкового механизма?

11. Динамический анализ машинных агрегатов. Приведение сил и масс в механизмах. Динамическая модель машинного агрегата. Уравнение движения агрегата. Фазы движения машинного агрегата. Основное внимание следует уделить процедурам приведения масс и сил к начальным звеньям механизма (как для случая вращательного движения начального звена, так и в случае поступательного его движения). Следует уяснить энергетический смысл процедуры приведения. Рассмотреть уравнение движения механизма в энергетической (интегральной) и дифференциальной формах и уяснить, что область использования интегральной формы уравнения связана со случаями наличия зависимости параметров уравнения непосредственно от обобщённых координат, тогда как область использования уравнения в дифференциальной форме связана со случаями зависимости параметров уравнения от обобщённых

скоростей. Необходимо уметь составлять и решать дифференциальные уравнения движения механизмов под действием сил, порождаемых двигателями с линейными или линеаризуемыми динамическими характеристиками ([1] стр. 88-102, [2] стр. 124-180, [3] стр. 131-154, [4] стр. 144-179, [5] стр. 14-15)

Контрольные вопросы:

Дайте определение начальному звену механизма.

На чем основано приведение масс в механизмах?

Дайте определение приведенного момента инерции механизма, приведённой массы механизма.

На чем основано приведение сил в механизмах?

Дайте определение приведенного момента сил, приведённой силы.

Запишите уравнение движения механизма в энергетической (интегральной) форме.

Какую зависимость называют диаграммой Виттенбауэра? Как с ее помощью определить угловую скорость начального звена?

Что понимают под силовой (динамической) характеристикой двигателя? Какие силовые характеристики двигателя называют «жёсткими», какие – «мягкими»?

Запишите уравнение движения механизма в дифференциальной форме. Как оно запишется при постоянном приведённом моменте инерции?

Назовите фазы движения машинного агрегата. Чем характеризуется каждая фаза?

По какому закону изменяется частота вращения машинного агрегата на стадии разбега? На стадии выбега?

Что называют постоянной времени машинного агрегата?

Дайте определение коэффициенту неравномерности движения механизма. Какие значения коэффициента неравномерности характерны для машин различного типа?

12. Колебания в механизмах. Вибрация. Методы защиты от вибрации. Виброзащитные устройства. Главное внимание следует уделить прикладным аспектам теории колебаний: резонансу при вынужденных колебаниях, ангармоническому и гармоническому типу свободных колебаний с трением, нелинейным эффектам. Рассмотреть влияние вибрации на машины и человека,

теоретические основы защиты от вибрации. Изучить конструкцию основных типов виброзащитных устройств ([1] стр. 103-111, [3] стр. 248-296, [4] стр. 267-306)

Контрольные вопросы:

Какие колебания называют свободными? Вынужденными? Что такое резонанс?

Как влияет демпфирование на характер механических колебаний? Дайте определение коэффициенту демпфирования.

В чём преимущество закритических (зарезонансных) режимов работы машин?

Дайте определение нелинейным колебаниям. Как изменяется понятие собственной частоты колебаний в нелинейном случае?

Что такое вибрация? Как она влияет на машину и человека?

Назовите источники колебаний и объекты защиты от вибрации. Сформулируйте задачу виброзащиты.

Назовите методы виброзащиты. На чем основан каждый из них?

Какие вам известны виброзащитные устройства? Что такое коэффициент эффективности виброзащиты?

На чем основано динамическое гашение колебаний? Приведите конструкции основных видов динамических виброгасителей и поясните принципы их действия.