

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

О. С. Витренко

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕХАНИКА
Раздел «Теоретическая механика»

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины
для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлениям подготовки
15.03.01 Машиностроение и
15.03.02 Технологические машины и оборудование

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2024

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Калининградский
государственный технический университет» В. Г. Сукиасов
кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Калининградский
государственный технический университет» М. Н. Альшевская

Витренко, О. С.

Теоретическая механика: учеб.-метод. пособие по изучению дисциплины
для студ. бакалавриата по напр. подгот. 15.03.01 Машиностроение и 15.03.02
Технологические машины и оборудование / О. С. Витренко – Калининград: Изд-
во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2024. – 50 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Инженерная
механика» раздела «Теоретическая механика» представлены учебно-
методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие
подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля,
отражены рекомендации и требования для выполнения расчетно-графических
работ и практических занятий для направлений подготовки 15.03.01
Машиностроение и 15.03.02 Технологические машины и оборудование

Рис. – 21, табл. 3, список лит. – 16 наименований

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к
использованию в учебном процессе в качестве локального электронного
методического материала методической комиссией института морских
технологий, энергетики и строительства 29 октября 2024 г., протокол № 9

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к
использованию в учебном процессе в качестве локального электронного
методического материала методической комиссией института агроинженерии и
пищевых систем 30 ноября 2024 г., протокол № 10

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1 Методические рекомендации по изучению дисциплины	9
Тема 1. Введение. Аксиомы статики. Связи	9
Тема 2. Статика плоской системы сил	10
Тема 3. Статика пространственной системы сил	12
Тема 4. Кинематика точки	13
Тема 5. Кинематика поступательного и вращательного движения тела	14
Тема 6. Кинематика плоскопараллельного движения	15
Тема 7. Сложное движение точки	16
Тема 8. Основные теоремы динамики	16
Тема 9. Принцип возможных перемещений и общее уравнение динамики	18
2 Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям	20
Тема 1. Статика твердого тела. Условия равновесия системы сходящихся сил	21
Тема 2. Статика твердого тела. Условие равновесия системы сил, произвольно расположенных в плоскости	23
Тема 3. Статика твердого тела. Условия равновесия составной конструкции. Условия равновесия тела под действием пространственной системы	24
Тема 4. Способы задания движения точки. Скорость точки. Тангенциальное и нормальное ускорение точки	26
Тема 5. Поступательное движение. Кинематика вращательного движения	27
Тема 6. Плоскопараллельное движение. Определение скоростей и ускорений точки тела, совершающего плоскопараллельное движение	28
Тема 7. Скорость и ускорение точки при сложном движении	30
Тема 8. Динамика материальной точки. Основной закон динамики точки	32
Тема 9. Теорема об изменении кинетической энергии механической системы	32
3 Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы	35
Библиографический список	37
Приложения	37
Приложение А. Экзаменационные вопросы по дисциплине	39
Приложение Б. Пример экзаменационного практического задания	41
Приложение В. Тестовые задания открытого типа	42
Приложение Г. Типовой вариант расчетно-графической работы	49

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Инженерная механика» является частью образовательной программы бакалавриата по направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение и 15.03.02 Технологические машины и оборудование, и изучается студентами очной и заочной форм обучения в третьем семестре.

Целью освоения дисциплины «Инженерная механика» (раздел «Теоретическая механика») является формирование у обучающихся знаний, умений и навыков в области механики. Студенты должны иметь представление о механическом движении вещественных форм материальных объектов в пространстве с течением времени, знать и уметь использовать методы и законы теоретической механики для проектирования, создания и эксплуатации разнообразных технологических машин и оборудования.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать:

– основные законы и теоремы теоретической механики;

уметь:

– решать профессиональные задачи с опорой на законы и теоремы теоретической механики;

владеть:

– практическими навыками в области решения задач в области механики.

Дисциплина «Инженерная механика» входит в модуль направления. Модуль направления относится к блоку обязательной части.

Дисциплина «Инженерная механика» (раздел «Теоретическая механика») опирается на компетенции, полученные при изучении дисциплин «Алгебра и геометрия», «Математический анализ», «Физика», «Инженерная и компьютерная графика».

Теоретическая механика является базой для получения знаний, умений и навыков при изучении других разделов дисциплины «Инженерная механика» таких, как «Теория машин и механизмов», «Детали машин и основы конструирования», и других дисциплин: «Сопrotивление материалов», «Технология машиностроения», «Основы проектирования средств технологического оснащения», «Технологическое оборудование и оснастка» и др.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- расчетно-графические работы;
- задания по практическим занятиям.

Расчетно-графическая работа (РГР). Студенты как очной, так и заочной форм обучения при изучении дисциплины должны выполнить комплексную расчетно-графическую работу, содержащую задачи по трем разделам. Соответственно, РГР Ч.1 посвящена решению четырех задач по разделу «Статика», РГР Ч.2 предусматривает решение четырех задач раздела «Кинематика» и РГР Ч.3 состоит из решения 2 задач по разделу «Динамика».

Студенты выполняют расчетно-графическую работу во внеаудиторное время. После окончательного выполнения какой-либо части расчетно-графической работы они представляют ее на контрольную проверку преподавателю. В случае правильного выполнения работы учащиеся допускаются к защите соответствующей части РГР.

Защита работ осуществляется путем собеседования или решения задачи, аналогичной выполненной в РГР, но в сокращенном и облегченном объеме. Задачу на защиту преподаватель в каждом случае составляет и выдает индивидуально. Защита работы осуществляется в часы индивидуальных консультаций. Для окончательной сдачи расчетно-графической работы студентам необходимо представить правильно решенную РГР и выполнить ее защиту.

Оценка РГР осуществляется по следующим основным параметрам:

- полнота и правильность выполнения заданий;
- аккуратность оформления;
- способность квалифицированно отвечать на вопросы;
- своевременность сдачи.

Более подробно требования к выполнению РГР рассмотрены в соответствующих методических пособиях [6–8].

Типовое задание на расчетно-графическую работу приведено в приложении Г.

К оценочным средствам для промежуточной аттестации, проводимой в форме экзамена в третьем семестре, относятся экзаменационные вопросы и тестовые задания (для экзамена), представленные в приложении В.

Условия допуска к экзамену студентов очной и заочной формы обучения: выполненные и защищенные три расчетно-графические работы,

Экзаменационные вопросы и задания. Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса и одно практическое задание. Список экзаменационных вопросов представлен в приложении А. Пример практического задания – в приложении Б.

Экзаменационная оценка («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно») является экспертной, зависит от уровня освоения студентом тем дисциплины (наличия и сущности ошибок, допущенных при

ответе на экзаменационные вопросы и решения экзаменационных заданий) и выставляется в соответствии с критериями, указанными в таблице 1.

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
1	2	3	4	5
1 Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из них может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2 Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно-корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно-корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

В данном учебно-методическом пособии представлены методические материалы по изучению дисциплины, включающие тематический план занятий с перечнем ключевых вопросов для каждой лекции, рекомендуемой литературой, методическими указаниями и вопросами для самоконтроля. Изложены методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям. В Приложениях приведены экзаменационные вопросы и пример практического экзаменационного задания.

1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

«Теоретическая механика» является важным и неотъемлемым разделом дисциплины «Инженерная механика», которая формирует у обучающихся готовность к расчету деталей и узлов общемашиностроительного применения у большинства технических специальностей. Осваивая курс, студент получает тот минимум фундаментальных знаний, на базе которых будущий специалист сумеет самостоятельно овладеть всем новым, с чем ему придется сталкиваться в ходе дальнейшего научно-технического прогресса. Изучение теоретической механики способствует расширению кругозора и повышению общей культуры будущего специалиста, развитию его мышления и становлению его мировоззрения.

Приступая к изучению данного курса, рекомендуется придерживаться последовательности, соответствующей тематическому плану, приведенному ниже.

Приходя на очередную лекцию, необходимо обязательно предварительно просмотреть конспект предыдущей лекции. В случае вынужденного пропуска нужно изучить ее самостоятельно, используя список рекомендованных литературных источников, приведенный в данном учебно-методическом пособии. Ответы на возникшие при этом вопросы можно решить с помощью рекомендованной литературы или на консультации у преподавателя.

Тематический план лекционных занятий

Таблица 2 – План лекционных занятий

Тема 1	Введение. Аксиомы статики. Связи
Тема 2	Статика плоской системы сил
Тема 3	Статика пространственной системы сил
Тема 4	Кинематика точки
Тема 5	Кинематика поступательного и вращательного движения тела
Тема 6	Кинематика плоскопараллельного движения
Тема 7	Сложное движение точки
Тема 8	Основные теоремы динамики
Тема 9	Принцип возможных перемещений и общее уравнение динамики

Тема 1. Введение. Аксиомы статики. Связи

Ключевые вопросы темы

1. Цель и задачи дисциплины.
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.
3. Планируемые результаты освоения дисциплины.

4. Предмет курса теоретической механики.
 5. Основные понятия и определения теоретической механики. Ее разделы.
 6. Аксиомы статики.
 7. Связи и их реакции.
 8. Проекция силы на ось и плоскость.
 9. Условие равновесия системы сходящихся сил.
- Источники:* [1, с. 65–71], [2, с. 7–35].

Методические рекомендации

В начале изучения дисциплины «Теоретическая механика» необходимо понять ее цели и задачи, место в структуре образовательной программы, планируемые результаты освоения дисциплины.

Дисциплина состоит из трех разделов: «Статика», «Кинематика» и «Динамика». Изучение начинается с раздела «Статика», а именно с основных понятий и определений.

Далее следует ознакомиться с аксиомами статики, разобрать основные виды связей и их реакции. После чего следует рассмотреть, как находится проекция силы на ось, затем на плоскость. Рассмотреть несколько примеров нахождения проекции силы на ось и на плоскость, а также аналитическое и геометрическое условия равновесия системы сходящихся сил. Рассмотреть пример нахождения реакции связи для тела, находящегося под действием системы сходящихся сил.

Вопросы для самоконтроля

1. Что изучает дисциплина «Теоретическая механика»?
2. Из каких разделов она состоит?
3. Что изучает раздел «Статика»?
4. Что в теоретической механике принято называть материальной точкой?
5. Какую величину называют силой? Чем она характеризуется?
6. Что в теоретической механике называют связью? Как определяется направление реакции связи?
7. Какую систему называют сходящейся системой сил?
8. Условие равновесия плоской системы сходящихся сил.
9. Сформулируйте основные аксиомы статики.

Тема 2. Статика плоской системы сил

Ключевые вопросы темы

1. Момент силы относительно точки.
2. Сложение параллельных сил.

3. Пара сил. Условие равновесия пар сил.
 4. Система сил, произвольно расположенных на плоскости. Геометрическая и аналитическая формы условий равновесия сил.
 5. Система параллельных сил. Условие равновесия.
 6. Приведение плоской системы сил к заданному центру. Теорема Пуансо.
 7. Статически определенные и неопределенные задачи.
- Источники:* [1, с. 71–91], [2, с. 46–64], [3, с. 8, 13, 28, 32–34].

Методические рекомендации

В рамках данной темы студентам необходимо изучить, что такое момент силы относительно точки, чем он характеризуется, как определяются его направление и величина.

Следует разобраться, как следует складывать параллельные силы, если они направлены в одну сторону и в разные.

Далее следует ознакомиться с понятием «пара сил» и условием равновесия пар сил.

Особое внимание при изучении темы обратить на геометрическую и аналитическую форму условий равновесия сил, произвольно расположенных на плоскости. Необходимо разобраться, как составляются уравнения равновесия для плоской системы произвольно расположенных сил.

Затем перейти к ознакомлению с условием равновесия системы параллельных сил, рассмотреть теорему Пуансо. Завершить изучение данной темы рекомендуется рассмотрением примера задачи по определению неизвестных реакций опор балки, находящейся под действие системы сил, произвольно расположенных в плоскости.

Вопросы для самоконтроля

1. Чем характеризует момент силы относительно точки? В чем измеряется?
2. По какой формуле определяется величина момента силы относительно точки?
3. Свойства момента силы относительно оси.
4. Что называется парой сил?
5. Как формулируется теорема Пуансо?
6. В чем заключается аналитическая форма условия равновесия сил, произвольно расположенных на плоскости?
7. В чем заключается геометрическая форма условия равновесия сил, произвольно расположенных в плоскости?
8. Условия равновесия произвольной плоской системы сил.

Тема 3. Статика пространственной системы сил

Ключевые вопросы темы

1. Теорема Вариньона. Главный вектор. Главный момент.
2. Условие равновесия пространственной системы сходящихся сил.
3. Условие равновесия пространственной системы произвольно расположенных сил.
4. Условие равновесия пространственной системы параллельных сил.
5. Условие равновесия тела, имеющего неподвижную ось.

Источники: [3, с. 94], [2, с. 91–115], [3, с. 45, 49].

Методические рекомендации

Перед началом изучения статики пространственной системы сил необходимо ознакомиться с теоремой Вариньона. Затем можно рассмотреть, как составляются уравнения равновесия для пространственной системы сходящихся сил. И после этого можно переходить к рассмотрению условий равновесия системы произвольно расположенных сил в пространстве.

Далее нужно перейти к рассмотрению пространственной системы параллельных сил. Понять, какие уравнения будут входить в условие равновесия, а какие необходимы для определения неизвестных реакций, затем рассмотреть равновесие тела, имеющего неподвижную ось.

Завершить изучение данной темы рекомендуется рассмотрением примера решения задачи по определению неизвестных реакций под воздействием пространственной системы произвольно расположенных сил.

Вопросы для самоконтроля

1. Как изображается по модулю и направлению равнодействующая пространственной системы трех сходящихся сил?
2. Сформулируйте теорему Вариньона.
3. Что является условием равновесия пространственной системы сходящихся сил?
4. Какие уравнения являются условием равновесия пространственной системы произвольно расположенных сил.
5. Какие уравнения являются условием равновесия пространственной системы параллельно расположенных сил.
6. Какие уравнения являются условием равновесия тела, имеющего неподвижную ось, под действием пространственной системы произвольно расположенных сил.
7. Что понимается под главным вектором и главным моментом системы сил?

Тема 4. Кинематика точки

Ключевые вопросы темы

1. Способы задания движения точки.
2. Определение скорости точки при различных способах задания движения.
3. Определение ускорения точки при различных способах задания движения.

Источники: [1, с. 5–21], [2, с. 142–183], [3, с. 64–67].

Методические рекомендации

Начинать изучение данной темы следует с рассмотрения трех способов задания движения точки – естественного, координатного и векторного. Разобраться, как будет записываться закон движения точки при каждом способе.

Затем рассмотреть методику определения скорости движения точки при естественном, координатном и векторном способе.

Далее изучение продолжить нахождением ускорения при трех способах задания движения (векторном, координатном и естественном). Разобрать, какое ускорение называется касательным, а какое нормальным. Как они определяются, куда направлены их векторы.

Завершить изучение данной темы нужно рассмотрением примера нахождения скорости и ускорения точки каждым из способов.

Вопросы для самоконтроля

1. Какой раздел теоретической механики называется кинематикой?
2. Какие способы задания движения точки вы знаете?
3. Как определяется скорость точки при естественном способе задания движения?
4. Как определяется скорость точки при координатном способе задания движения?
5. Как определяется скорость точки при векторном способе задания движения?
6. Как определяется ускорение точки при естественном способе задания движения?
7. Как определяется ускорение точки при координатном способе задания движения?
8. Как определяется ускорение точки при векторном способе задания движения?
9. Формула для определения нормального ускорения точки.
10. Формула для определения тангенциального ускорения точки.

Тема 5. Кинематика поступательного и вращательного движения тела

Ключевые вопросы темы

1. Поступательное движение. Закон поступательного движения.
2. Скорость и ускорение при поступательном движении твердого тела.
3. Вращение тела вокруг неподвижной оси. Закон вращательного движения.
4. Линейная скорость и линейное ускорение при вращательном движении твердого тела.
5. Угловая скорость и угловое ускорение при вращательном движении твердого тела.

Источники: [1, с. 21–26], [2, с. 184–203], [3, с. 67, 68, 72].

Методические рекомендации

В рамках данной темы необходимо ознакомиться с поступательным и вращательным движением твердого тела. Начать рекомендуется с изучения поступательного движения.

Рассмотреть, какое движение называется поступательным. Его свойства. Рассмотреть примеры данного вида движения. Узнать, как записывается закон поступательного движения. Как находится скорость и ускорение тела.

Затем перейти к рассмотрению вращательного движения, т. е. вращения тела вокруг неподвижной оси. Рассмотреть примеры данного вида движения. Ознакомиться с законом вращательного движения. При этом рекомендуется уделить внимание вопросу угловой скорости и углового ускорения. Рассмотреть связь скорости и ускорения точки вращающегося тела с характеристиками вращательного движения – угловой скоростью и угловым ускорением. Также необходимо рассмотреть закон равномерного и равнопеременного движения.

Завершить изучение данной темы следует рассмотрением примера решения задачи по определению ускорения точки вращающегося тела.

Вопросы для самоконтроля

1. Какое движение называется поступательным?
2. Как записывается закон поступательного движения?
3. Приведите пример поступательного движения.
4. Какое движение называется вращательным?
5. Как записывается закон вращательного движения?
6. Как вычисляется угловая скорость?
7. Куда направлен вектор угловой скорости?

8. Как определяется угловое ускорение?
9. Куда направлен вектор углового ускорения?
10. Как определяется линейная скорость точки вращающегося тела?
11. Куда направлено нормальное ускорение точки тела, вращающегося вокруг неподвижной оси?
12. Куда направлено тангенциальное ускорение точки тела, вращающегося вокруг неподвижной оси?

Тема 6. Кинематика плоскопараллельного движения

Ключевые вопросы темы

1. Определение и закон плоскопараллельного движения.
2. Нахождение скоростей точек при плоскопараллельном движении.
3. Теорема о проекциях скоростей двух точек тела.
4. Мгновенный центр скоростей.
5. Частные случаи определения мгновенного центра скоростей.
6. Нахождение ускорений точек при плоскопараллельном движении.
7. Мгновенный центр ускорений.
8. Частные случаи определения мгновенного центра ускорений.

Источники: [1, с. 26–37], [2, с. 204–119, 234–256], [3, с. 72, 73, 79, 80].

Методические рекомендации

Рассмотрение данной темы необходимо начинать с рассмотрения определения и закона плоскопараллельного движения.

Следует разобраться, как определяются величина и направление скоростей точек при плоскопараллельном движении. Важно научиться находить положение мгновенного центра скоростей (МЦС) в любой момент времени движения тела.

Рекомендуется рассмотреть частные случаи нахождения мгновенного центра скоростей, несколько примеров нахождения МЦС.

Необходимо также ознакомиться с теоремой о проекциях скоростей двух точек тела, затем рассмотреть, что называется мгновенным центром ускорений. Далее можно переходить к определению ускорений и завершить изучение темы рассмотрением примера решения задачи по определению ускорения точки тела, совершающего плоскопараллельное движение.

Вопросы для самоконтроля

1. Какое движение называется плоскопараллельным?
2. Закон плоскопараллельного движения.
3. Что называют мгновенным центром скоростей?
4. Как определить, где находится МЦС?

5. Как определить скорость точки при плоскопараллельном движении?
6. Что называют мгновенным центром ускорений?
7. Как определить ускорение точки при плоскопараллельном движении?
8. Как определить, где находится МЦУ?

Тема 7. Сложное движение точки

Ключевые вопросы темы

1. Относительное, переносное и абсолютное движение точки.
2. Теорема о сложении скоростей.
3. Теорема о сложении ускорений.
4. Теорема Кориолиса.
5. Правило Жуковского.
6. Частные случаи нахождения ускорения Кориолиса.

Источники: [1, с. 52–57], [2, с. 275–303], [3, с. 104,109–111].

Методические рекомендации

Изучение данной темы необходимо начинать с изучения понятий относительного, переносного и абсолютного движения. Затем рассмотреть сложное движение точки на примере вращающегося конуса и точки, движущейся по его образующей.

Важно ознакомиться с теоремами о сложении скоростей и ускорений. Понять суть правила Жуковского и научиться применять его при нахождении ускорения Кориолиса.

Необходимо понять физический смысл ускорения Кориолиса и рассмотреть частные случаи его нахождения.

Вопросы для самоконтроля

1. Какое движение называется относительным?
2. Какое движение называется переносным?
3. Какое движение называется абсолютным?
4. Сформулируйте правило Жуковского.
5. Запишите теорему о сложении скоростей при сложном движении точки.
6. Запишите теорему о сложении ускорений при сложном движении точки.
7. В чем заключается физический смысл ускорения Кориолиса?

Тема 8. Основные теоремы динамики

Ключевые вопросы темы

1. Законы динамики (Ньютона).

2. Динамика материальной точки.
 3. Моменты инерции тела.
 4. Работа силы.
 5. Теорема об изменении кинетической энергии точки.
 6. Кинетическая энергия системы.
 7. Теорема об изменении кинетической энергии системы.
 8. Количество движения точки и системы.
 9. Импульс силы.
 10. Теорема об изменении количества движения
 11. Момент количества движения материальной точки и системы (кинетический момент).
 12. Теорема об изменении кинетического момента для точки и системы.
 13. Принцип Даламбера для механической системы.
- Источники:* [1, с. 101–132], [2, с. 334–344, 454–460, 473–484, 486–515, 603–620], [3, с. 133–136, 205, 208, 209–213, 266, 270, 271].

Методические рекомендации

Начать погружение в данную тему необходимо с изучения законов динамики (Ньютона).

Далее следует разобрать динамику материальной точки. Особое внимание обратить на две основные задачи точки, а также на дифференциальные уравнения движения свободной и несвободной материальной точки.

Затем можно рассмотреть моменты инерции механической системы относительно точки и оси, а также примеры нахождения моментов инерций некоторых однородных тел (стержня, кольца, диска). Ознакомиться с теоремой Гюйгенса–Штейнера.

После этого можно переходить к изучению работы силы. Необходимо рассмотреть примеры вычисления работы силы тяжести, упругости, трения.

Затем перейти к понятию кинетической энергии. Рассмотреть теорему об изменении кинетической энергии точки и системы. Особое внимание обратить на то, как определяется кинетическая энергия тела, движущегося поступательно, вращающегося вокруг неподвижной оси и совершающего плоскопараллельное движение.

Далее следует ознакомиться с понятием количества движения точки и системы, импульса силы. Рассмотреть теоремы об изменении количества движения, соответственно, точки и системы. Также ознакомиться с теоремой об изменении кинетического момента для точки и системы и завершить изучение темы рассмотрением принципа Даламбера.

Вопросы для самоконтроля

1. Сформулируйте законы динамики.

2. В чем заключается первая задача динамики точки?
3. В чем заключается вторая задача динамики точки?
4. Как определяется момент инерции однородного кольца?
5. Как определяется кинетическая энергия тела при поступательном движении?
6. Как определяется кинетическая энергия тела при вращательном движении?
7. Как определяется кинетическая энергия тела при плоскопараллельном движении?
8. Запишите в аналитическом виде теорему об изменении кинетической энергии системы.
9. Как определяется работа силы?
10. Что называют импульсом силы?
11. В чем заключается принцип Даламбера?
12. Сформулируйте теорему Гюйгенса–Штейнера.

Тема 9. Принцип возможных перемещений и общее уравнение динамики

Ключевые вопросы темы

1. Обобщенные координаты и число степеней свободы.
2. Возможные перемещения механической системы. Идеальные связи.
3. Принцип возможных перемещений.
4. Общее уравнение динамики механической системы.
5. Частные случаи применения общего уравнения динамики.
6. Последовательность решения задач с помощью общего уравнения динамики.
7. Уравнения Лагранжа.

Источники: [1, с. 132–138], [2, с. 621–666], [3, с. 290, 295–297, 312–316].

Методические рекомендации

Начать изучение темы рекомендуется с понятия обобщенных координат. При этом необходимо вспомнить, что такое число степеней свободы. Далее нужно изучить, что такое возможные перемещения механической системы и в чем заключается принцип возможных перемещений.

Затем важно разобраться, как составляется общее уравнение динамики в обобщенных координатах. Ознакомиться с понятием обобщенной силы и уравнения Лагранжа.

И завершить изучение данной темы следует рассмотрением примера решения задачи с помощью дифференциального уравнения движения в обобщенных координатах, или уравнения Лагранжа.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называют обобщенными координатами?
2. Что такое число степеней свободы?
3. Что называется возможными перемещениями механической системы?
4. Сформулируйте принцип возможных перемещений.
5. Какому числу равно количество дифференциальных уравнений движений системы в обобщенных координатах (уравнений Лагранжа)?

Для студентов очной формы обучения темы лекционных занятий 2, 6, 7 и 9 рассчитаны на два занятия (каждая тема). Тема 3 рассматривается на трех лекционных занятиях.

Для студентов заочной формы обучения подробно на лекции рассматриваются темы 1, 2, остальные изучаются самостоятельно.

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практические занятия проводятся с целью формирования у студентов знаний, умений и навыков, а также компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО. На занятиях они должны приобрести опыт решения типовых задач статики, кинематики и динамики; получить знания о внешних нагрузках и об отклике механической системы на их воздействие.

Еще одной важной задачей практических занятий является подготовка к выполнению требуемой расчетно-графической работы. В ходе практических занятий студент поэтапно решает задачи, похожие на предлагаемые в расчетно-графической работе.

Ниже представлен краткий план практических занятий с основными вопросами. Подготовка к практическим занятиям можно осуществлять с помощью рекомендованных литературных источников. Более подробно практические занятия рассмотрены в учебно-методическом пособии по практическим занятиям [9].

Тематический план практических занятий

Таблица 3 – План практических занятий

Тема 1	Статика твердого тела. Условия равновесия системы сходящихся сил
Тема 2	Статика твердого тела. Условие равновесия системы сил произвольно расположенных в плоскости
Тема 3	Статика твердого тела. Условия равновесия составной конструкции. Условия равновесия тела под действием пространственной системы сил
Тема 4	Способы задания движения точки. Скорость точки. Тангенциальное и нормальное ускорение точки
Тема 5	Поступательное движение. Кинематика вращательного движения
Тема 6	Плоскопараллельное движение. Определение скоростей и ускорений точки тела, совершающего плоскопараллельное движение
Тема 7	Скорость и ускорение точки при сложном движении
Тема 8	Динамика материальной точки. Основной закон динамики точки
Тема 9	Теорема об изменении кинетической энергии механической системы

Для студентов очной формы обучения темы практических занятий 2, 3, 5–9 рассчитаны на два занятия (каждая тема), а темы 1, 4 на одно занятие.

Для студентов заочной формы обучения подробно на практических занятиях рассматриваются темы 1, 2, 5, 9, остальные изучаются самостоятельно.

Общие методические рекомендации по решению задач статики.

При решении задач статики рекомендуется выдерживать такую последовательность:

1. Изобразить расчетную схему и воспроизвести исходные данные. На схеме следует указать все внешние силы, включая реакции связей, а также направления координатных осей.
2. Записать уравнения, описывающие равновесие выбранного объекта.
3. Получить выражение для искомых величин в общем виде, максимально упростить их.
4. Подставить числовые выражения и выполнить подсчеты.
5. Записать ответ, с обязательным указанием единиц измерения всех найденных величин.

Тема 1. Статика твердого тела. Условия равновесия системы сходящихся сил

Ключевые вопросы

1. Определение проекции силы на ось и плоскость.
2. Составление уравнений равновесия тела под действием плоской системы сходящихся сил.
3. Нахождение неизвестных реакций в опорных стержнях (система сходящихся сил, расположенных в одной плоскости) аналитическим и геометрическим способом.

Источники: [6, с. 27, 28].

Общие методические рекомендации по решению задач статики

При решении задач статики рекомендуется выдерживать такую последовательность:

1. Изобразить расчетную схему и воспроизвести исходные данные. На схеме следует указать все внешние силы, включая реакции связей, а также направления координатных осей.
2. Записать уравнения, описывающие равновесие выбранного объекта.
3. Получить выражение для искомых величин в общем виде, максимально упростить их.
4. Подставить числовые выражения и выполнить подсчеты.
5. Записать ответ, с обязательным указанием единиц измерения всех найденных величин.

Примеры задач, рассматриваемых на практическом занятии

Задача 1. Однородный шар (рисунок 1) весом 40Н опирается на две плоскости – наклонную и вертикальную, пересекающиеся под углом $\alpha = 60^\circ$. Определить силу давления шара на наклонную плоскость.

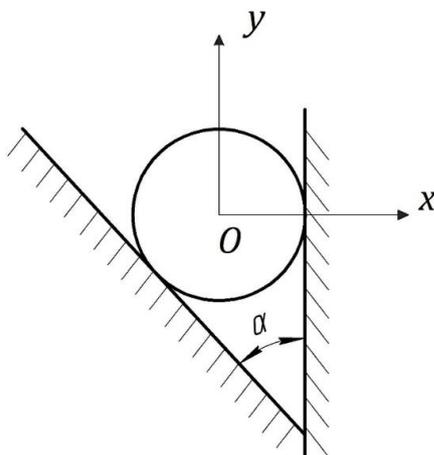


Рисунок 1 – Схема к задаче 1

Задача 2. Найти усилия в опорных стержнях АВ и ВС (рисунок 2) под действием груза весом $G = 16\text{ кН}$. Углы: $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 45^\circ$. Стержни, блок и трос невесомы.

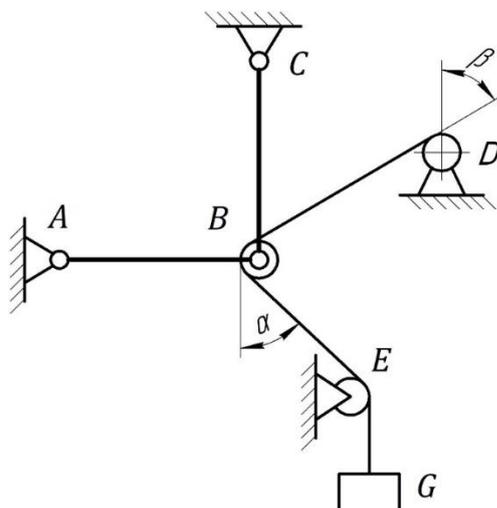


Рисунок 2 – Схема к задаче 2

Задача 3. На шарнирный болт В конструкции, изображенной на рисунке 3 и состоящей из трех невесомых стержней, прикрепленных к вертикальной стенке посредством шарниров, действует сила $F = 8\text{ кН}$, которая составляет с координатными осями Ox , Oy , Oz соответственно углы $90^\circ, 30^\circ, 60^\circ$. Найти усилия в стержнях при $\alpha = 30^\circ, \beta = 30^\circ, \gamma = 60^\circ$.

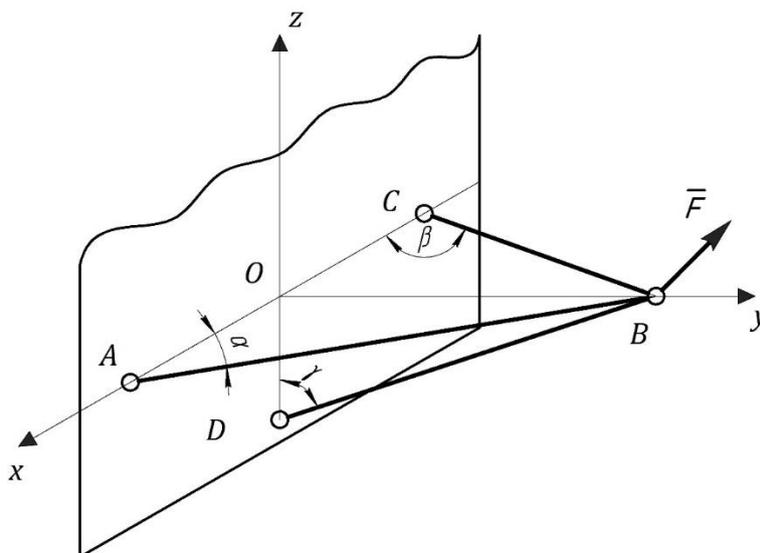


Рисунок 3 – Схема к задаче 3

Тема 2. Статика твердого тела. Условие равновесия системы сил, произвольно расположенных в плоскости

Ключевые вопросы

1. Составление уравнений равновесия конструкции под действием плоской системы произвольно расположенных сил.
2. Нахождение реакций опор.

Источники: [3, с. 8, 13], [6, с. 28–30].

Примеры задач, рассматриваемых на практическом занятии

Задача 1. Найти реакции опоры для жесткой невесомой конструкции под действием заданных внешних нагрузок (рисунок 4) при $G = 16 \text{ кН}$, $M = 5 \text{ кН} \cdot \text{м}$, $q = 2 \text{ кН/м}$, $a = 3,0 \text{ м}$, $b = 1,0 \text{ м}$, $\alpha = 60^\circ$.

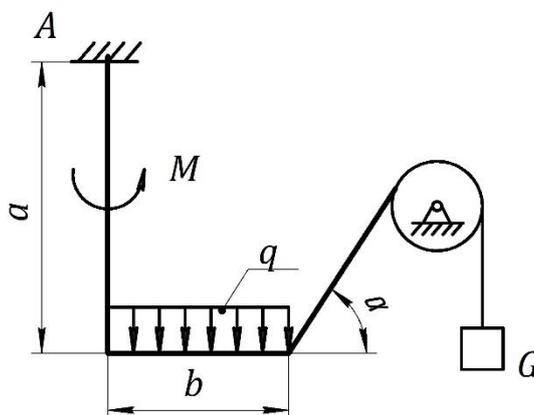


Рисунок 4 – Схема к задаче 1

Задача 2. Найти реакции опор для жесткой невесомой конструкции под действием заданных внешних нагрузок (рисунок 5) при $F = 10 \text{ кН}$, $M = 4 \text{ кН} \cdot \text{м}$, $q_{\max} = 3 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$, $a = 2,0 \text{ м}$, $b = 3,0 \text{ м}$, $c = 1,0 \text{ м}$, $\alpha = 30^\circ$.

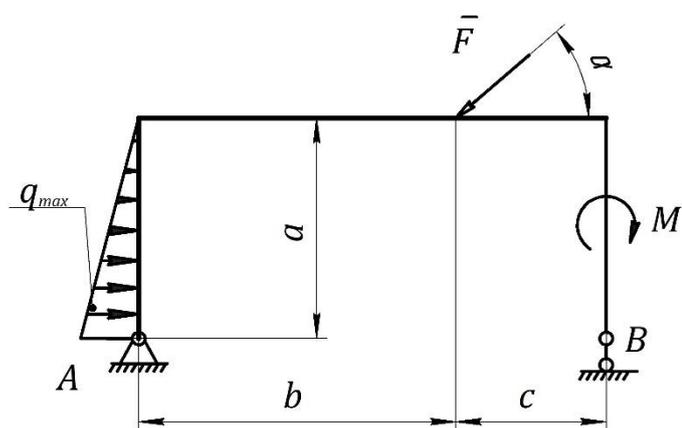


Рисунок 5 – Схема к задаче 2

Задача 3. Найти реакции опор для жесткой невесомой конструкции под действием заданных внешних нагрузок (рисунок 6) при $F = 10 \text{ кН}$, $M = 4 \text{ кН} \cdot \text{м}$, $q = 5 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$, $a = 1,0 \text{ м}$, $b = c = 2,0 \text{ м}$, $d = 0,5 \text{ м}$, $\alpha = 30^\circ$.

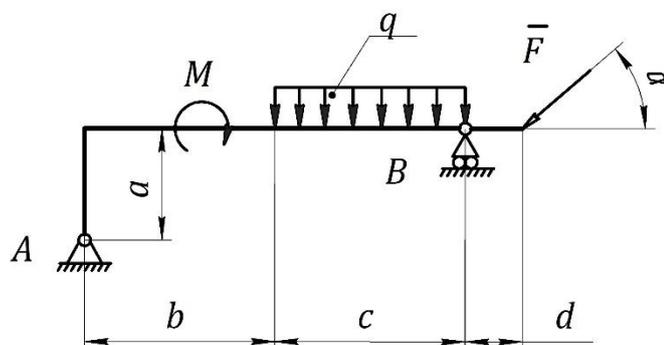


Рисунок 6 – Схема к задаче 3

Тема 3. Статика твердого тела. Условия равновесия составной конструкции. Условия равновесия тела под действием пространственной системы

Ключевые вопросы

1. Составление уравнений равновесия для составной конструкции под действием плоской системы произвольно расположенных сил.
2. Нахождение реакций связей составной конструкции.
3. Составление уравнений равновесия тела под действием пространственной системы сил.
4. Нахождение реакций связей тела под действием пространственной системы сил.

Источники: [3, с. 28, 32–34, 41–49], [6, с. 30–36].

Примеры задач, рассматриваемых на практическом занятии

Задача 1. На сплошной прямоугольный параллелепипед (рисунок 7) наложены связи: в точке А сферический шарнир, в точке В цилиндрический

шарнир, в точке С прямолинейный невесомый стержень с шарнирами на концах. На параллелепипед действуют силы $F_1 = 10$ кН, $F_2 = 20$ кН, $F_3 = 16$ кН, $F_4 = 6$ кН. Размеры параллелепипеда: $OB = BC = 2,0$ м, $AB = 1$ м. Удельный вес материала, из которого изготовлен параллелепипед: 8 кН/м³. Определить реакции связей.

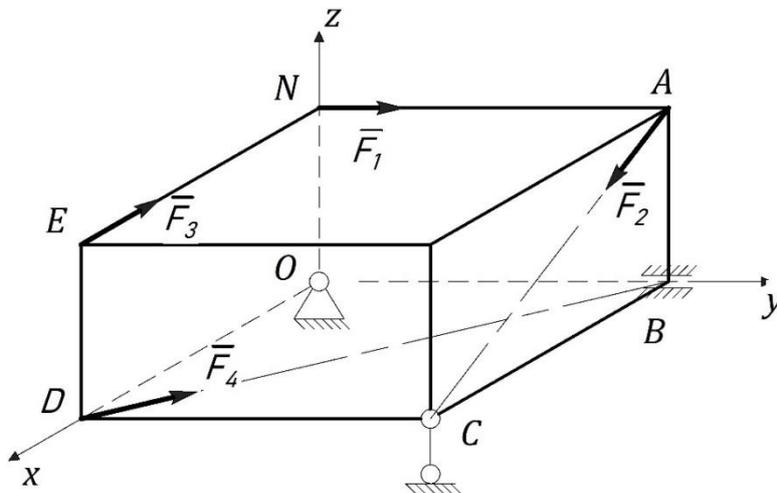


Рисунок 7 – Схема к задаче 1

Задача 2. Найти реакции жесткой заделки невесомой конструкции (рисунок 8). $F_1 = F_2 = 10$ кН, $OA = AB = BC = 1,0$ м, $AB \parallel x$.

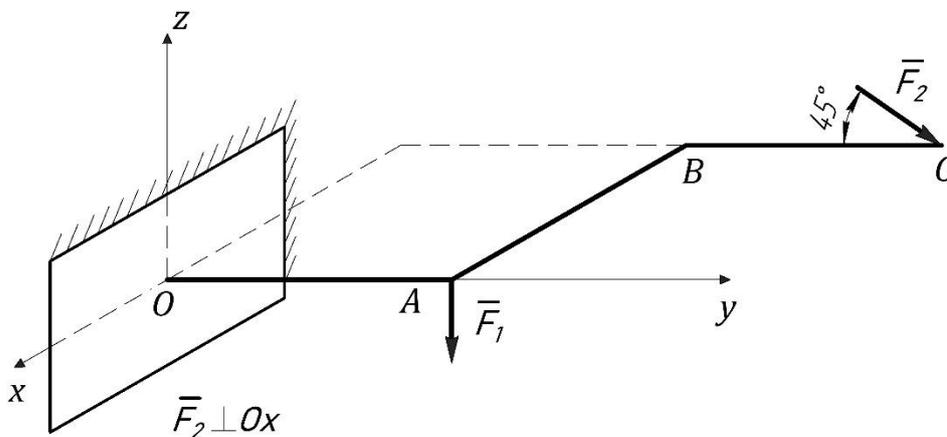


Рисунок 8 – Схема к задаче 2

Задача 3. На вал жестко насажены шкив 1 и колесо 2 (рисунок 9). Определить силы F_3 и $F_4 = 0,4 F_3$, а также реакции опор А и В, если $F_2 = 2F_1$, $F_1 = 100$ Н, $d_1 = 300$ мм, $d_2 = 100$ мм, $AO_1 = 100$ мм, $O_1O_2 = 300$ мм, $O_1B = 100$ мм.

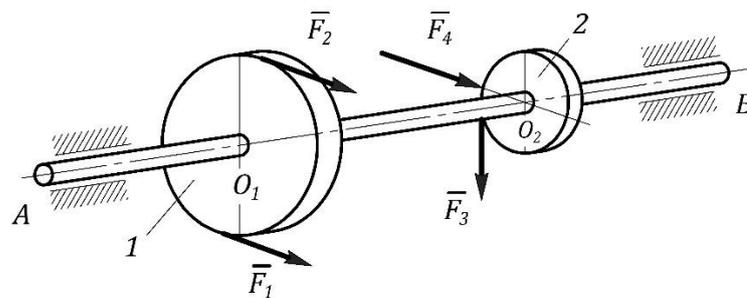


Рисунок 9 – Схема к задаче 3

Общие методические рекомендации по решению задач кинематики и динамики

При решении задач кинематики и динамики рекомендуется выдержать такую последовательность:

1. Изобразить расчетную схему и воспроизвести исходные данные.
2. Записать соотношения, описывающие движения изучаемого объекта.

Нанести на схему заданные и искомые величины в виде символов.

3. Получить выражение для искомых величин в общем виде, максимально упростить их.

4. Подставить числовые выражения и выполнить подсчеты.

5. Записать ответ с обязательным указанием единиц измерения всех найденных величин.

Тема 4. Способы задания движения точки. Скорость точки. Тангенциальное и нормальное ускорение точки

Ключевые вопросы

1. Определение траектории движения точки.
2. Определение скорости точки.
3. Определение ускорения точки.

Источники: [3, с. 65–66], [7, с. 24–26].

Примеры задач, рассматриваемых на практическом занятии

Задача 1. Уравнения движения точки имеют вид

$$\left. \begin{aligned} x &= 4 + 2\sin\left(\frac{\pi}{3}\right)t \\ y &= 3\cos\left(\frac{\pi}{3}\right)t \end{aligned} \right\},$$

где координаты x, y измеряются в метрах, а время t в секундах.

Найти уравнение траектории точки в координатной форме. Построить траекторию и найти на ней положение точки в момент времени $t_1 = 1$ с. Для

указанного момента времени определить скорость и ускорение точки, ее тангенциальное и нормальное ускорение, значение радиуса кривизны траектории. Векторы скорости и ускорения точки показать на рисунке.

Задача 2. Даны уравнения движения точки $x = 3 \sin t^2$, $y = t^2 - 1$. Координаты x, y измеряются в метрах, а время t в секундах. Найти уравнение траектории точки; для момента времени $t_1 = 2$ с найти положение точки на траектории, ее скорость, полное, касательное ускорения, а также радиус кривизны траектории.

Задача 3. Заданы уравнения движения точки $x = 3t^2 + 6t + 12$, $y = t^2 + 2t + 6$. Для момента времени $t_1 = 2$ с найти положение точки на траектории, ее скорость и ускорение (показать их на рисунке), а также радиус кривизны траектории в соответствующей точке. Координаты x, y измеряются в метрах, а время t в секундах

Тема 5. Поступательное движение. Кинематика вращательного движения

Ключевые вопросы

1. Связь скорости и ускорения точки вращающегося тела с характеристиками вращательного движения – угловой скоростью и угловым ускорением.

2. Определение кинематических характеристик заданного механизма последовательно для всех звеньев, по ходу передачи движения.

Источники: [3, с. 67, 68, 72], [7, с. 26–28].

Примеры задач, рассматриваемых на практическом занятии

Задача 1. Тело 1 совершает движение по закону $S = 5t^2 - 10$, м (рисунок 10). Найти скорость и ускорение точки М, в момент времени $t_1 = 1$ с, если

$R_2 = 40$ см, $r_2 = 20$ см, $R_3 = 50$ см, $r_3 = 20$ см. Векторы скорости и ускорения точки показать на рисунке.

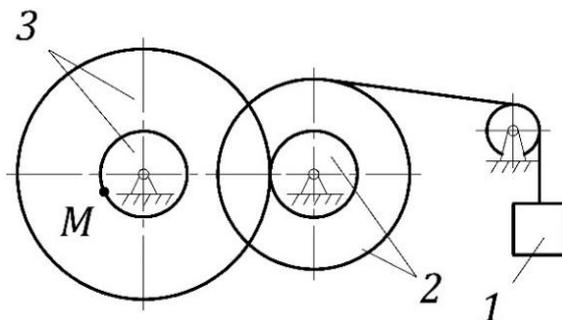


Рисунок 10 – Схема к задаче 1

Задача 2. По заданному уравнению вращения тела 1 $\varphi_1 = 2t^2 - t$, рад механизма, изображенного на рисунке 11, в момент времени $t_1 = 1$ с, найти скорость и ускорение точки М, если $R_1 = 0,3$ м, $R_2 = 0,5$ м, $r_2 = 0,2$ м.

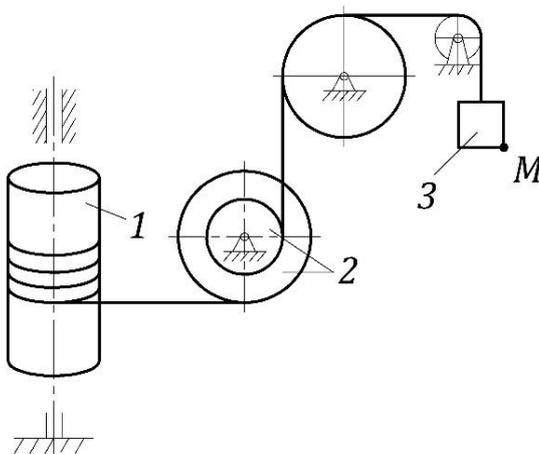


Рисунок 11 – Схема к задаче 2

Задача 3. Задано уравнение движения тела 1 $S = 5t - 10t^2$, м (рисунок 12). Найти в момент времени $t_1 = 2$ с скорость и ускорение точки М, если $R_3 = 0,1$ м, $R_2 = 0,6$ м, $r_2 = 0,2$ м. Векторы скорости и ускорения точки показать на рисунке

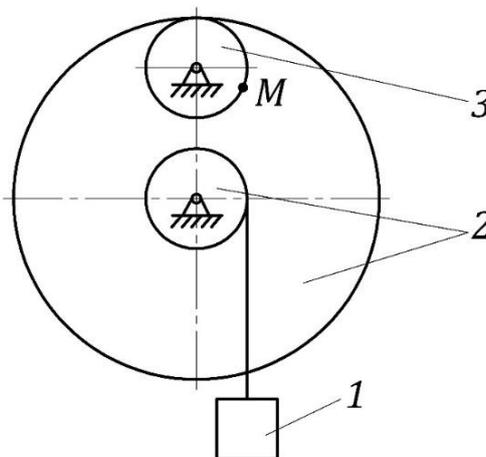


Рисунок 12 – Схема к задаче 3

Тема 6. Плоскопараллельное движение. Определение скоростей и ускорений точки тела, совершающего плоскопараллельное движение

Ключевые вопросы

1. Мгновенный центр скоростей (МЦС).
2. Теорема о проекциях скоростей.
3. Определение скоростей при плоскопараллельном движении.
4. Мгновенный центр ускорений (МЦУ).
5. Ускорение точки при плоскопараллельном движении.

Источники: [3, с. 72–73, 79, 80, 85–91], [7, с. 28–31].

Примеры задач, рассматриваемых на практическом занятии

Задача 1. Колесо радиусом $R = 40$ см катится со скольжением по неподвижной прямой (рисунок 13). Скорость и ускорение центра колеса в рассматриваемый момент времени $v_0 = 1,5 \frac{м}{с}$, $a_0 = 1 \frac{м}{с^2}$. Определить в данный момент времени скорости и ускорения А, В, С, D.

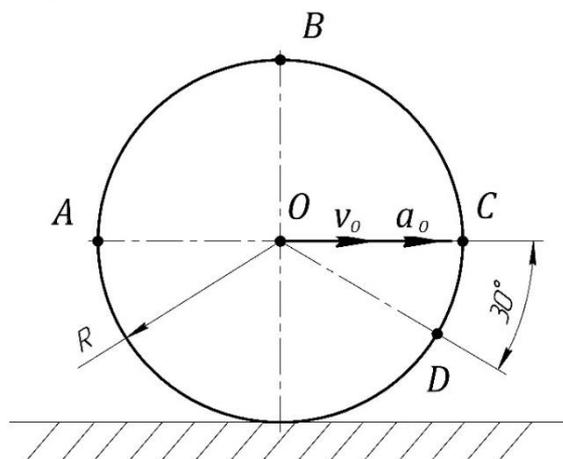


Рисунок 13 – Схема к задаче 1

Задача 2. Для показанного на рисунке 14 механизма, состоящего из шатуна АВ длиной 2 м и двух ползунов, по заданным величинам скорости и ускорения ползуна А $v_A = 1,2 \frac{м}{с}$, $a_A = 2 \frac{м}{с^2}$, определить скорость и ускорение ползуна В и средней точки С шатуна, а также угловую скорость и ускорение шатуна, при $\alpha = 30^\circ$.

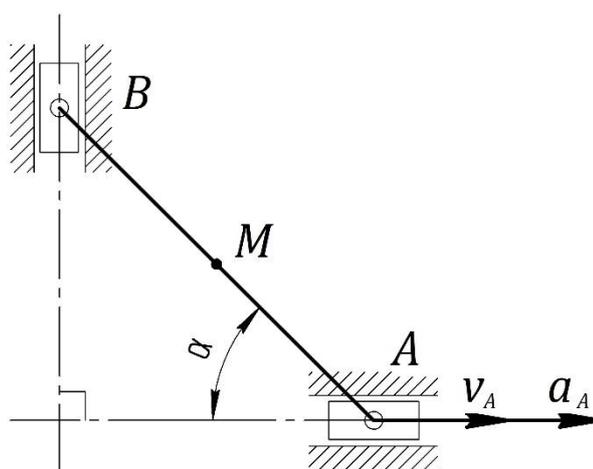


Рисунок 14 – Схема к задаче 2

Задача 3. По заданному уравнению движения ползуна В $S = 2t^2 - 1$, м найти в момент времени $t_1 = 1$ с угловые скорости всех звеньев механизма и

линейные скорости обозначенных точек, если в данный момент времени углы $\alpha = 30^\circ, \beta = 90^\circ, \gamma = 90^\circ, \delta = 45^\circ$ (рисунок 15). Углы откладываются в соответствии с обозначениями на рис. 29 в следующей последовательности: $\alpha, \beta, \gamma, \delta$. Длины стержней $l_1 = 0,5 \text{ м}, l_2 = 1,6 \text{ м}, l_3 = 0,8 \text{ м}, AC = BC, R = 0,2 \text{ м}$.

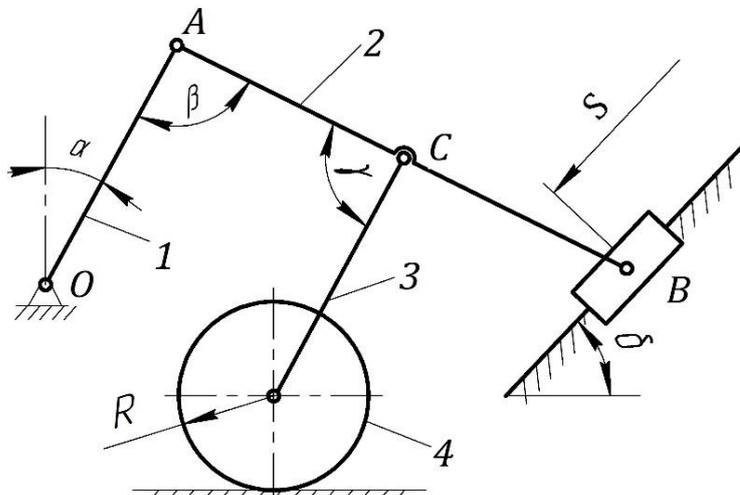


Рисунок 15 – Схема к задаче 3

Тема 7. Скорость и ускорение точки при сложном движении

Ключевые вопросы

1. Теорема о сложении скоростей.
2. Определение относительной, переносной и абсолютной скорости точки.
3. Теорема о сложении ускорений.
4. Определение относительного и переносного ускорения точки.
5. Определение ускорения Кориолиса, правило Жуковского.
6. Определение абсолютного ускорения точки.

Источники: [3, с. 104, 109–111], [7, с. 31–34].

Примеры задач, рассматриваемых на практическом занятии

Задача 1. Материальная точка М движется в желобе вращающегося тела (рисунок 16). По заданным уравнениям относительного движения $OM(t) = \pi(t^2 + 3t)/16$, м и переносного движения $\varphi(t) = 5t^3 - 18t$, рад с учетом геометрических размеров, определить абсолютную скорость и абсолютное ускорение точки в указанный момент времени $t = 1$ с. $R = 1$ м.

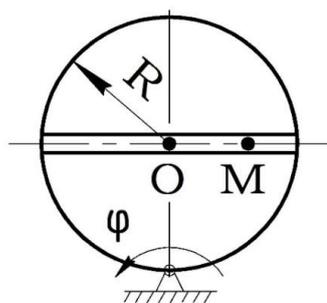


Рисунок 16 – Схема к задаче 1

Задача 2. Материальная точка М движется в желобе вращающегося тела (рисунок 17). По заданным уравнениям относительного движения $OM(t) = \pi(5t - t^2)/12$, м и переносного движения $\varphi(t) = 3t^2 - t^3 + 4$, рад с учетом геометрических размеров, определить абсолютную скорость и абсолютное ускорение точки в указанный момент времени $t=1$ с. $l = 1$ м.

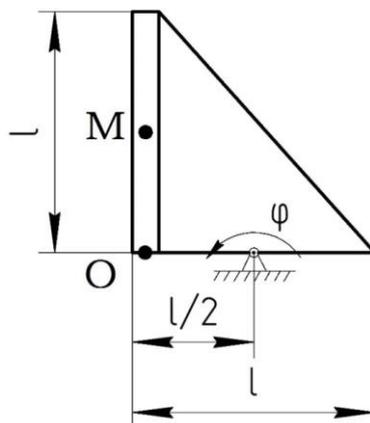


Рисунок 17 – Схема к задаче 2

Задача 3. Материальная точка М движется в желобе вращающегося тела (рисунок 18). По заданным уравнениям относительного движения $OM(t) = \pi(4t^2 - 5t)/18$, м и переносного движения $\varphi(t) = 2t^2 - 10t$, рад с учетом геометрических размеров, определить абсолютную скорость и абсолютное ускорение точки в указанный момент времени $t=2$ с. $R = 1$ м.

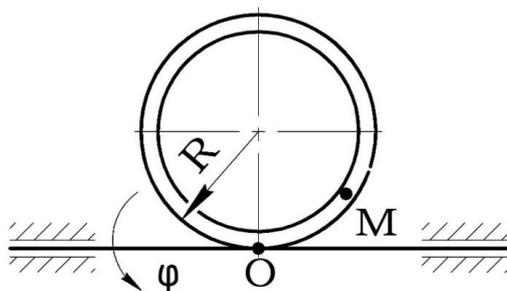


Рисунок 18 – Схема к задаче 3

Тема 8. Динамика материальной точки. Основной закон динамики точки

Ключевые вопросы

1. Первая и вторая задачи динамики точки.
2. Составление дифференциального уравнения движения материальной точки с последующим интегрированием и нахождением искомых величин.

Источники: [3, с. 133–136], [8, с. 19–24].

Примеры задач, рассматриваемых на практическом занятии

Задача 1. Движение материальной точки массой $m = 0,5$ кг задано уравнениями $x = 2 \cos 4t + 3t$, $y = 2 \sin 4t - 5$. Координаты x, y измеряются в метрах, а время t в секундах. Определить величину и направление равнодействующей системы силы, действующих на точку, в момент времени $t = 1$ с.

Задача 2. Тело весом G под действием силы тяжести спускается по наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$. Определить скорость тела через 2 секунды после начала движения, считая тело материальной точкой?

Задача 3. Тело начинает скользить вниз по шероховатой наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом, с начальной скоростью $v_0 = 2$ м/с. Коэффициент трения скольжения $f = 0,4$. Определить путь, пройденный телом за время $t_1 = 2$ с, считая тело материальной точкой.

Тема 9. Теорема об изменении кинетической энергии механической системы

Ключевые вопросы

1. Определение кинетической энергии при поступательном, вращательном и плоскопараллельном движении материального тела.
2. Определение искомой кинематической характеристики с помощью теоремы об изменении кинетической энергии механической системы.

Источники: [3, с. 205, 208–213], [8, с. 24–30].

Примеры задач, рассматриваемых на практическом занятии

Задача 1. Найти скорость тела 1 (рисунок 19) после его перемещения $S_1 = 2$ м из состояния покоя используя теорему об изменении кинетической энергии твердого тела. Радиус инерции тела 3 $\rho = 40$ см, коэффициент трения скольжения $f_k = 0,25$, $R_3 = 50$ см, $r_3 = 30$ см, $R_2 = 15$ см, массы тел $m_3 = 2m_1$, $m_2 = 0,5m_1$. Нить невесома и нерастяжима.

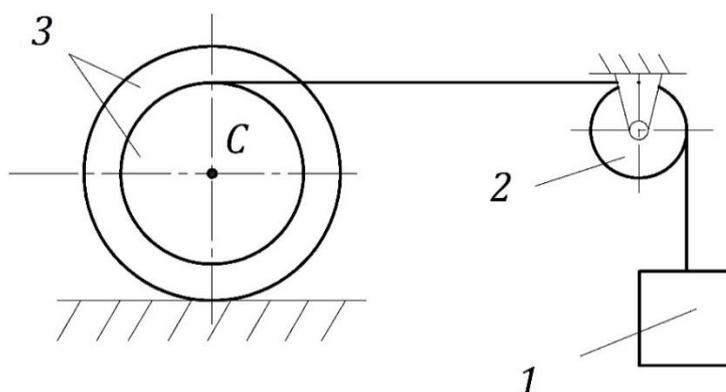


Рисунок 19 – Схема к задаче 1

Задача 2. Механическая система, представленная на рисунке 20, начинает движение из неподвижного положения. Тросы нерастяжимы и невесомы. Заданы вращающий момент $M = 30 \text{ Н} \cdot \text{м}$, радиусы $r_2 = 40 \text{ см}$, $R_2 = 60 \text{ см}$, r и радиус инерции $\rho_2 = 50 \text{ см}$, массы всех тел $m_2 = 4m_1$, $m_3 = 2m_1$ (по отношению к массе m_1) Необходимо найти ускорение тела 3, а также его скорость после перемещения тела 1 $S_1 = 1 \text{ м}$ из исходного положения.

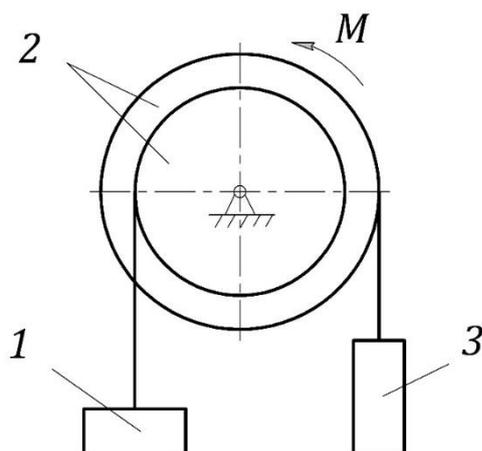


Рисунок 20 – Схема к задаче 2

Задача 3. Показанная на рисунке 21 механическая система состоит из четырех тел. Под действием силы тяжести и момента M , система приходит в движение из состояния покоя. При движении системы также действует сила трения скольжения груза о неподвижную плоскость (коэффициент трения $f = 0.1$). Определить направление движение системы и скорость груза 1 в момент времени, когда тело 4 переместится на расстояние $S_4 = 0,5 \text{ м}$ при следующих данных: $R_3 = 0,3 \text{ м}$, $r_2 = 20 \text{ см}$, $R_2 = 40 \text{ см}$, $m_1 = 2 \text{ кг}$, $m_2 = 6 \text{ кг}$, $m_3 = 4 \text{ кг}$, $m_4 = 8 \text{ кг}$.

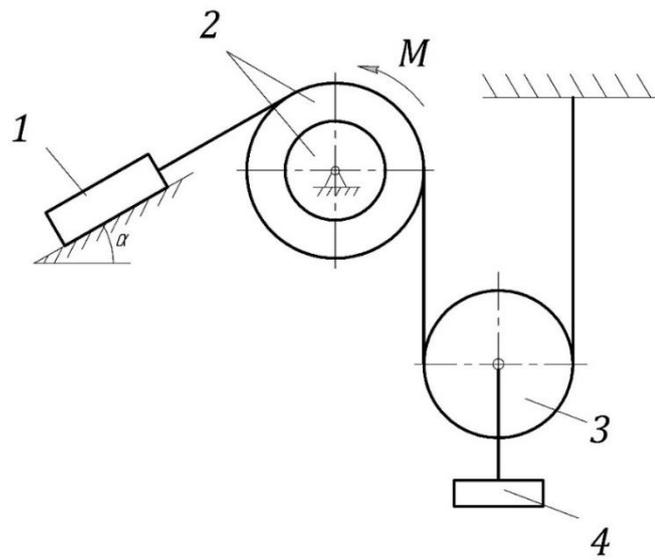


Рисунок 21 – Схема к задаче 3

3 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Содержание самостоятельной работы студентов очной и заочной формы обучения определяется рабочей учебной программой.

Наряду с проработкой лекционного материала и подготовкой к практическим занятиям, студент обязан выполнить расчетно-графическую работу (см. введение).

Расчетно-графическая работа по разделу «Теоретическая механика» выполняется с целью закрепления полученных в ходе обучения знаний и приобретения практических навыков решения типовых задач. Выполнение работы требует предварительного изучения соответствующего теоретического материала [1, 2].

Работа включает 10 заданий, среди которых 4 задания по разделу «Статика», 4 задания по разделу «Кинематика» и 2 задания по разделу «Динамика».

При выполнении расчетно-графической работы следует придерживаться следующих правил:

1. Условия задачи должны полностью соответствовать варианту, выданному преподавателем;
2. Условия задач должны быть переписаны полностью;
3. Решения задач необходимо сопровождать пояснениями и подробными вычислениями;
4. При вычислении каждой величины надо указывать ее название, формулу, по которой она определяется. После записи формулы с буквенными обозначениями в таком же порядке подставляются их численные значения;
5. Необходимо указывать единицы измерения всех величин, как заданных в условии задачи, как и полученных в результате расчетов. Применять нужно только Международную систему единиц СИ.

Расчетно-графическая работа выполняется в соответствии с отдельно разработанными учебно-методическими пособиями [6–8].

РГР Ч.1 – «Анализ механических систем. Статика» [6].

РГР Ч.2 – «Анализ механических систем. Кинематика» [7].

РГР Ч.3 – «Анализ механических систем. Динамика» [8].

Учебно-методические пособия по расчетно-графической работе устанавливают общие требования к содержанию и оформлению. Пособия включают в себя необходимые исходные данные для выполнения работы, а также примеры решения задач.

Расчетно-графическую работу можно начинать выполнять сразу же после прослушивания необходимого теоретического материала на лекциях.

В целях сокращения возможных исправлений настоятельно рекомендуется показывать преподавателю поэтапное решение задач, вместо того чтобы сдавать сразу полностью выполненную работу.

Защитить РГР необходимо до начала экзаменационной сессии. Она осуществляется путем собеседования или решения задачи, аналогичной выполненной в РГР, но в сокращенном и облегченном объеме. Для подготовки к защите можно использовать литературу, приведенную в данном учебно-методическом пособии [1, 2, 6–8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Краткий курс теоретической механики: учебник / В. Д. Бертяев [и др.]. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2011. – 196 с.
2. Яблонский, А. А. Курс теоретической механики: в 2-х ч.: учебник / А. А. Яблонский, В. М. Никифорова. – 9-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2002. – 768 с.
3. Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике: учеб. пособие для технических вузов / под общ. ред. А. А. Яблонского. – 9-е изд., стер. – Москва: Интеграл-Пресс, 2002. – 384 с.
4. Бать, М. И. Теоретическая механика в примерах и задачах: учеб. пособие для техн. вузов: в 2 т. / М. И. Бать, Г. Ю. Джанелидзе, А. С. Кельзон. – 9-е изд., перераб. – Москва: Наука, 1990. – Т. 1: Статика и кинематика. – 670 с.
5. Бать, М. И. Теоретическая механика в примерах и задачах: учеб. пособие для техн. вузов: в 2 т. / М. И. Бать, Г. Ю. Джанелидзе, А. С. Кельзон. – 8-е изд., перераб. – Москва: Наука, 1991. – Т. 2: Динамика. – 640 с.
6. Витренко, О. С. Анализ механических систем. Статика: учеб.-метод. пособие по РГР по дисциплине «Теоретическая механика» для студ. очной и заочной формы обучения в бакалавриате по напр. подгот. 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование, 26.03.02 Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов мор. инфраструктуры, 08.03.01 Строительство / О. С. Витренко, В. Г. Сукиасов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2020. – 36 с.
7. Витренко, О. С. Анализ механических систем. Кинематика: учеб.-метод. пособие по РГР по дисциплине «Теоретическая механика» для студ. очной и заочной формы обучения в бакалавриате по напр. подгот. 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование, 26.03.02 Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов мор. инфраструктуры, 08.03.01 Строительство / О. С. Витренко, В. Г. Сукиасов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2021. – 35 с.
8. Витренко, О. С. Анализ механических систем. Динамика: учеб.-метод. пособие по РГР по дисциплине «Теоретическая механика» для студ. очной и заочной формы обучения в бакалавриате по направлениям подгот. 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование, 26.03.02 Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов мор. инфраструктуры, 08.03.01 Строительство / О. С. Витренко, В. Г. Сукиасов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 30 с.
9. Витренко, О. С. Теоретическая механика: учеб.-метод. пособие по

практическим занятиям по дисциплине «Инженерная механика» для студ. по напр. подгот. в бакалавриате 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование, 08.03.01 Строительство, 26.03.02 Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры / О. С. Витренко, В. Г. Сукиасов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2024. – 40 с.

10. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики: учебник / С. М. Тарг. – Москва: Высшая школа, 2002. – 416 с.

11. Яблонский, А. А. Курс теоретической механики: учеб. пособие / А. А. Яблонский, В. М. Никифорова. – Санкт-Петербург: Лань, 2002. – 765 с.

12. Молотников, В. Я. Теоретическая механика / В. Я. Молотников. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 244 с.

13. Доронин, Ф. А. Теоретическая механика: учеб. пособие / Ф. А. Доронин. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 480 с.

14. Курс теоретической механики: учебник / В. И. Дронг, В. В. Дубинин, М. М. Ильин [и др.]; под ред. К. С. Колесникова, В. В. Дубинина. – 5-е изд., испр. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2017. – 580 с. – ISBN 978-5-7038-4568-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/250205> (дата обращения: 04.06.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

15. Мещерский, И. В. Задачи по теоретической механике: учеб. пособие / И. В. Мещерский; под ред. В. А. Пальмова, Д. Р. Меркина. – 52-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 448 с. – ISBN 978-5-8114-4190-7. – Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/206417> (дата обращения: 04.06.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

16. Диевский, В. А. Теоретическая механика / В. А. Диевский. – 6-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 348 с. – ISBN 978-5-507-48273-3. – Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/346016> (дата обращения: 04.06.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Экзаменационные вопросы по дисциплине

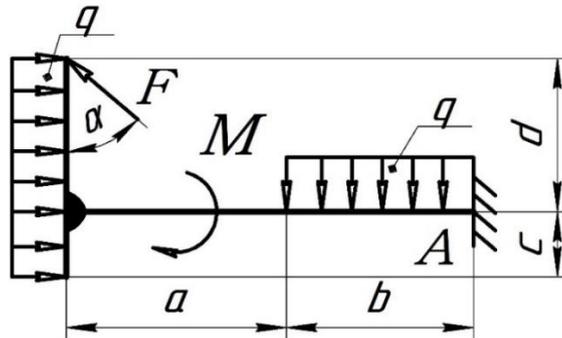
1. Определение статики.
2. Основные аксиомы статики.
3. Основные понятия статики.
4. Связи и их реакции. Аксиома связей.
5. Равнодействующие системы сходящихся сил. Условия равновесия сходящихся сил.
6. Момент силы относительно точки.
7. Пара сил и её момент.
8. Теорема о параллельном переносе силы.
9. Теорема Вариньона.
10. Условия равновесия произвольной системы сил.
11. Центр тяжести.
12. Условие равновесия пар сил, расположенных в одной плоскости.
13. Момент силы относительно оси.
14. Классификация сил, действующих на систему материальных точек.
15. Определение кинематики.
16. Способы задания движения точки.
17. Скорость движения точки при векторном способе задания закона движения.
18. Скорость движения точки при координатном способе задания движения.
19. Скорость точки при естественном способе задания движения.
20. Ускорение точки при естественном способе задания движения.
21. Ускорение движения точки при векторном способе задания движения.
22. Ускорение точки при координатном способе задания движения.
- Линейная (окружная) скорость вращающегося тела.
23. Поступательное движение твёрдого тела.
24. Вращательное движение тела вокруг неподвижной оси. Угловая скорость. Угловое ускорение.
25. Ускорение точки тела, вращающегося вокруг оси.
26. Дифференциальное уравнение вращательного движения твёрдого тела вокруг неподвижной оси.
27. Плоскопараллельное движение.
28. Распределение скоростей при плоскопараллельном движении.
29. Мгновенный центр скоростей.

30. Теорема о распределении ускорений в теле при плоскопараллельном движении.
31. Скорость точки при сложном движении.
32. Абсолютное, относительное и переносное движение точки.
33. Ускорение точки в сложном движении. Теорема Кориолиса.
34. Определение динамики.
35. Законы Ньютона. Масса материальной точки.
36. Дифференциальные уравнения движения материальной точки в проекциях на естественные оси координат.
37. Дифференциальные уравнения движения материальной точки в декартовых координатах.
38. Дифференциальные уравнения движения материальной точки в декартовых координатах.
39. Две основные задачи динамики.
40. Уравнения динамики несвободной материальной точки.
41. Центр масс системы материальных точек, его координаты, скорость и ускорения.
42. Теорема о движении центра масс системы.
43. Кинетическая энергия системы материальных точек и твёрдого тела.
44. Теорема об изменении кинетической энергии материальной точки.
45. Теорема об изменении кинетической энергии системы.
46. Работа силы. Мощность. Работа сил тяжести. Работа сил упругости.
47. Количество движения системы. Теорема о количестве движения системы.
48. Теорема об изменении количества движения системы. Теорема импульсов.
49. Теорема об изменении момента количества движения системы. Момент количества движения системы.
50. Принцип Даламбера–Лагранжа. Общее уравнение динамики.
51. Возможные перемещения системы. Число степеней свободы. Принцип возможных перемещений.
52. Принцип Даламбера. Силы инерции.

Пример экзаменационного практического задания

Вариант 1

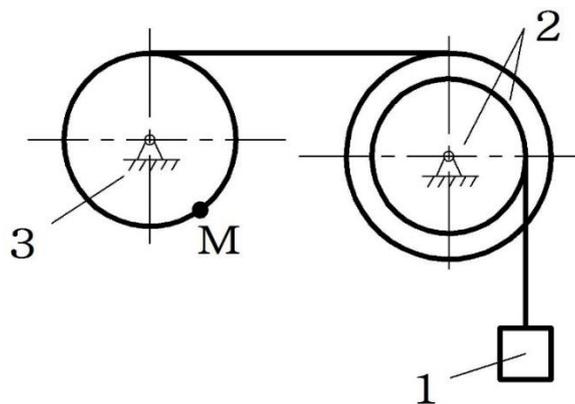
Для жесткой невесомой конструкции под действием заданных внешних нагрузок найти реакции опор.



a , м	b , м	c , м	d , м	α , град.	F , кН	M , кН·м	q , кН/м
3	2	1	1	60	15	4	1

Вариант 2

Для приведенной схемы механизма по заданному уравнению движения груза 1 – $x(t)$ определить и показать на рисунке скорость и ускорение точки M .



$x(t)$, м	R_2 , м	r_2 , м	R_3 , м	r_3 , м
$2\cos(\pi t/6)$	4	1	3	2

Тестовые задания открытого типа

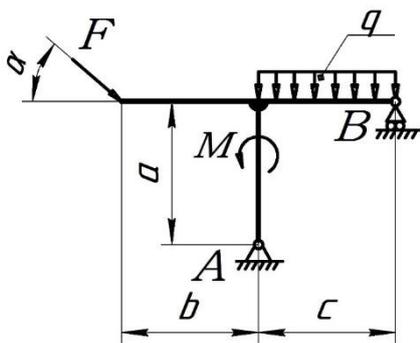
1. Условие равновесия тела под действием системы сил, произвольно расположенных в плоскости: _____

Ответ:
$$\begin{cases} \sum F_{kx} = 0; \\ \sum F_{ky} = 0; \\ \sum M_A(\vec{F}_k) = 0. \end{cases}$$

2. Силы взаимодействия между материальными точками (телами) рассматриваемой системы называют: _____

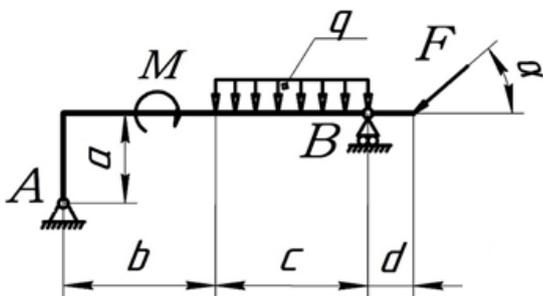
Ответ: внутренними

3. Тип связи в точке А: _____



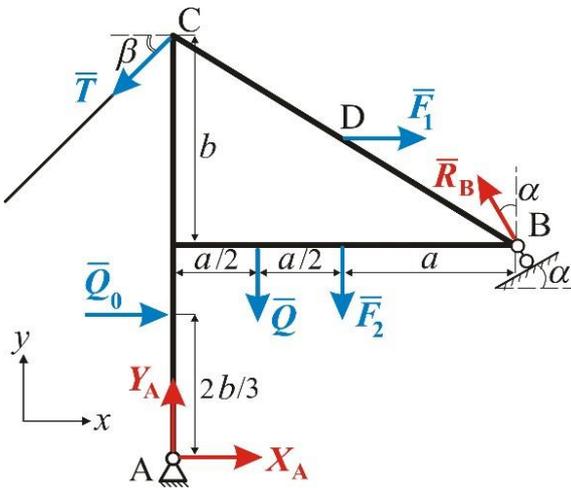
Ответ: неподвижный цилиндрический шарнир

4. Момент силы F относительно точки A равен:



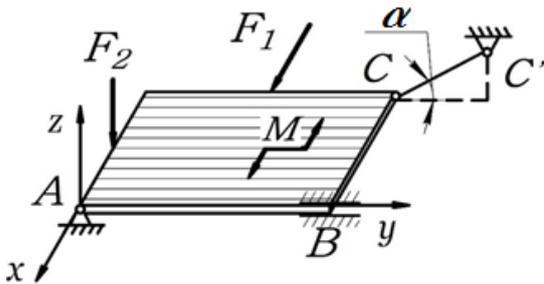
Ответ: $M_A(\vec{F}) = F \cos \alpha \cdot a - F \sin \alpha \cdot (b + c + d)$

5. Сумма проекций всех сил $\sum F_{kx}$ на ось x равна:



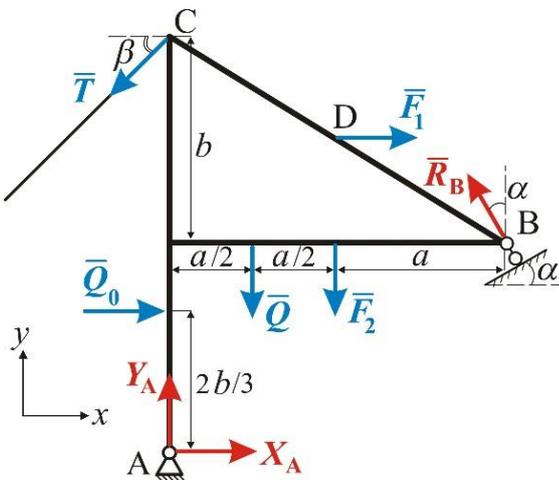
Ответ: $\sum F_{kx} = X_A - R_B \sin \alpha - T \cos \beta + F_1 + Q_0$

6. Момент силы F_1 относительно оси z будет равен



Ответ: $M_z(\vec{F}_1) = -F_1 \cdot \frac{1}{2} AB$

7. Сумма моментов всех сил относительно точки A $\sum M_A(F_k)$ равна:



$$AC=2b$$

Ответ: $\sum M_A(F_k) = R_B \cos \alpha \cdot 2a + R_B \sin \alpha \cdot b + T \cos \beta \cdot 2b - F_1 \cdot \frac{3b}{2} - Q_0 \cdot \frac{2b}{3} - F_2 \cdot a - Q \cdot \frac{a}{2}$

8. Раздел теоретической механики, в котором изучается движение материальных тел в пространстве с геометрической точки зрения, вне связи с силами, определяющими это движение, называется _____

Ответ: кинематика

9. Движение твердого тела, при котором любая прямая, соединяющая две точки тела, движется параллельно самой себе, называется _____

Ответ: поступательное

10. Движение твердого тела, при котором каждая точка тела движется в плоскости, параллельной некоторой неподвижной плоскости, называется _____

Ответ: плоскопараллельное

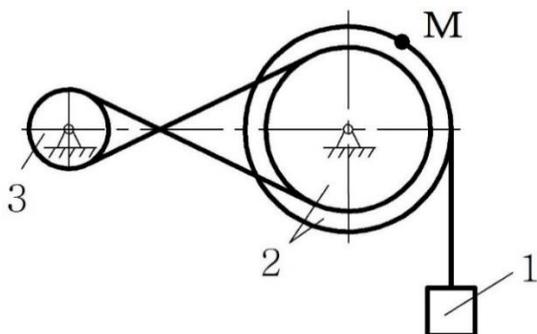
11. Абсолютное ускорение точки, совершающей сложное движение, при переносном вращательном движении, определяется по формуле:

Ответ: $\vec{a}_a = \vec{a}_r + \vec{a}_e^t + \vec{a}_e^n + \vec{a}_c$

12. Закон движения точки М задан уравнением $x = t^3 + 1$. Ускорение точки М в момент времени $t = 2$ с, равно:

Ответ: 12 м/с²

13. Механизм состоит из колес 2 и 3, связанных ременной передачей, и груза 1, привязанного к концу нити. Если $\omega_3 = 5 \text{ с}^{-1}$, $R_2 = 0,4 \text{ м}$, $r_2 = 0,2 \text{ м}$, $r_3 = 0,1 \text{ м}$, то скорость точки М (V_M) равна:

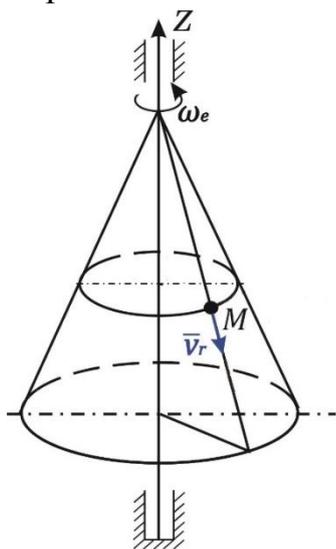


Ответ: 1 м/с

14. Точка, неизменно связанная с фигурой, скорость которой в это момент равна нулю называется _____

Ответ: мгновенным центром скоростей

15. По образующей конуса движется точка М со скоростью $v_r = 2$ м/с. Конус вращается с угловой скоростью $\omega_e = 1$ с⁻¹. Угол α между образующей конуса и осью вращения равен 30°. Кориолисово ускорение точки численно равно:



Ответ: 2 м/с²

16. Раздел теоретической механики, в котором изучается движение материальных тел в пространстве в зависимости от действия на них сил называется _____

Ответ: динамика

17. Геометрическая точка С, радиус вектор которой определяется по формуле

$\vec{r}_C = \frac{\sum m_k \vec{r}_k}{m}$ называется _____ системы

Ответ: центром масс

18. Кинетическая энергия тела при поступательном движении определяется по формуле:

Ответ: $T = \frac{1}{2} m v^2$

19. Вектор, имеющий направление вектора скорости и модуль равный произведению массы точки на модуль скорости ее движения называется:

Ответ: количеством движения

20. Теорема об изменении кинетической энергии материальной точки имеет вид

Ответ: $\frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \sum A_i$

21. По формуле $\vec{S} = \vec{F}t$ определяется _____:

Ответ: импульс силы

22. Тело весом $P=1$ кН совершило перемещение по горизонтальной поверхности с постоянной скоростью на расстояние 1 м. К телу приложена горизонтально направленная сдвигающая сила $Q = 100$ Н. Коэффициент трения скольжения $f=0,3$. Работа силы трения равна _____

Ответ: - 300Дж

23. Величина равная произведению модуля вектора силы на модуль вектора скорости и на косинус угла между направлениями этих векторов называется

Ответ: мощностью силы

Тестовые задания закрытого типа

1. Способы задания движения точки:

а) естественный;

б) координатный;

в) векторный;

г) аналитический.

2. Кинетическая энергия тела при вращательном движении определяется по формуле:

а) $T = \frac{1}{2}m\omega^2$;

б) $T = \frac{1}{2}I\omega^2$;

в) $T = \frac{1}{2}mv^2$;

г) $T = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$.

3. Вес мяча составляет 5Н. Если он поднимается на высоту двух метров, то работа, совершаемая силой тяжести при отскоке мяча от земли, равна:

а) 10Дж;

б) - 10Дж;

в) 8Дж;

г) - 8Дж.

4. Сила определяется:

а) числовым значением (модулем);

б) направлением;

в) плоскостью действия;

г) точкой приложения.

5. Условием равновесия тела под действием системы сходящихся сил, расположенных в пространстве, является:

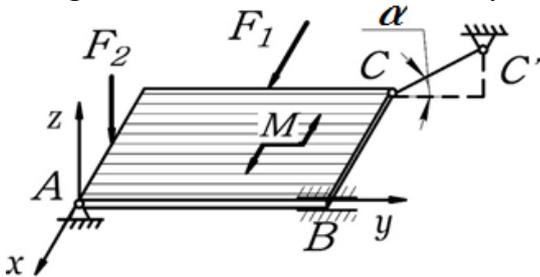
а)
$$\begin{cases} \sum F_{kx} = 0; \\ \sum F_{ky} = 0; \\ \sum M_x(\vec{F}_k) = 0. \end{cases}$$

б)
$$\begin{cases} \sum F_{kx} = 0; \\ \sum M_A(\vec{F}_k) = 0; \\ \sum M_B(\vec{F}_k) = 0. \end{cases}$$

в)
$$\begin{cases} \sum M_A(\vec{F}_k) = 0; \\ \sum M_B(\vec{F}_k) = 0; \\ \sum M_C(\vec{F}_k) = 0. \end{cases}$$

$$\Gamma) \begin{cases} \sum F_{kx} = 0; \\ \sum F_{ky} = 0; \\ \sum F_{kz} = 0. \end{cases}$$

6. Проекция силы F_1 на оси x, y, z равны:



а) $F_{1x} = 0; F_{1y} = -F_1; F_{1z} = -F_1 \cos \alpha;$

б) $F_{1x} = F_1; F_{1y} = 0; F_{1z} = 0;$

в) $F_{1x} = F_1 \cos \alpha; F_{1y} = -F_1 \sin \alpha; F_{1z} = 0;$

г) $F_{1x} = -F_1 \cos \alpha; F_{1y} = F_1 \sin \alpha; F_{1z} = 0.$

7. Ускорение точки А тела, совершающего поступательное движение, определяется по формуле:

а) $\vec{a}_A = \vec{v}_A;$

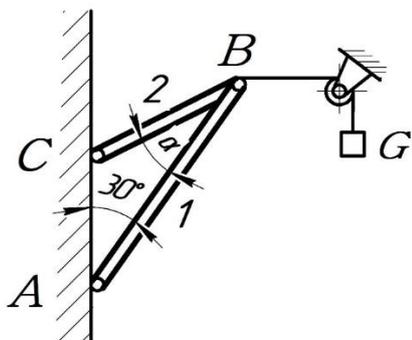
б) $\vec{a}_A = \vec{a}_A^{\tau} + \vec{a}_A^n;$

в) $\vec{a}_A = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA};$

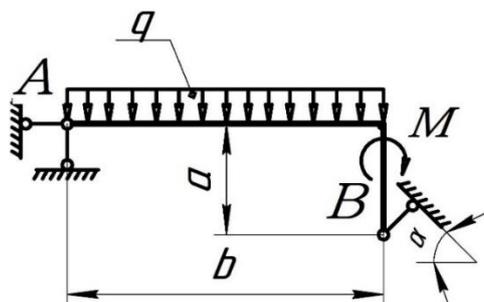
г) $\vec{a}_A = \frac{d\vec{v}_A}{dt}.$

Типовой вариант расчетно-графической работы

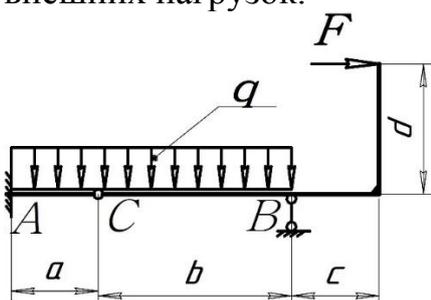
Задание С1. Найти усилия в опорных стержнях 1 и 2 под действием груза весом G .



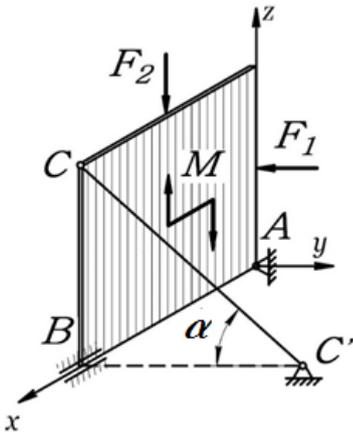
Задание С2. Для жесткой невесомой конструкции под действием заданных внешних нагрузок найти реакции опор.



Задание С3. Две жесткие части составной невесомой конструкции шарнирно соединены в точке С. Найти реакции опор под действием заданных внешних нагрузок.

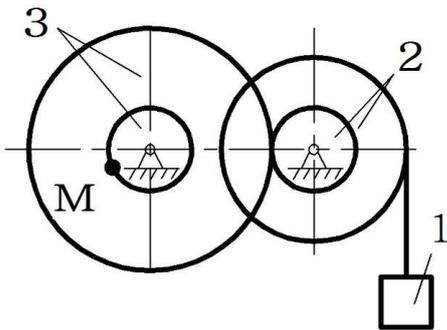


Задание С4. Плита весом G удерживается в неподвижном положении с помощью опор в трех углах – сферического шарнира в точке А, цилиндрического шарнира в точке В и невесомого стержня в точке С. Размеры плиты: $AB=a$, $BC=b$. Силы \vec{F}_1 и \vec{F}_2 приложены в серединах сторон, пара с моментом M – в плоскости плиты. Найти реакции опор.

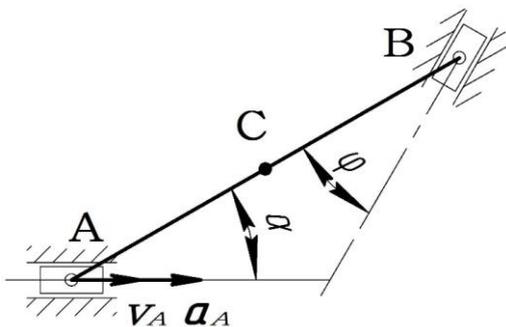


Задание К1. По заданному уравнению определить траекторию движения точки. Для момента времени t_1 найти положение точки на траектории, ее скорость и ускорение (показать их на рисунке), а также радиус кривизны траектории в соответствующей точке. Координаты x и y даны в метрах, время в секундах.

Задание К2. Для приведенной схемы механизма по заданному уравнению движения груза 1 – $x(t)$, или по заданному уравнению движения вала 3 – $\varphi_3(t)$, определить и показать на рисунке скорость и ускорение точки M , а также скорость и ускорение груза 1 в заданный момент времени.

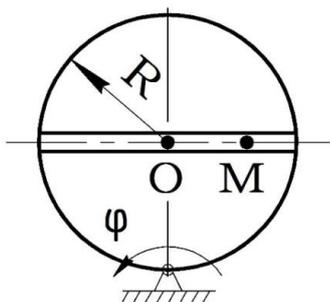


Задание К3. Для механизма, состоящего из шатуна AB длиной l и двух ползунов, по заданным величинам скорости и ускорения ползуна A определить скорость и ускорение ползуна B и средней точки C шатуна, а также угловую скорость и угловое ускорение шатуна.



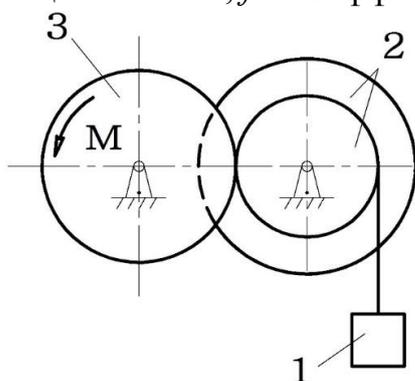
Задание К4. Материальная точка M движется в желобе вращающегося тела. По заданным уравнениям относительного движения $OM(t)$ и переносного

движения $\varphi(t)$, с учетом геометрических размеров, определить абсолютную скорость и абсолютное ускорение точки в указанный момент времени t_1 .



Задание Д1. Поезд движется по прямолинейному горизонтальному участку пути и в начале торможения имеет скорость $v_1 = 90$ км/ч, Величина силы торможения составляет 0,2 от веса поезда. Найти длину тормозного пути и время до остановки.

Задание Д2. Механическая система с известными инерционными и геометрическими характеристиками начинает движение из состояния покоя. Нити невесомы и нерастяжимы. Необходимо найти ускорение тела 1, а также скорость этого тела после его заданного перемещения. При этом для поступательно движущегося груза задано перемещение s_1 , а искомыми величинами являются линейное ускорение a_1 и линейная скорость v_1 . Для вращающегося колеса задан угол поворота φ_1 , а искомыми величинами являются угловое ускорение ε_1 и угловая скорость ω_1 . Прочие символы обозначают: m – массы тел; R и r – радиусы; ρ – радиус инерции; M – вращающий момент; f – коэффициент трения скольжения.



Локальный электронный методический материал

Витренко Ольга Сергеевна

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕХАНИКА
Раздел «Теоретическая механика»

Редактор С. Кондрашова
Корректор Т. Звада

Уч.-изд. 3,4 л. Печ. 3,1 л.

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1