

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИнЭО

_____ А.С. Фадеев

«_____» _____ 2017 г.

МЕХАНИКА 1.3

Методические указания и индивидуальные задания
для студентов ИнЭО, обучающихся по направлениям
15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и
20.03.01 «Техносферная безопасность»

Составитель Г.Р. Зиякаев

Направление		15.03.04	20.03.01
Семестр	3	4	4
Кредиты		3	4
Лекции, часов	2	6	6
Практические занятия, часов		8	8
Индивидуальные задания		№ 1	№ 1
Самостоятельная работа, часов		92	128
Формы контроля		зачет	экзамен

Издательство
Томского политехнического университета
2017

УДК 621.86.01

Механика 1.3: метод. указ. и индивид. задания для студентов ИнЭО, обучающихся по направлениям 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и 20.03.01 «Техносферная безопасность» / сост. Г.Р. Зиякаев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 85 с.

Методические указания и индивидуальные задания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры теоретической и прикладной механики «17» января 2017 года, протокол № 115.

Зав. кафедрой ТПМ,
доцент, канд. техн. наук _____ Е.Н. Пашков

Аннотация

Методические указания и индивидуальные задания по дисциплинам «Механика 1.3» предназначены для студентов ИнЭО, обучающихся по направлениям 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и 20.03.01 «Техносферная безопасность». Данная дисциплина изучается в одном семестре.

Приведено содержание основных тем дисциплины, указаны темы практических занятий. Приведены варианты индивидуально-го домашнего задания. Даны методические указания по выполнению индивидуального домашнего задания.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	4
2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ	6
3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ	40
3.1. Тематика практических занятий	40
4. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ	42
4.1. Общие методические указания	42
4.2. Варианты ИДЗ и методические указания	43
5. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ	74
5.1. Вопросы для подготовки к зачету (экзамену)	74
5.2. Образец зачетного (экзаменационного) билета для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме	78
5.3. Образцы вопросов зачетного (экзаменационного) билета для студентов, изучающих дисциплину дистанционно	79
6. УЧЕБНО–МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	82
6.1. Литература обязательная	82
6.2. Литература дополнительная	83
6.3. Интернет-ресурсы	84

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Механика 1.3» входит в базовую часть модуля обще-профессиональных дисциплин. При изучении дисциплины студенты знакомятся:

- 1) с терминологией, основными понятиями и определениями методов приведения систем сил к центру и уравнениями равновесия;
- 2) с видами движений твердых тел и основными кинематическими характеристиками;
- 3) с простейшими видами нагружений и основами расчетов на прочность, жесткость, устойчивость стержневых конструкций;
- 4) с механическими характеристиками конструкционных материалов, экспериментальными методами определения механических характеристик;
- 5) со структурным анализом простейших рычажных механизмов;
- 6) с основными типами, характеристиками и принципами действия передаточных устройств и конструкций.

В процессе освоения дисциплины у студентов развиваются следующие компетенции:

1. Универсальные (общекультурные):

- 1) способности к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения;
- 2) способности в условиях развития науки и изменяющейся социальной практики к переоценке накопленного опыта, анализу своих возможностей;
- 3) готовность приобретать новые знания и использовать различные средства и технологии обучения;
- 4) готовность к самостоятельной, индивидуальной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции.

2. Профессиональные:

- 1) способность и готовность использовать информационные технологии, в том числе современные средства компьютерной графики, в своей предметной области;
- 2) способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;
- 3) способность оценивать механическую прочность разрабатываемых конструкций;

4) готовность разрабатывать технологические узлы электроэнергетического оборудования;

5) готовность изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования.

Пререквизитами данной дисциплины по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» являются: «Линейная алгебра и аналитическая геометрия 1.3», «Математический анализ 1.3», «Математика 2.3», «Физика 1.2», «Физика 2.2», «Начертательная геометрия и инженерная графика 1.2», «Начертательная геометрия и инженерная графика 2.2».

Пререквизитами данной дисциплины по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность» являются: «Математика 1.1», «Математика 2.2», «Физика 1.2», «Физика 2.2», «Начертательная геометрия и инженерная графика 1.2», «Начертательная геометрия и инженерная графика 2.2».

Кореквизитами данной дисциплины по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» являются: «Физика 3.2», «Электроника 1.3», «Спецглавы математики», «Учебно-исследовательская работа студентов».

Кореквизитами данной дисциплины по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность» являются: «Физика 3.2», «Математика 3.2», «Физическая химия техносферы», «Учебно-исследовательская работа студентов».

В результате успешного освоения дисциплины «Механика 1.3» студенты должны:

знать:

- основные понятия, термины и определения, законы и методы механики;

уметь:

- составлять расчетные схемы и определять действующие нагрузки;
- определять реакции опор;
- производить простейшие расчеты на прочность и жесткость;
- определять основные кинематические характеристики тел, систем тел и механизмов;
- проводить структурный, кинематический и силовой анализ механизмов;

- производить энерго-кинематические расчеты приводов механизмов.

владеть:

- методами теоретической механики;
- методами расчета на прочность и жесткость механизмов;
- методами синтеза и анализа механизмов.

2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 2.1. Теоретическая механика

Предмет статики. Основные понятия статики: абсолютно твердое тело, материальная точка, эквивалентные и уравновешенные системы сил, равнодействующая, силы внешние и внутренние. Аксиомы статики. Связь и реакции связей. Опорные устройства и их реакции.

Геометрический способ сложения сил. Равнодействующая сходящихся сил. Условие равновесия системы сходящихся сил в геометрической форме. Проекция силы на оси координат. Аналитический способ сложения сил. Аналитические условия равновесия твердого тела под действием системы сходящихся сил.

Момент силы относительно центра (точки) как вектор. Алгебраическая величина момента силы. Понятие о паре сил. Момент пары сил как вектор. Условия эквивалентности пар. Условия равновесия системы пар сил на плоскости.

Момент силы относительно оси; зависимость между моментами силы относительно центра и оси, проходящей через этот центр, формулы для вычисления моментов силы относительно координатных осей.

Теорема о приведении произвольной плоской системы сил к данному центру, главный вектор и главный момент системы сил.

Случаи приведения плоской системы сил к одной паре и к равнодействующей. Уравнения равновесия тела, находящегося под воздействием плоской системы сил. Статически определимые и неопределимые задачи. Понятие о трении скольжения. Коэффициент трения скольжения. Угол трения. Трение качения.

Приведение системы параллельных сил к равнодействующей. Центр параллельных сил. Центр тяжести. Формулы для координат центра параллельных сил и центра тяжести. Центры тяжести простейших плоских фигур и тел.

Предмет кинематики. Пространство и время как формы существования материи. Механическое движение как одна из форм движения материи. Система отсчета.

Векторный способ задания движения точки. Траектория точки. Понятие скорости точки. Скорость точки как производная радиуса-вектора по времени. Понятие ускорения точки. Ускорение точки как производная вектора скорости по времени.

Координатный способ задания движения точки в декартовых координатах. Проекции скорости и ускорения на оси декартовых координат. Определение модуля и направления скорости и ускорения по его проекциям на оси декартовых координат.

Естественный способ задания движения точки. Модуль и направление скорости. Естественные оси. Касательное и нормальное ускорения точки.

Поступательное движение твердого тела. Теорема о траекториях, скоростях и ускорениях точек в этом движении. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси. Уравнение вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси. Угловая скорость и угловое ускорение тела. Равномерное и равнопеременное вращение твердого тела.

Плоскопараллельное движение твердого тела и движение плоской фигуры в ее плоскости. Разложение движения плоской фигуры на поступательное движение и вращение вокруг полюса. Уравнения движения плоской фигуры. Скорости точек плоской фигуры. Мгновенный центр скоростей и мгновенный центр вращения плоской фигуры.

Составное (сложное) движение точки; относительное и переносное движение. Относительная и переносная скорости и ускорения точки. Сложение скоростей и ускорений.

Предмет динамики. Краткий исторический очерк развития динамики. Основные законы механики Галилея-Ньютона. Инерциальная система отсчета.

Дифференциальные уравнения движения свободной и несвободной материальных точек в декартовых координатах. Две основные задачи динамики материальной точки.

Количество движения и момент количества движения материальной точки. Импульс силы. Элементарная работа силы и работа силы на конечном пути. Аналитическое выражение элементарной работы. Работа силы тяжести и силы упругости. Мощность. Теорема об изменении кинетической энергии материальной точки.

Сила инерции материальной точки. Принцип Д'Аламбера для материальной точки. Метод кинетостатики.

Система материальных точек.

Масса. Центр масс механической системы. Осевые моменты инерции. Радиус инерции. Моменты инерции относительно параллельных осей. Момент инерции простейших тел.

Теорема о движении центра масс механической системы. Теорема об изменении кинетического момента механической системы. Кинетическая энергия твердого тела при поступательном, вращательном и плоском движениях тела. Теорема об изменении кинетической энергии системы. Принцип Д'Аламбера для механической системы.

Рекомендуемая литература: [5–11].

Методические указания

При изучении данного раздела курса необходимо уделить особое внимание первичным понятиям:

- сила – понятие, характеристики, классификация сил;
- момент силы относительно центра и оси – определение, характеристики, порядок вычисления;
- пара сил – определение, характеристики, свойства.

Основной задачей первого раздела теоретической механики «Статика» является составление уравнений равновесия точки и твердого тела под действием приложенных сил. Следует различать следующие системы сил: сходящаяся, параллельная, произвольная плоская, произвольная пространственная.

Изучение кинематики начинается с кинематических характеристик движения точки: траектория, скорость, угловая скорость, угловое ускорение. Существуют три способа задания движения точки: векторный, координатный и естественный.

В кинематике твердого тела изучаются следующие виды движения: поступательное, вращение вокруг закрепленной оси, плоскопараллельное, сферическое и сложное. Основной задачей кинематики при каждом из указанных видов движения является определение скоростей и ускорений точек, принадлежащих твердому телу. Кинематика лежит в основе теории механизмов и машин.

При изучении материала раздела по учебнику или учебному пособию нужно, прежде всего, уяснить существо каждого вопроса. Главное – это понять изложенное в учебном пособии, а не «заучить».

Изучать материал рекомендуется по темам раздела или по главам учебника или учебного пособия. Сначала следует прочитать весь материал каждой темы раздела, особенно не задерживаясь на том, что показалось не совсем понятным; часто это становится понятным из последующего. Затем надо вернуться к местам, вызвавшим затруднения, и разобраться в том, что было неясно. Особое внимание при повторном чтении обратите на формулировки определений, теорем: в точных формулировках существенно каждое слово, и полезно понять, почему данное положение сформулировано именно так. Однако не следует стараться заучивать формулировки; важно понять их смысл и уметь изложить результат своими словами.

Необходимо также понять ход всех доказательств; «заучивать» их не следует, пользы это не принесет.

При изучении раздела, особое внимание следует уделить приобретению навыков решения задач. Для этого, изучив материал тем раздела, надо сначала разобраться в решениях задач, которые приводятся в учебном пособии, обратив внимание на методические указания по их решению.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Сформулируйте основные вопросы, рассматриваемые в теоретической механике.
2. Какова связь теоретической механики с другими общетехническими дисциплинами?
3. Какова роль абстракций в механике?
4. Какое тело называют *абсолютно твердым*?
5. Какие системы сил называются *уравновешенными*?
6. Что такое *равнодействующая заданной системы сил*?
7. Перечислите аксиомы статики.
8. Являются ли условия равновесия абсолютно твердого тела необходимыми и достаточными для равновесия деформируемых тел?
9. Какие тела называются *связями для данного тела*?
10. Что такое *заданные силы, реакции связей, давление на связь*?
11. Как направлена реакция:
 - а) гладкой поверхности;
 - б) опоры на катках;
 - в) цилиндрического шарнира и подшипника;
 - г) невесомого стержня;
 - д) сферического шарнира и подпятника;
 - е) жесткой заделки;
 - ж) нити, привязанной к телу и к опоре или перекинутой одним концом через блок?
12. Как определяется проекция силы на ось?
13. Какие силы называются *сходящимися*?
14. Как складываются сходящиеся силы:
 - а) графически;
 - б) аналитически?
15. Запишите условия равновесия системы сходящихся сил в геометрической и аналитической формах.
16. Что называется *парой сил*? Как подсчитать момент пары?
17. Зависит ли действие пары сил на тело от ее места в плоскости?
18. В чем состоит условие эквивалентности двух пар?
19. Чему равен момент силы относительно точки? Как изобразить его в виде вектора-момента? Чем этот вектор отличается от вектора-момента пары?
20. Когда момент силы относительно точки равен нулю?
21. Как определить момент силы относительно оси? В каких случаях он равен нулю?

22. Какая зависимость существует между моментами силы относительно точки и оси, проходящей через эту точку?
23. Как записать условия равновесия произвольной системы сил:
- а) на плоскости;
 - б) в пространстве?
24. В каких случаях плоская система сил приводится:
- а) к паре сил;
 - б) к равнодействующей?
25. Сформулируйте теорему Вариньона о моменте равнодействующей заданной системы сил.
26. Какие задачи называются *статически определенными*? Какие – *статически неопределенными*?
27. Что такое *центр параллельных сил*? Как найти координаты центра параллельных сил?
28. Напишите формулы для определения координат центра тяжести тела, центра тяжести объема, площади, линии.
29. Что значит *определить движение точки*?
30. Что такое *уравнения движения точки, закон движения по траектории*? Что называется *траекторией точки*?
31. Как выражаются векторы скорости и ускорения точки через радиус-вектор этой точки? Как направлены оба вектора?
32. Как вычисляются проекции на координатные оси, модуль и направление векторов скорости и ускорения точки по известным уравнениям движения точки в координатной форме?
33. Какие оси координат называются *естественными*?
34. Что называется *радиусом кривизны кривой в данной ее точке*? Чему равен радиус кривизны окружности?
35. Как определяются проекции вектора скорости и вектора ускорения точки на естественные оси?
36. Как определить касательную и нормальную составляющие ускорения точки по заданному закону движения точки, по траектории, по заданным уравнениям движения точки в декартовых координатах?
37. В каких случаях касательное и нормальное ускорения точки равны нулю?
38. Какое движение тела называется *поступательным*? Может ли поступательное движение тела быть криволинейным, прямолинейным? Приведите примеры.
39. Как записать уравнения поступательного движения твердого тела?
40. Напишите уравнение вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси.

41. Что называется угловой скоростью, угловым ускорением тела при его вращении вокруг неподвижной оси?
42. Какое вращение тела называется *равномерным, равнопеременным*?
43. Как записать уравнения:
- а) равномерного вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси?
 - б) равнопеременного вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси?
44. Напишите формулы, связывающие угловые характеристики движения тела с линейными характеристиками движения точки этого тела.
45. Какое движение точки называется *относительным, переносным, абсолютным*?
46. Что называется *абсолютной, относительной, переносной скоростью* (или *ускорением*) *точки*?
47. Что такое *сложение скоростей* и *ускорений точки*.
48. Какое движение тела называется *плоскопараллельным*? Почему для его изучения достаточно рассматривать движение плоской фигуры в своей плоскости?
49. На какие простейшие движения можно разложить плоскопараллельное движение твердого тела?
50. Как определяются векторы скоростей точек плоской фигуры при разложении ее движения?
51. Какая точка называется *мгновенным центром скоростей*?
52. Как найти положение мгновенного центра скоростей плоской фигуры, если известны:
- а) скорость полюса и угловая скорость вращения фигуры;
 - б) направления скоростей двух точек фигуры?
53. Как определяются векторы скоростей точек плоской фигуры, их модули и направления с помощью мгновенного центра скоростей?
54. Как определяются векторы ускорений точек плоской фигуры при разложении ее движения?
55. Назовите основные законы движения материальной точки.
56. При каком условии точка движется по инерции?
57. Между какими величинами устанавливают зависимость основного уравнения динамики материальной точки?
58. Как движется материальная точка под действием постоянной силы?
59. Напишите дифференциальные уравнения движения материальной точки в векторной и координатной формах.

60. Напишите уравнения движения материальной точки в проекциях на естественные оси.
61. Какие основные задачи динамики материальной точки можно решать с помощью дифференциальных уравнений движения?
62. Чему равно количество движения материальной точки?
63. Что такое *элементарный импульс силы* и *импульс силы за конечный промежуток времени*?
64. В чем состоит теорема об изменении количества движения материальной точки?
65. В каком случае количество движения точки остается постоянным?
66. В чем состоит теорема об изменении момента количества движения материальной точки относительно неподвижного центра и оси?
67. Чему равна кинетическая энергия материальной точки?
68. Как найти работу переменной силы при криволинейном перемещении ее точки приложения?
69. Чему равна работа силы тяжести?
70. Напишите аналитическую формулу для элементарной работы силы.
71. Чему равна мощность силы?
72. В чем состоит теорема об изменении кинетической энергии материальной точки?
73. Как определяется положение центра масс механической системы?
74. Чему равно количество движения механической системы?
75. Как найти количество движения твердого тела?
76. В чем состоит теорема об изменении количества движения механической системы?
77. В чем заключается теорема о движении центра масс механической системы.
78. При каком условии центр масс движется по инерции?
79. Разберите случай вращения тела вокруг неподвижной оси. Чему равно угловое ускорение вращения тела?
80. Что является мерой инертности тела при поступательном движении и при вращении вокруг неподвижной оси?
81. Дайте определение момента инерции тела относительно оси.
82. Как найти работу силы, приложенной к телу, вращающемуся вокруг неподвижной оси?
83. Чему равна работа вращающего момента и момента сопротивления?
84. В чем состоит теорема об изменении кинетической энергии механической системы?

85. Напишите формулы для кинетической энергии тела при поступательном движении, при вращении вокруг неподвижной оси и при плоскопараллельном движении.

86. Чему равна сила инерции материальной точки?

87. В чем состоит принцип Д'Аламбера для материальной точки и для механической системы?

Тема 2.2. Основы сопротивления материалов

Общие сведения. Основные понятия и определения. Растяжение и сжатие. Изгиб прямолинейного бруса. Кручение. Сложное сопротивление. Местные напряжения. Прочность материалов при переменных напряжениях.

Нагрузки. Сосредоточенные нагрузки. Характеристика сосредоточенной нагрузки. Распределенные нагрузки. Виды распределенных нагрузок. Характеристики распределенных нагрузок. Статические нагрузки. Динамические нагрузки. Внутренние силы. Дополнительные внутренние силы (усилия). Метод сечений. Продольная сила. Поперечная сила. Крутящий момент. Изгибающий момент.

Понятие о напряжениях. Напряженное состояние в точке. Нормальное напряжение. Касательное напряжение. Напряженное состояние тела. Главные площадки. Главные напряжения. Линейное (одноосное) напряженное состояние. Плоское (двухосное) напряженное состояние. Объемное (трехосное) напряженное состояние.

Конструктивные элементы механизмов и машин. Брус. Оболочка. Пластина.

Основные гипотезы и допущения. Гипотеза о сплошном строении тела. Гипотеза об идеальной упругости материала. Гипотеза об однородности материала. Гипотеза об изотропности материала. Гипотеза плоских сечений. Допущение о малости деформаций. Допущение о линейной зависимости между деформациями и нагрузками. Принцип независимости действия сил (принцип суперпозиции). Принцип Сен-Венана.

Деформация растяжения. Абсолютное удлинение. Относительное удлинение. Деформация сжатия. Абсолютное укорочение. Относительное укорочение. Относительная поперечная деформация. Коэффициент Пуассона. Закон Гука для пластичных материалов. Модуль продольной упругости (модуль упругости первого рода). Область действия закона Гука.

Механические характеристики и свойства материалов. Основные механические характеристики: предельные напряжения, твердость,

ударная вязкость. Пластичные конструкционные материалы. Хрупкие конструкционные материалы. Малопластичные конструкционные материалы. Испытания на растяжение. Условная диаграмма растяжений пластичных материалов. Предел пропорциональности. Предел упругости. Предел текучести. Предел прочности (временное сопротивление). Условная диаграмма растяжения хрупких материалов. Явление наклепа. Испытание на сжатие. Условные диаграммы сжатия пластичных и хрупких материалов. Твердость. Определение твердости по Бринеллю. Материалы, твердость которых определяется по Бринеллю. Определение твердости по Роквеллу. Материалы, твердость которых определяется по Роквеллу. Связь между твердостью и временным сопротивлением. Ударная вязкость. Определение ударной вязкости.

Допускаемые напряжения и запасы прочности. Допускаемое напряжение. Предельное напряжение. Коэффициент запаса прочности (коэффициент безопасности). Связь между допускаемым и предельным напряжениями.

Расчеты на прочность при растяжении (сжатии). Уравнение прочности. Проверочный расчет на прочность при растяжении (сжатии). Проектные расчеты на прочность при растяжении (сжатии). Предельная деформация. Условие жесткости. Расчеты на жесткость при растяжении (сжатии).

Статически определимые системы. Определение внутренних сил и напряжений в статически определимых системах.

Статически неопределимые системы. Общий метод решения статически неопределимых систем.

Напряженное состояние при растяжении (сжатии). Напряжения на гранях бесконечно малого элемента. Свойства линейного напряженного состояния: сумма нормальных напряжений, действующих по двум взаимно перпендикулярным площадкам; закон парности касательных напряжений; сечение, в котором касательные напряжения максимальны.

Изгиб. Балка. Чистый изгиб. Поперечный изгиб. Силовая плоскость. Простой (плоский) изгиб. Признаки чистого изгиба. Нейтральный слой. Нейтральная ось. Силовая линия. Деформация волокон.

Типы опор. Шарнирно-подвижная опора. Реакция в шарнирно-подвижной опоре. Шарнирно-неподвижная опора. Реакция в шарнирно-неподвижной опоре. Жесткая заделка (защемление). Реакция в жесткой заделке. Возможные варианты крепления балки при условии, что система является статически определимой. Однопролетная (простая) балка. Консольная балка (консоль).

Метод определения опорных реакций в случае, когда система статически определима.

Внутренние силовые факторы, возникающие в поперечном сечении балки при ее изгибе: изгибающий момент и поперечная сила. Методика определения поперечной силы. Правило знаков при определении величины поперечной силы. Эпюра поперечных сил. Методика построения эпюры поперечных сил. Методика определения изгибающего момента. Правило знаков при определении величины изгибающего момента. Методика построения эпюры изгибающих моментов.

Геометрические характеристики плоских сечений. Статические моменты площади. Центральные оси. Моменты инерции плоских сечений: осевые, полярные и центробежные. Единица измерения плоских моментов инерции. Свойства моментов инерции. Главные оси инерции. Главные центральные оси инерции. Главные моменты инерции. Моменты инерции простейших наиболее распространенных плоских сечений: прямоугольника, круга и кругового кольца. Моменты сопротивления: осевые и полярные. Осевые моменты сопротивления простейших наиболее распространенных плоских сечений: прямоугольника, круга и кругового кольца. Полярные моменты сопротивления при изгибе для круга и кругового кольца.

Напряжения при изгибе. Расчеты на прочность при изгибе. Плоскость изгиба. Напряжения в слое, отстоящем на некотором расстоянии от нейтрального (по закону Гука). Кривизна изогнутой балки. Жесткость сечения при изгибе. Максимальные напряжения при изгибе. Условие прочности при изгибе.

Перемещения при изгибе. Прогиб балки. Угол поворота сечения. Упругая линия балки. Уравнение связи кривизны оси изогнутой балки с изгибающим моментом и жесткостью сечения. Приближенное дифференциальное уравнение изогнутой оси балки. Уравнение для определения угла поворота сечения. Уравнение для определения величины прогиба балки. Допускаемый прогиб при расчетах балки на жесткость.

Чистый сдвиг и его особенности. Площадки чистого сдвига. Деформация сдвига. Величина касательного напряжения при сдвиге. Абсолютный (линейный) сдвиг. Относительный сдвиг. Закон Гука при сдвиге. Модуль упругости второго рода. Размерность модуля упругости второго рода. Условие прочности при сдвиге. Допускаемое напряжение при сдвиге, выраженное через допускаемое напряжение при растяжении.

Кручение стержня круглого поперечного сечения. Деформация кручения. Основные свойства деформации кручения в пределах упругих деформаций (недеформируемость оси кручения; неизменность плоскостности поперечных сечений; пропорциональность между углом поворота сечения и расстоянием от этого сечения до закрепленного конца цилиндра; пренебрежимо малая величина нормальных напряжений при

кручении). Определение величины крутящих моментов в поперечных сечениях круглого стержня. Построение эпюры крутящих моментов.

Расчеты на прочность и жесткость при кручении. Кручение круглого цилиндра. Абсолютный сдвиг элемента. Относительный сдвиг. Относительный угол закручивания. Закон Гука при кручении. Эпюра напряжений по поперечному сечению цилиндра. Элементарная касательная сила. Элементарный момент. Крутящий момент в рассматриваемом сечении цилиндра. Относительный угол закручивания. Полный угол закручивания. Жесткость при кручении. Зависимость напряжения от крутящего момента. Наибольшее напряжение при кручении. Условие прочности при кручении. Связь величины допускаемого напряжения при кручении с величиной допускаемого напряжения при растяжении. Формула для определения минимально допускаемого диаметра цилиндра при чистом кручении. Расчет на жесткость при кручении (по допускаемому углу закручивания на единицу длины цилиндра).

Понятие о теории прочности. Эквивалентное линейное напряженное состояние. Теория наибольших линейных деформаций (вторая теория прочности). Основная причина разрушения материала по второй теории прочности. Условие прочности по второй теории прочности. Материалы, для которых применима вторая теория прочности. Теория наибольших касательных напряжений (третья теория прочности). Основная причина разрушения материала по третьей теории прочности. Условие прочности по третьей теории прочности. Материалы, для которых применима третья теория прочности. Энергетическая теория формоизменения (четвертая теория прочности). Критерий прочности по четвертой теории прочности. Условие прочности по четвертой теории прочности. Материалы, для которых применима четвертая теория прочности.

Расчет бруса на прочность при одновременном действии на него изгиба и растяжения (сжатия).

Расчет круглой балки на прочность при одновременном действии на нее изгиба и кручения. Построение эпюр изгибающих моментов в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Построение результирующей эпюры изгибающих моментов. Определение максимальных значений нормальных напряжений от изгиба в опасных сечениях балки. Определение максимальных значений касательных напряжений от кручения в опасных сечениях балки. Определение эквивалентного напряжения по одной из теорий прочности.

Определение величины коэффициента запаса прочности (коэффициента безопасности) при проверочном расчете балки при одновременном действии на нее изгиба и кручения.

Виды местных напряжений. Концентрация напряжений. Причины, вызывающие концентрацию напряжений. Концентраторы напряжений. Номинальное напряжение. Коэффициент концентрации. Теоретический коэффициент концентрации напряжений. Эффективный коэффициент концентрации напряжений. Концентрация напряжений при растяжении (сжатии). Концентрация напряжений при изгибе. Концентрация напряжений при кручении. Методы борьбы с концентрацией напряжений.

Контактные напряжения. Допущения, принимаемые при определении величины контактных напряжений при сжатии двух шаров и при сжатии двух цилиндров, соприкасающихся по образующей. Формулы для определения величины максимальных значений контактных напряжений при сжатии двух шаров и при сжатии двух цилиндров, соприкасающихся по образующей внешним и внутренним образом.

Напряжения смятия. Формула для определения напряжения смятия.

Основные понятия об усталостной прочности. Циклические нагрузки. Цикл напряжений. Частота изменения напряжений. Период цикла. Характер разрушения материала при воздействии на него циклических нагрузок. Усталость материала. Циклическая прочность (выносливость). Предел выносливости. Основные параметры цикла. Максимальное напряжение цикла. Минимальное напряжение цикла. Среднее напряжение цикла. Амплитуда цикла. Коэффициент асимметрии цикла. Симметричный цикл. Пульсирующий (отнулевой) цикл. Постоянное напряжение.

Предел выносливости при симметричном цикле. Кривая выносливости. Базовое число циклов. Предел выносливости. Долговечность. Предельные циклы напряжений. Диаграмма предельных напряжений. Подобные циклы.

Факторы, влияющие на величину предела выносливости. Влияние концентрации напряжений. Эффективный коэффициент концентрации напряжений.

Теоретический коэффициент концентрации напряжений. Зависимость между теоретическим и эффективным коэффициентами концентрации напряжений. Коэффициент чувствительности материала и концентрации напряжений. Взаимосвязь между прочностью стали и ее чувствительностью к концентрации напряжений. Влияние абсолютных размеров детали. Масштабный фактор (коэффициент влияния абсолютных размеров сечения). Причины влияния абсолютных размеров детали на величину предела выносливости материала этой детали. Влияние состояния поверхности. Причины влияния состояния поверхности детали на величину предела выносливости материала этой детали. Коэффициент состояния поверхности. Общий коэффициент изменения предела

выносливости при симметричном цикле. Действительный предел выносливости детали.

Расчеты на прочность при переменных напряжениях. Порядок расчета элемента конструкции, находящейся под действием переменных нагрузок. Коэффициент запаса прочности (коэффициент безопасности) по нормальным напряжениям при симметричном цикле. Коэффициент запаса прочности по касательным напряжениям при симметричном цикле. Коэффициент запаса прочности при сложном напряженном состоянии при симметричном цикле. Коэффициенты, характеризующие чувствительность материала к асимметрии цикла. Коэффициент запаса прочности по нормальным напряжениям при несимметричном цикле. Коэффициент запаса прочности по касательным напряжениям при несимметричном цикле. Коэффициент запаса прочности при сложном напряженном состоянии при несимметричном цикле. Коэффициент запаса прочности по нормальным напряжениям при сопротивлении пластическим деформациям. Коэффициент запаса прочности по касательным напряжениям при сопротивлении пластическим деформациям. Коэффициент запаса прочности по сопротивлению пластическим деформациям при сложном напряженном состоянии.

Рекомендуемая литература: [14–16].

Методические указания

«Сопротивление материалов» является разделом механики деформируемого твердого тела, в котором рассматриваются методы расчета типовых элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость.

Первой стадией создания машины, сооружения является проектирование, в процессе которого расчетным путем определяют размеры отдельных элементов конструкций. Проектируемая конструкция должна быть надежной в заданных условиях функционирования в течение заданного срока.

Круг задач, решаемых методами сопротивления материалов, включает в себя задачи расчета безопасных нагрузок, определения надежных размеров элементов, обоснования выбора наиболее подходящих материалов. Для этого необходимо выявить закономерности распределения внутренних усилий и соответствующих им геометрических изменений в элементах в зависимости от их формы и размеров, вида, характера, места приложения, величины и направления нагрузок, определить меры изменения усилий и деформаций и сопоставить их с механическими характеристиками реальных конструкционных материалов.

Особенностью постановки задач в сопротивлении материалов является широкая экспериментальная проверка предлагаемых решений. Методы сопротивления материалов изменяются вместе с возникновением новых задач и требований практики

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Перечислите критерии работоспособности детали.
2. Чем отличаются внешние нагрузки от внутренних сил?
3. При помощи какого метода определяются внутренние силы?
4. Какие факторы не учитывают основные гипотезы и допущения, принимаемые в сопротивлении материалов?
5. Что называется *напряжением в поперечном сечении стержня* при его растяжении или при его сжатии?
6. Назовите основные механические характеристики материала.
7. Каким образом производится испытание образца на растяжение?
8. Что представляет собой условная диаграмма растяжения пластичных материалов, и каковы характеристики ее отдельных участков?
9. Что представляет собой модуль продольной упругости?
10. Чем отличается условная диаграмма растяжения хрупких материалов от условной диаграммы растяжения пластичных материалов?
11. Для каких материалов определение твердости материала производится по методу Бринелля, а для каких – по методу Роквелла?
12. Что такое *ударная вязкость*?
13. В каких опорах реакцию делят на составляющие по осям, а в какой – нет?
14. Каковы возможные варианты крепления балки (возможное сочетание опор балки) при условии определимости системы?
15. Какой изгиб называется *чистым*, а какой – *поперечным*?
16. Какая плоскость называется *силовой*?
17. Какой слой называется *нейтральным*?
18. Какая ось называется *нейтральной*?
19. Каким образом определяют реакции в опорах двухопорных балок?
20. Каким образом определяют реакции в опоре консольной балки?
21. Каким образом строятся эпюры поперечных сил, действующих на балку?
22. Каким образом строятся эпюры изгибающих моментов, действующих на балку?
23. Какое сопротивление называют *сложным*?
24. В чем заключается задача теорий прочности?
25. Какие теории прочности существуют?

26. Как в случае плоского напряженного состояния найти эквивалентные напряжения по третьей и четвертой теориям прочности?
27. Почему существуют несколько теорий прочности?
28. Какие напряжения называют *местными* и как их определяют?
29. Какие виды местных напряжений существуют?
30. Что называют *концентрацией напряжений*?
31. Что такое *концентратор напряжения*?
32. Какое напряжение называют *номинальным*?
33. Что называют теоретическим коэффициентом концентрации напряжений?
34. Что называют эффективным коэффициентом концентрации напряжений?
35. Как определить коэффициенты концентрации (теоретический и эффективный)?
36. Какие напряжения называют *контактными* и как определить их величину?
37. Какие нагрузки называют *циклическими*?
38. Каковы основные характеристики цикла?
39. Что называют *пределом выносливости материала*?
40. Как предел выносливости связан с пределом прочности?
41. Как строится кривая выносливости материала (кривая Веллера)?
42. Что называют *ограниченным пределом выносливости*?
43. Какие факторы влияют на величину предела выносливости?
44. Как определить величину коэффициента запаса прочности при симметричном цикле по нормальным напряжениям?
45. Как определить величину коэффициента запаса прочности при симметричном цикле по касательным напряжениям?
46. Как определить величину коэффициента запаса прочности при симметричном цикле?
47. Какие мероприятия проводят для повышения сопротивления усталости проектируемых деталей?
48. В чем заключается расчет деталей на сопротивление усталости?

Тема 2.3. Теория машин и механизмов

Введение. Общие сведения. Структура элементов механизмов. Машина. Механизм. Звено механизма. Входные и выходные звенья механизма. Ведущие и ведомые звенья. Кинематическая пара. Классификация кинематических пар по числу степеней свободы и числу связей. Низшие и высшие пары. Кинематические цепи. Кинематические соединения.

Классификация механизмов. Плоские и пространственные механизмы с низшими парами. Механизмы с высшими кинематическими парами (кулачковые, зубчатые, фрикционные механизмы). Механизмы с гибкими звеньями. Гидравлические и пневматические механизмы.

Обобщенные координаты механизма. Начальные звенья. Число степеней свободы механизма. Механизмы с избыточными связями. Местные подвижности механизма. Структурный синтез механизмов. Структурные группы Ассура.

Задачи кинематического анализа механизмов. Методы кинематического анализа механизмов: метод преобразования координат точек звеньев в матричной форме, метод замкнутого векторного контура, метод планов. Особенности кинематического анализа механизмов с высшими кинематическими парами. Кинематический анализ зубчатых и волновых механизмов.

Назначение силового расчета. Характеристика сил, действующих на звенья механизмов. Условие статической определимости кинематических цепей. Последовательность силового анализа механизмов. Силовой анализ механизмов с учетом трения в кинематических парах. Метод Жуковского. Мгновенный и общий коэффициенты полезного действия (КПД) механизма. Условие самоторможения и заклинивания механизма. КПД механизмов при параллельном и последовательном соединениях.

Коэффициент полезного действия (КПД) механизма. Коэффициент потерь. КПД сложного механизма, состоящего из N последовательно соединенных простых механизмов, КПД которых известны.

Основные принципы образования сопряженных поверхностей зубьев. Теорема плоского зацепления (теорема Виллиса). Кинематическое условие сопряженности зацеплениях. Образование сопряженных поверхностей по Оливье. Цилиндрическая зубчатая передача. Эвольвентное зацепление. Основные размеры зубьев. Геометрический расчет зубчатой передачи при заданных смещениях. Особенности внутреннего зацепления. Подрезание зубьев. Косозубые колеса. Эвольвентная коническая передача. Передачи с зацеплением Новикова. Начальные поверхности. Виды гиперболоидных передач. Способы изготовления зубчатых колес. Дифференциальные и планетарные зубчатые передачи. Выбор схемы планетарной передачи. Выбор чисел зубьев в планетарных передачах. Синтез бесступенчатых передач с замкнутым дифференциалом. Планетарные коробки передач.

Виды кулачковых механизмов и их особенности. Закон перемещения толкателя и его выбор. Угол давления и коэффициент возрастания сил в кинематических парах. Выбор допускаемого угла давления. Определение размеров кулачкового механизма по заданному допускаемому

углу давления. Определение профиля кулачка по заданному закону движения ведомого звена. Условие качения ролика.

Рекомендуемая литература: [12, 13, 22, 23].

Методические указания

В разделе «Теория механизмов и машин» рассматриваются вопросы теории механизмов и машин, в которой положения общей механики применяются при изучении особых механических систем, называемых механизмами.

Изучаются структура, кинематика и динамика механизмов и машин. Изучаются общие методы их анализа, с помощью которых исследуются кинематические и динамические характеристики заданного механизма. Определяются схема, основные размеры звеньев и другие параметры конструируемого механизма по заданным характеристикам.

Приступая к изучению раздела «Основы теории механизмов и машин», следует в общих чертах представить его содержание, связь с другими разделами курса «Теория механизмов и машин».

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какой механизм называют *начальным*?
2. Чему равна степень подвижности начального механизма?
3. На какие виды делятся начальные механизмы?
4. Что входит в состав вращательного начального механизма?
5. Из чего состоит поступательный начальный механизм?
6. Как по классификации Асура-Артоболевского определяется класс механизма?
7. Изменяется ли класс механизма в зависимости от выбора начального механизма?
8. От чего зависит количество начальных механизмов в структуре механизма?
9. Что входит в структурную формулу механизма?
10. В какой последовательности выполняется структурный анализ механизма?
11. Какие звенья механизма могут быть приняты входными?
12. Дайте определение звеньям механизма: *кривошип, шатун, коромысло, ползун*.
13. Приведите определение *звена, кинематической пары, кинематической цепи*.
14. Назовите основные плоские кинематические пары, объясните деление пар на высшие и низшие, покажите возможные и невозможные

движения звеньев пар относительно друг друга. Приведите пример пространственной пары.

15. Какие кинематические цепи, замкнутые или незамкнутые, используют обычно для механизмов? Приведите определение механизма.

16. Объясните физический смысл числовых коэффициентов в структурной формуле. Почему число звеньев, закон движения которых задается внешним образом, должно быть равно числу степеней свободы механизма? Можно ли в механизме с одной степенью свободы изменить положение звеньев, не меняя положения входного звена?

17. Приведите пример пространственного механизма и покажите на нем движения звеньев, отличающие его от плоского механизма.

18. В каких случаях применяется формула Сомова – Малышева, а в каких – формула Чебышева?

19. Постройте планы положений кривошипно-ползунного механизма и шарнирного четырехзвенника. Проследите, как меняется ход ведомого звена при изменении размеров звеньев механизма.

20. Постройте планы скоростей и план ускорений для шарнирного четырехзвенника и для кривошипно-ползунного механизма. Определите числовое значение угловой скорости и углового ускорения шатуна и их направление. Как следует определять скорость (ускорение) третьей точки звена при известных векторах скоростей (ускорений) двух точек этого звена, используя свойство подобия?

21. Как определяются величины и направление реакций в кинематических парах плоского рычажного механизма методом планов сил?

22. Для чего предназначены механизмы со ступенчатым соединением круглых колес?

23. Чем отличается передаточное отношение от передаточного числа?

24. Как определить величины линейных скоростей точек колес и угловых скоростей колес механизмов со ступенчатым соединением круглых колес графоаналитическим методом кинематического анализа?

25. На какие виды делится трение?

26. Приведите формулу закона Амонтона – Кулона.

27. Что такое *угол* и *конус трения*?

28. Дайте определение *коэффициента полезного действия* (КПД).

29. Как определяется величина среднего значения КПД?

30. Как определяется величина мгновенного значения КПД?

31. Как определяется величина КПД составного механизма при последовательном соединении простых механизмов?

32. Как определяется величина КПД составных механизмов при параллельном соединении простых механизмов с различными КПД?

Тема 2.4. Передаточные механизмы

Фрикционная передача. Принцип работы фрикционной передачи. Разновидности фрикционных передач. Достоинства фрикционных передач. Недостатки фрикционных передач. Области применения фрикционных передач.

Фрикционные вариаторы. Принцип действия фрикционных вариаторов. Области применения фрикционных вариаторов.

Кинематика фрикционной передачи. Коэффициент скольжения. Передаточное отношение фрикционной цилиндрической передачи. Передаточное отношение конической фрикционной передачи.

Усилия во фрикционных передачах. Момент сопротивления. Полезная окружная сила. Усилие прижатия катков. КПД фрикционных передач и вариаторов. Виды повреждения элементов фрикционной передачи.

Критерии работоспособности фрикционной передачи. Расчет фрикционной передачи на прочность по контактным напряжениям. Расчет фрикционных передач на износостойкость.

Классификация ременных передач (по форме поперечного сечения ремня). Типы приводных ремней. Клиновые ремни. Их разновидности. Достоинства ременных передач. Недостатки ременных передач. Области применения ременных передач.

Геометрия ременной передачи. Принцип действия ременной передачи.

Усилия в ветвях ременной передачи при холостом ходе. Усилия в ременной передаче под нагрузкой. Упругое скольжение. Дуги скольжения. Углы скольжения. Буксование. Натяжение ветвей ремня. Напряжения в ремне. Кинематика ременных передач. Передаточное отношение ременной передачи.

Основные критерии работоспособности ременной передачи: тяговая способность и долговечность ремней. Расчет плоскоременной передачи по тяговой способности. Расчет клиноременной передачи по тяговой способности. Расчет ремня на циклическую долговечность.

КПД ременной передачи. Давления на валы в ременных передачах. Шкивы ременных передач.

Области применения цепных передач. Классификация цепей по их назначению. Разновидности приводных цепей. Конструкция роликовой приводной цепи. Маркировка роликовых приводных цепей.

Звездочки цепных передач. Материалы деталей цепей и звездочек.

Кинематика цепной передачи.

Усилия в цепной передаче. Окружное усилие. Сила натяжения. Динамическая нагрузка. Причина появления динамической нагрузки.

Нагрузка на валы цепной передачи. Основные параметры цепной передачи.

Вид повреждений элементов цепной передачи. Критерии работоспособности цепной передачи.

Порядок проектирования цепной передачи (по износостойкости элементов передачи).

Методы регулировки натяжения цепной передачи. Способы смазки цепной передачи.

Общие сведения. Области применения. Разновидности зубчатых передач. Достоинства зубчатых передач по сравнению с передачами других видов. Недостатки зубчатых передач.

Зубчатое зацепление. Шестерня. Колесо. Тело зубчатого колеса. Венец зубчатого колеса. Профиль зуба. Основной закон зацепления. Передаточное отношение. Условие постоянства передаточного отношения. Полус зацепления. Сопряженные профили.

Эвольвентное зацепление. Эвольвента. Эволюта. Основная окружность. Радиусы кривизны эвольвенты. Линия зацепления. Угол зацепления. Эвольвентное зацепление с круглыми колесами и его свойства. Начальные окружности. Взаимосвязь начальной и основной окружностей эвольвентного круглого колеса. Межосевое расстояние. Шаг по основной окружности. Коэффициент перекрытия. Исходный контур. Параметры исходного контура. Модуль. Взаимосвязь между модулем и шагом. Окружность впадин. Окружность вершин зуба. Зуб. Головка зуба. Ножка зуба. Угловой шаг. Окружная толщина зуба. Окружная ширина впадины. Окружной шаг. Окружной модуль. Делительная окружность. Делительный модуль (модуль). Передаточное число. Определение геометрических параметров эвольвентной цилиндрической прямой зубой передачи через модуль, число зубьев шестерни, передаточное число и угол зацепления.

Методы изготовления зубчатых колес. Метод копирования. Метод обкатки.

Косозубая цилиндрическая передача. Образование боковой поверхности зуба косозубого колеса. Поле зацепления. Делительная линия зуба. Делительный угол наклона линии зуба. Делительный окружной шаг. Нормальный шаг. Связь между окружным и нормальным шагами. Осевой шаг. Связь между нормальным и осевым шагами. Окружной модуль. Нормальный модуль. Связь между нормальным, окружным и осевым модулями. Определение межосевого расстояния, диаметра делительной окружности, диаметра окружности вершин, диаметра окружности впадин через нормальный модуль, число зубьев шестерни, передаточное число и делительный угол наклона линии зуба. Коэффициент

перекрытия косозубой цилиндрической передачи. Получение прямозубой цилиндрической передачи, эквивалентной косозубой цилиндрической передаче. Эквивалентное число зубьев.

Шевронная передача. Особенности ее геометрии.

Сила в зацеплении эвольвентной цилиндрической прямозубой передачи. Определение составляющих силы в зацеплении через крутящий момент на шестерне (или на колесе) и геометрические параметры передачи.

Виды разрушений зубьев: контактное выкрашивание, абразивный износ, заедание, пластический сдвиг, отслаивание поверхностных частиц материала зуба, излом (усталостный и от перегрузок).

Материалы зубчатых колес и их термическая или химикотермическая обработка. Допускаемые контактные напряжения. Допускаемые напряжения изгиба для нереверсивных передач. Допускаемые напряжения изгиба для реверсивных передач. Номинальная нагрузка. Расчетная нагрузка. Коэффициент нагрузки. Составляющие коэффициента нагрузки: коэффициент неравномерности распределения нагрузки, коэффициент динамичности, коэффициент, учитывающий одновременное участие в передаче нагрузки нескольких пар зубьев.

Расчет на контактную прочность активных поверхностей зубьев. Условие прочности. Формула Герца. Нормальная сила в зацеплении. Радиусы кривизны эвольвент. Приведенный радиус кривизны. Формула для определения минимально допускаемого диаметра шестерни. Формула для определения минимально допускаемого межосевого расстояния.

Особенности расчета эвольвентной косозубой цилиндрической передачи на контактную прочность.

Расчет зубьев эвольвентной цилиндрической прямозубой передачи по изгибным напряжениям. Условие прочности при изгибе. Составляющая нормальной силы, изгибающая зуб. Составляющая нормальной силы, сжимающая зуб. Опасное сечение при изгибе. Изгибающий момент, действующий на зуб. Формула для определения напряжений изгиба в опасном сечении. Формула для определения напряжений сжатия в зубе. Формула для определения суммарного номинального напряжения на растянутой стороне зуба. Коэффициент формы зуба. Зависимость величины коэффициента формы зуба от числа зубьев. Напряжения в опасном сечении с учетом концентрации.

Особенности расчета эвольвентной косозубой цилиндрической передачи на контактную прочность по сравнению с расчетом эвольвентной прямозубой цилиндрической передачи. Особенности расчета эвольвентной косозубой цилиндрической передачи на изгибную прочность по сравнению с расчетом эвольвентной прямозубой цилиндрической передачи.

Конические передачи. Области применения. Разновидности конических передач. Особенности компоновки механизма с коническими колесами.

Ортогональные конические передачи. Начальные конуса. Углы при вершинах начальных конусов. Делительные конусы. Конусы вершин. Конусы впадин. Конусное расстояние. Передаточное отношение конической ортогональной передачи. Определение величины передаточного отношения через диаметры начальных конусов, через углы при вершинах начальных конусов. Наружные дополнительные конусы. Средние дополнительные конусы. Расчетный дополнительный конус. Диаметр делительной окружности на наружном дополнительном конусе. Максимальный модуль. Диаметр делительной окружности на среднем дополнительном конусе. Средний расчетный модуль. Высота делительной головки зуба на наружном дополнительном конусе. Высота делительной головки зуба на среднем дополнительном конусе. Высота делительной ножки зуба на наружном дополнительном конусе. Высота делительной ножки зуба на среднем дополнительном конусе. Получение цилиндрической зубчатой передачи, эквивалентной ортогональной конической передаче. Выражение параметров эквивалентной цилиндрической передачи через параметры ортогональной конической передачи.

Составляющие силы, действующей в зацеплении ортогональной прямозубой конической передачи.

Расчет прямозубой конической ортогональной передачи на контактную прочность.

Расчет зубьев конической ортогональной прямозубой передачи по напряжениям изгиба.

Червячные передачи. Области применения. Разновидности червячных передач. Достоинства червячных передач по сравнению с другими зубчатыми передачами. Недостатки червячных передач по сравнению с другими зубчатыми передачами.

Червячная передача с цилиндрическим архимедовым червяком. Однозаходный червяк. Многозаходные червяки. Геометрия червячной передачи с цилиндрическим архимедовым червяком. Основные геометрические и кинематические соотношения в червячной передаче с цилиндрическим архимедовым червяком.

Составляющие силы, действующие в зацеплении червячной передачи с цилиндрическим архимедовым червяком.

Материалы, применяемые для изготовления червячных передач.

Допускаемые напряжения.

Расчет зубьев колеса червячной передачи с цилиндрическим архимедовым червяком на контактную прочность.

Расчет зубьев колеса червячной передачи с цилиндрическим архимедовым червяком по напряжениям изгиба.

КПД червячной передачи. Тепловой расчет червячной передачи.

Рекомендуемая литература: [1, 4, 17–21].

Методические указания

Приступая к изучению раздела «Передаточные механизмы», прежде всего, необходимо уяснить его основную задачу и связь с другими разделами курса, а также с другими общетехническими и специальными дисциплинами.

В разделе «Передаточные механизмы с круглыми колесами» нужно ознакомиться с принципиальными основами расчета и проектирования передач механических приводов машин. Рационально спроектированный и правильно изготовленный привод должен быть долговечным, ремонтпригодным, экономичным в эксплуатации, безопасным при обслуживании и иметь минимально возможные габариты.

С учетом одного или нескольких вышеперечисленных критериев и ведется расчет, цель которого – определение размеров элементов передач привода. При этом расчеты необходимо увязывать с экономическими требованиями, так как детали должны быть работоспособны в течение всего заданного срока службы при минимальных затратах на их изготовление и эксплуатацию.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Каков принцип работы фрикционного механизма?
2. В чем заключается условие надежной работы фрикционного механизма?
3. Каким образом производится определение необходимой силы прижатия катков фрикционной пары?
4. В чем заключаются достоинства и недостатки фрикционных передач по сравнению с другими видами передач?
5. В каких областях применяются фрикционные передачи?
6. Какие материалы используют в качестве материала катков фрикционных передач?
7. Укажите взаимосвязь между геометрическими и кинематическими параметрами фрикционной передачи с цилиндрическими катками.
8. Укажите взаимосвязь между геометрическими и силовыми параметрами фрикционной передачи с цилиндрическими катками.
9. Каковы критерии работоспособности фрикционных передач?

10. Как производится расчет фрикционной передачи с цилиндрическими катками по контактной прочности?
11. Какие передачи называют *передачами с гибкими звеньями*?
12. По каким признакам классифицируют ременные передачи?
13. В чем заключаются достоинства и недостатки ременных передач по сравнению с другими видами передач?
14. Укажите области применения ременных передач.
15. Объясните принцип работы ременной передачи.
16. Укажите основные геометрические параметры и их взаимосвязь.
17. Зачем создается начальное натяжение ремня?
18. Какие усилия появляются в различных участках ремня при начальном натяжении ремня и при работе ременной передачи под нагрузкой?
19. Почему возникает упругое проскальзывание ремня по шкивам?
20. Как определить напряжения на различных участках ремня ременной передачи при холостом ходе и под нагрузкой?
21. Какая взаимосвязь существует между кинематическими и геометрическими параметрами ременной передачи?
22. Каковы критерии работоспособности ременных передач?
23. Как производится расчет ременной передачи по тяговой способности?
24. В чем заключаются особенности расчета клиноременной передачи по сравнению с расчетом плоскоременной передачи?
25. Сформулируйте основную теорему зацепления.
26. Каково следствие из основной теоремы зацепления?
27. Покажите взаимосвязь между геометрическими параметрами цилиндрической эвольвентной прямозубой передачи.
28. Укажите виды разрушений зубьев.
29. Покажите взаимосвязь между допускаемыми контактными напряжениями, твердостью и пределом выносливости.
30. Как определить допускаемые напряжения изгиба для реверсивной и для нереверсивной зубчатых передач?
31. Что представляет собой эвольвента окружности, и какими свойствами она обладает?
32. Почему эвольвентное зацепление обеспечивает постоянство мгновенного значения передаточного отношения?
33. В чем заключается причина невлияния изменения межосевого расстояния в эвольвентной цилиндрической передаче на величину мгновенного значения передаточного отношения?

34. Укажите, какие геометрические параметры эвольвентной цилиндрической прямозубой передаче стандартизуются.
35. Какова взаимосвязь между этими геометрическими параметрами эвольвентной цилиндрической прямозубой передаче?
36. Как производится силовой расчет цилиндрической эвольвентной прямозубой передачи?
37. Как производится определение составляющих нормальной силы в зацеплении?
38. Как производится расчет эвольвентной цилиндрической прямозубой передачи по контактным напряжениям?
39. Как определяется величина контактного напряжения?
40. Как производится расчет цилиндрической эвольвентной прямозубой передачи по изгибным напряжениям?
41. Выводите формулу для определения величины изгибных напряжений в цилиндрической эвольвентной прямозубой передаче.
42. В чем заключаются особенности геометрии цилиндрических эвольвентных косозубых передач по сравнению с прямозубыми?
43. Укажите геометрические параметры эвольвентной цилиндрической косозубой передачи и их взаимосвязь.
44. Как произвести силовой расчет косозубой цилиндрической эвольвентной передачи?
45. Как производится определение величин составляющих нормальной силы в зацеплении?
46. В чем заключаются особенности работы косозубой цилиндрической эвольвентной передачи по сравнению с работой прямозубой цилиндрической эвольвентной передачи?
47. В чем заключаются особенности расчета косозубой цилиндрической эвольвентной передачи на контактную прочность по сравнению с расчетом прямозубой цилиндрической эвольвентной передачи?
48. В чем заключаются особенности расчета косозубой цилиндрической эвольвентной передачи на изгибную прочность по сравнению с аналогичным расчетом прямозубой цилиндрической эвольвентной передачи?
49. Что представляет собой ортогональная коническая прямозубая передача? Каковы геометрические параметры этой передачи и их взаимосвязь?
50. Как производится силовой расчет ортогональной конической прямозубой эвольвентной передачи? Как определяются величины составляющих нормальной силы в зацеплении ортогональной конической прямозубой эвольвентной передачи?

51. В чем заключаются особенности расчета ортогональной конической прямозубой передачи на контактную прочность по сравнению с аналогичным расчетом прямозубой цилиндрической эвольвентной передачи?

52. В чем заключаются особенности расчета ортогональной конической прямозубой передачи на изгибную прочность по сравнению с аналогичным расчетом прямозубой цилиндрической эвольвентной передачи?

53. Что представляют собой червячные передачи?

54. В чем заключаются достоинства и недостатки червячных передач по сравнению с другими видами передач?

55. Укажите области применения червячных передач.

56. Укажите геометрические параметры червячной передачи с архимедовым червяком и их взаимосвязь.

57. В чем заключается особенность определения передаточного числа червячной передачи?

58. Как производится силовой расчет червячной передачи с архимедовым червяком?

59. Как производится определение составляющих нормальной силы в зацеплении червячной передачи с архимедовым червяком?

60. Как производится расчет червячной передачи с архимедовым червяком по контактной прочности?

61. Как производится расчет червячной передачи с архимедовым червяком по напряжениям изгиба?

62. Как определить КПД червячной передачи с архимедовым червяком?

63. В чем проявляется явление самоторможения.

64. Почему производится тепловой расчет червячной передачи с архимедовым червяком и как он производится?

Тема 2.5. Детали машин

Критерии работоспособности элементов конструкций. Деталь. Сборочная единица (узел). Прочность детали. Жесткость детали. Износостойкость детали.

Машиностроительные материалы. Сталь. Углеродистая сталь. Углеродистые стали обыкновенного качества. Стали группы «А». Стали группы «Б». Стали группы «В». Маркировка углеродистых сталей обыкновенного качества. Качественные углеродистые стали. Качественные низкоуглеродистые стали. Качественные среднеуглеродистые стали. Качественные высокоуглеродистые стали. Маркировка каче-

ственных углеродистых сталей. Легированные стали. Маркировка легированных сталей. Сплавы.

Термическая обработка сталей. Отжиг. Нормализация. Закалка. Отпуск. Химико-термическая обработка сталей. Цементация. Азотирование. Цианирование. Борирование.

Чугун. Серый чугун. Маркировка серого чугуна. Медные сплавы. Латунь. Маркировка латуней. Бронзы. Маркировка бронз.

Взаимозаменяемость и стандартизация. Размеры. Номинальный размер. Предельные размеры. Отклонения. Действительное отклонение. Предельное отклонение. Верхнее отклонение. Нижнее отклонение. Допуск. Поле допуска. Квалитет.

Посадка. Посадки с зазором. Посадки с натягом. Переходные посадки. Система отверстия. Запись посадки в системе отверстия. Система вала. Запись посадки в системе вала. Внесистемные посадки. Запись внесистемной посадки.

Точность геометрической формы деталей. Отклонение поверхностей. Отклонения от формы (отклонения от прямолинейности, плоскостности, круглости и др.). Отклонения расположения поверхностей или частей деталей (отклонения от параллельности, перпендикулярности, наклона, соосности и т.п.). Суммарные отклонения формы и расположения (радиальное и торцевое биение и др.).

Обозначения предельных отклонений на чертежах. Неровности. Волнистость и шероховатость. Основные параметры для оценки шероховатости. Обозначение шероховатости на чертежах.

Виды неразъемных соединений. Требования, предъявляемые к неразъемным соединениям.

Соединения заклепками. Области применения заклепочных соединений. Разновидности заклепок. Материалы, применяемые для изготовления заклепок. Виды заклепочных соединений. Виды повреждений заклепочных соединений и критерии их работоспособности. Расчет заклепочного соединения по напряжениям среза заклепок. Расчеты заклепочного соединения по напряжениям смятия боковых поверхностей заклепок и по напряжениям разрыва соединяемых листов по наиболее нагруженным сечениям. Определение минимально допускаемого расстояния заклепочного шва от края соединяемых листов.

Сварные соединения. Виды сварки (газовая, электродуговая, электроконтактная). Их характеристики. Области применения сварных соединений. Достоинства и недостатки сварных соединений. Виды сварных соединений: стыковые, нахлесточные, тавровые, угловые. Односторонний шов. Двусторонний шов. Разновидности сварных швов по расположению шва относительно нагрузки: фронтальные, фланговые, косые,

комбинированные. Достоинства и недостатки сварных соединений. Материалы и допускаемые напряжения. Расчеты на прочность стыковых фронтального и углового швов. Расчет на прочность нахлесточных сварных соединений (фронтальных и фланговых). Расчет на прочность таврового сварного соединения. Расчет на прочность точечного сварного шва.

Резьбовые соединения. Достоинства и недостатки резьбовых соединений.

Резьба и ее параметры. Разновидности резьбы по форме профиля резьбы. Правая резьба. Левая резьба. Разновидности резьбы по их назначению. Крепежные резьбы. Ходовые резьбы. Области применения различных видов резьбы.

Крепежные детали и типы соединений. Болты, винты, шпильки, гайки. Соединения болтом, винтом, шпилькой. Назначение шайб. Виды шайб. Конструктивные формы головок болтов, винтов, гаек и шайб. Материалы крепежных деталей. Способы защиты крепежных деталей от коррозии.

Расчеты на прочность элементов резьбы по напряжениям растяжения, среза и смятия. Расчет ненапряженного (незатянутого) резьбового соединения при действии на него осевой нагрузки. Расчет напряженного резьбового соединения при действии на него осевой нагрузки. Расчет ненапряженного болтового беззазорного соединения при действии на него поперечной нагрузки. Расчет напряженного болтового соединения с зазором при действии на него поперечной нагрузки.

Шпоночные соединения. Области применения. Призматические шпонки.

Клиновые шпонки. Сегментные шпонки. Материалы, применяемые для изготовления шпонок. Ненапряженные шпоночные соединения. Напряженные шпоночные соединения. Расчет шпоночного соединения по напряжениям смятия боковых поверхностей. Расчет шпоночного соединения по напряжениям среза.

Шлицевые соединения. Области применения. Разновидности шлицевых соединений по форме поперечного сечения шлицы. Способы центрирования шлицевых соединений. Расчет шлицевого соединения по напряжениям смятия боковых поверхностей.

Штифтовые соединения. Области применения. Виды штифтов. Материалы, применяемые для изготовления штифтов. Расчет штифтового соединения по напряжениям смятия боковых поверхностей. Расчет штифтового соединения по напряжениям среза.

Вал. Его назначение. Ось. Ее назначение. Простой вал (вал). Торсионный вал. Прямой вал. Коленчатый вал. Гибкий вал. Сплошной вал. Конструкция валов и осей. Цапфа. Шип. Шейка. Пята. Требования к цапфам. Упорные буртики. Радиусная галтель. Канавка. Шпоночные

пазы. Шлицы. Материалы валов. Термическая и термохимическая обработки валов.

Критерии работоспособности валов. Статическая прочность. Усталостная прочность. Жесткость. Анतिрезонансные свойства.

Предварительный (проектный) расчет на статическую прочность. Проектирование вала. Построение расчетной схемы.

Определение нагрузок, действующих на вал. Построение эпюр изгибающих и крутящих моментов, действующих на вал. Определение нормальных и касательных напряжений в наиболее опасных сечениях вала. Определение эквивалентных напряжений в наиболее опасных сечениях вала. Определение запаса прочности.

Проверочный расчет вала на усталостную прочность с учетом всех основных факторов, влияющих на усталостную прочность. Допускаемый коэффициент запаса прочности (коэффициент безопасности). Проверка вала на жесткость. Максимальный угол закручивания вала. Уравнение равновесия между центробежной силой и внутренними силами упругости вала. Критическая угловая скорость. Критическая частота вращения вала. Мероприятия, обеспечивающие антирезонансные свойства валов. Допускаемое значение угловой скорости.

Назначение муфт. Классификация муфт. Выбор типа муфты. Подбор муфты по крутящему моменту и точности изготовления и монтажа соединяемых валов.

Общие понятия. Назначение опор. Требования, предъявляемые к опорам. Виды опор.

Подшипники скольжения. Достоинства подшипников скольжения. Недостатки подшипников скольжения. Разновидности подшипников скольжения по виду трения скольжения. Разновидности подшипников скольжения по виду воспринимаемой нагрузки. Виды повреждений и критерии работоспособности подшипников скольжения. Методы оценки надежности подшипников скольжения. Конструкции подшипников скольжения. Материалы деталей подшипников скольжения. Смазочные материалы и методы ввода их в подшипники скольжения.

Подшипники качения. Принцип работы подшипников качения. Устройство подшипников качения. Достоинства и недостатки подшипников качения (по сравнению с подшипниками скольжения). Классификация подшипников качения (по форме тел качения; по направлению воспринимаемых сил; по способности самоустанавливаться; по числу рядов тел качения; по габаритным размерам при одном и том же внутреннем диаметре). Маркировка подшипников качения. Основные эксплуатационные характеристики подшипников качения. Сравнительная оценка

подшипников качения. Точность подшипников качения. Быстроходность подшипников качения. Материалы деталей подшипников качения.

Несущая способность подшипников качения. Основные виды повреждений подшипников качения. Распределение нагрузки между телами качения. Контактные напряжения в подшипниках качения. Статическая грузоподъемность подшипника качения. Эквивалентная нагрузка. Динамическая грузоподъемность подшипника качения. Кривая усталости. Условие прочностной надежности подшипника качения. Номинальная долговечность подшипника качения. Расчетная долговечность подшипника, выраженная в миллионах оборотов вращающегося кольца. Расчетная долговечность подшипника качения, выраженная в часах работы. Коэффициент долговечности, зависящий от степени вероятности безотказной работы. Коэффициент долговечности, зависящий от материалов, применяемых для изготовления деталей подшипника и условий его эксплуатации. Эквивалентная динамическая нагрузка. Приведенная нагрузка для подбора подшипников качения. Подбор подшипников по динамической грузоподъемности. Условие работоспособности подшипника качения. Конструкции подшипниковых узлов. Посадки колец подшипника. Способы фиксации подшипников в корпусе: а) осевым фиксированием вала в двух направлениях в одной опоре, другая опора – плавающая; б) фиксированием вала в двух опорах (в каждой опоре – в одном направлении).

Назначение смазки. Виды смазки: жидкие масла, кальциевые смазки (солидолы), литиевые смазки, натриевые смазки (констатины), твердые смазки. Способы подачи смазочных материалов к деталям и узлам: разовое или периодическое закладывание; окунанием в масляную ванну; подача смазки фитилями или дозирующими масленками; разбрызгиванием; циркуляционная смазка. Условия применения различных способов подачи смазки.

Назначение уплотнений. Уплотнения неподвижных соединений. Уплотнения подвижных соединений. Контактные уплотнения (манжеты, уплотнения по торцевым поверхностям и т.п.). Область применения контактных уплотнений. Конструкции контактных уплотнений. Подбор манжет. Бесконтактные уплотнительные устройства (щелевое уплотнение, лабиринтное уплотнение и т.п.).

Мазеудерживающие кольца. Конструкция мазеудерживающего кольца. Его назначение. Маслоотражательные кольца. Конструкция маслоотражательного кольца. Его назначение.

Рекомендуемая литература: [1, 4, 17–21].

Методические указания

Приступая к изучению раздела «Детали машин», прежде всего, необходимо уяснить его основную задачу и связь с другими разделами курса, а также с другими общетехническими и специальными дисциплинами.

Рационально спроектированная и правильно изготовленная машина должна быть прочной, долговечной, возможно дешевой, экономичной в эксплуатации и безопасной при обслуживании. Одна из основных тенденций современного машиностроения – повышение удельной мощности и быстроходности машин. Однако нужно иметь в виду, что увеличение мощности, быстроходности, а, следовательно, производительности машин, с одной стороны, улучшают их технико-экономические показатели, с другой – повышает динамические нагрузки в деталях и узлах, что требует применения более современных механизмов и передач, высококачественных материалов, более точного изготовления деталей.

В разделе «Детали машин» следует ознакомиться с принципиальными основами расчета деталей машин на прочность, жесткость, устойчивость и износостойкость. С учетом одного или нескольких вышеперечисленных критериев и ведется расчет, цель которого – определение размеров деталей создаваемой машины или механизма. При этом расчеты необходимо увязывать с экономическими требованиями, так как детали должны быть работоспособны в течение всего заданного срока службы при минимальных затратах на их изготовление и эксплуатацию.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Сформулируйте критерии работоспособности элементов конструкций.
2. Какие виды сталей используются при изготовлении машин?
3. С какой целью производят термическую обработку сталей?
4. Какие материалы, кроме сталей, используют при производстве машин?
5. С какой целью стандартизируют детали?
6. Что понимают под термином *взаимозаменяемость*?
7. По каким параметрам классифицируют ошибки?
8. Что понимают под термином *точность размера*?
9. Каким законом описывается распределение случайных ошибок?
10. Какой размер называется *номинальным*?
11. Какой размер называется *действительным*?
12. Какой размер называется *предельным*?

13. Что называется *отклонением размера*?
14. Какая линия называется *нулевой*?
15. Что называется *допуском размера*?
16. Что называется *полем допуска*?
17. Что понимается под термином *кавалитет*?
18. Что называется *соединением*?
19. Какой размер соединения называется *номинальным размером*?
20. Как располагаются поля допусков сопрягаемых деталей в посадках с зазором?
21. Как располагаются поля допусков сопрягаемых деталей в посадках с натягом?
22. Как располагаются поля допусков сопрягаемых деталей в переходных посадках?
23. Как располагаются поля допусков сопрягаемых деталей в посадках, назначенных в системе отверстия?
24. Как располагаются поля допусков сопрягаемых деталей в посадках, назначенных в системе вала?
25. Какие посадки называются *внесистемными*? Укажите примеры их целесообразного назначения.
26. Какие соединения называются *неразъемными*?
27. Какие требования предъявляются к неразъемным соединениям?
28. Перечислите виды заклепочных соединений.
29. Как производится расчет заклепочных соединений по напряжению среза заклепок?
30. Как производится расчет соединяемых заклепками листов на разрыв по наиболее нагруженным сечениям?
31. Как производится расчет заклепочного соединения по напряжениям смятия боковых поверхностей заклепок?
32. В каких случаях применяются сварные соединения различных видов?
33. В чем заключаются достоинства и недостатки сварных соединений по сравнению с другими видами неразъемных соединений?
34. Как производятся расчеты стыкового лобового, флангового стыкового, лобового внахлестку, флангового внахлестку швов?
35. В каких случаях применяют резьбовые соединения?
36. По каким признакам классифицируются резьбы?
37. Как производится расчет элементов резьбы на срез и на смятие при действии на болт осевой нагрузки?
38. Как производится расчет ненапряженного болтового соединения при действии осевой и поперечной нагрузок (если болт поставлен без зазора)?

39. Как производится расчет напряженного болтового соединения при поперечной нагрузке?
40. В каких случаях применяют шпоночные соединения?
41. Какие разновидности шпоночных соединений применяются?
42. Как производится выбор поперечного сечения шпонки?
43. Как производится расчет шпоночных соединений по напряжениям среза и по напряжениям смятия?
44. В каких случаях применяют шлицевые соединения?
45. Перечислите разновидности шлицевых соединений и области их применения.
46. Какие существуют способы центрирования шлицевых соединений?
47. Как производится расчет шлицевого соединения на смятие?
48. В каких случаях применяют штифтовые соединения различных видов?
49. Как производится расчет штифтовых соединений на срез и на смятие?
50. Чем отличаются друг от друга вал и ось?
51. Какие существуют разновидности валов и осей (по их геометрическим осям и по назначению)?
52. Перечислите критерии работоспособности тихоходных (статически нагруженных) и быстроходных валов.
53. Как определяется минимально допустимый диаметр вала по чистому кручению (ориентировочный расчет вала)?
54. Как назначить величины диаметров и осевые размеры различных участков вала при его проектировании?
55. Как определить нагрузки, действующие на валы?
56. Как построить суммарную эпюру изгибающих моментов, действующих на вал?
57. Как построить эпюру крутящих моментов, действующих на вал?
58. Как проверить вал по опасным сечениям? Как определить эквивалентные напряжения в опасных сечениях вала?
59. Как проверить вал по статической прочности (для тихоходных или статически нагруженных валов)?
60. Как провести проверочный расчет вала по усталостной прочности (для быстроходных валов) при пульсирующем цикле нагружений?
61. Как провести проверочный расчет вала по усталостной прочности (для быстроходных валов) при симметричном цикле нагружений?
62. Как производится проектный расчет вала по статической прочности (для тихоходных или статически нагруженных валов)?
63. Объясните устройство подшипника качения и назначение его деталей.

64. Приведите классификацию подшипников качения по их типам и по сериям.
65. Как производится маркировка подшипников качения?
66. Как производится подбор подшипников качения по динамической грузоподъемности?
67. В каких случаях подбор подшипников производят по статической грузоподъемности?
68. Как производится подбор подшипников качения по статической грузоподъемности?
69. На каком принципе основана работа подшипника скольжения?
70. Какие требования, предъявляются к подшипникам скольжения?
71. В каких случаях применяются подшипники скольжения?
72. Какие свойства смазки характеризуют ее качество?
73. Какие способы подачи смазки к поверхностям трения применяются при смазке опорных узлов?
74. Какие условия определяют применение или жидкой, или консистентной мазки в опорах валов?
75. С какой целью в машинах применяют муфты? Какие разновидности муфт существуют?
76. Какие параметры влияют на подбор типа и размера муфты?

3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Тематика практических занятий

В данном разделе приведены темы практических занятий по дисциплине «Механика 1.3».

В тематике практических занятий возможны изменения. Окончательный список тем приведен в Календаре обучения студента и в Текущем контроле на сайте ИнЭО.

Тематика практических занятий определяется преподавателем.

Тема 1. Статика (2 часа)

Геометрический способ сложения сил. Проекция силы на оси координат. Аналитический способ сложения сил. Равновесие твердого тела под действием системы сходящихся сил

Рекомендуемая литература: [5–11].

Тема 2. Растяжение (сжатие) (2 часа)

Построение эпюр продольных сил. Расчет стержней на прочность при действии продольных сил. Определение нормальных напряжений от действия продольных сил и построение эпюры нормальных напряжений.

Рекомендуемая литература: [14–16].

Тема 3. Сдвиг (2 часа)

Расчеты на прочность при сдвиге. Кручение. Построение эпюры крутящих моментов, действующих на балку. Расчеты круглых балок на прочность и жесткость при кручении.

Рекомендуемая литература: [14–16].

Тема 4. Изгиб (2 часа)

Виды опор. Определение реакций в опорах двухопорных и консольных балок. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Расчеты балок на прочность и жесткость при их изгибе.

Рекомендуемая литература: [14–16].

Тема 5. Структурный анализ механизмов (2 часа)

Звенья и кинематические пары. Степень подвижности механизма. Группы Ассура. Формула строения механизма.

Рекомендуемая литература: [12, 13, 22].

Тема 6. Построение планов положений механизма (2 часа)

Построение траекторий отдельных точек механизма. Кинематический анализ плоского рычажного механизма графоаналитическим методом. Построение планов скоростей на примере шестизвенника. Определение ускорений точек звеньев плоского рычажного механизма методом планов на примере шестизвенника.

Рекомендуемая литература: [12, 13].

Тема 7. Динамический анализ механизма (2 часа)

Определение сил тяжести, сил инерции звеньев механизма и силы полезного сопротивления. Построение планов сил и определение реакций в кинематических парах механизма. Определение уравнивающей силы или момента методом «рычага Н.Е. Жуковского». Определение КПД механизма.

Рекомендуемая литература: [12, 13].

Тема 8. Энерго-кинематический расчет привода (2 часа)

Определение угловых скоростей, мощностей и крутящих моментов на элементах привода с круглыми колесами на примере двухступенчатого привода (одноступенчатого редуктора с открытой передачей).

Рекомендуемая литература: [17–21].

4. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ

4.1. Общие методические указания

В соответствии с учебным графиком предусмотрено выполнение одного индивидуального домашнего задания (ИДЗ). К каждой задаче дается 10 рисунков и таблица, содержащая дополнительные условия.

Номер варианта индивидуального задания определяется по последней цифре номера зачетной книжки. Например, если номер зачетной книжки Д-8Т51/11, то номер варианта задания равен 1. Если номер зачетной книжки З-1Е510/20, то номер варианта задания равен 0.

Требования к оформлению ИДЗ

При оформлении индивидуального домашнего задания необходимо соблюдать следующие требования:

1. Индивидуальное задание должно иметь титульный лист, оформленный в соответствии со стандартами ТПУ. На титульном листе указываются номер индивидуального задания, номер варианта, название дисциплины; фамилия, имя, отчество студента; номер группы, шифр. **Образец оформления и шаблон титульного листа** размещены на сайте ИнЭО в разделе СТУДЕНТУ → ДОКУМЕНТЫ (<http://portal.tpu.ru/ido-tpu>).

2. Индивидуальное задание оформляется отдельным файлом.

3. Текст индивидуального задания набирается в текстовом процессоре Microsoft Word. Шрифт – Times New Roman, размер 12–14 pt, для набора формул рекомендуется использовать редактор формул Microsoft Equation или MathType.

4. Решения задач следует располагать в той же последовательности, что и задания.

5. Каждая задача должна начинаться с условия задачи, ниже краткая запись задачи, если необходимо – рисунок с условными обозначениями, которые в дальнейшем будут использованы при решении задач.

6. Решение должно быть подробным, с включением промежуточных расчётов и указанием использованных формул.

7. Страницы задания должны иметь сквозную нумерацию.

8. В задание включается список использованной литературы.

Технология передачи выполненных работ (ИДЗ, лабораторных, курсовых работ и проектов) на проверку представлена на сайте ИнЭО (раздел «Студенту → Текущий контроль (проверка заданий и работ»)).

Студенты всех форм обучения размещают свои работы на портале ИнЭО, отправляя ИДЗ преподавателю, который закреплён за данной

группой. ИДЗ должно быть представлено в электронном виде, в формате документа (файла) текстового процессора Microsoft Word.

Студенты, обучающиеся по классической заочной форме (КЗФ): отправляют ИДЗ на проверку и получают рецензию; защита ИДЗ, оформленного в виде твердой копии, проходит во время сессии; к этому времени нужно исправить все замечания, указанные в рецензии. Студент, не получивший положительной рецензии на защите ИДЗ, не допускается к сдаче экзамену (зачету) по данной дисциплине.

Студенты, обучающиеся с использованием дистанционных образовательных технологий (ДОТ): отправляют ИДЗ на проверку, и, в обязательном порядке, получают рецензию на ИДЗ. Правильно выполненные работы студенту не возвращаются. При наличии ошибок в ИДЗ, указанных в рецензии, студент должен их исправить и вновь выслать работу на повторное рецензирование. Студент, не получивший положительной рецензии на ИДЗ, не допускается к сдаче экзамену (зачету) по данной дисциплине.

4.2. Варианты ИДЗ и методические указания

Индивидуальное задание состоит из *пяти задач*. Исходные данные при решении задач следует выбирать в соответствии со своим вариантом.

Задача № 1 по разделу «Теоретическая механика»

Стальная стержневая конструкция находится под действием сил, моментов и распределенной нагрузки.

Определить реакции опор твердого тела. Сделать проверку.

Таблица 2

Исходные данные к задаче № 1

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
q , Н/м	9	4	1	6	10	3	5	7	8	2
P_1 , Н	10	20	15	5	6	2	4	25	9	14
P_2 , Н	6	5	7	2	4	10	12	3	7	18
P_3 , Н	5	3	6	12	2	14	3	8	12	2
G , Н	7	9	2	5	9	12	8	10	4	7
M , Нм	15	10	8	7	3	2	9	3	6	9
α_1 , град	30	60	45	30	60	45	30	45	60	30
α_2 , град	60	45	30	60	45	30	60	60	30	60

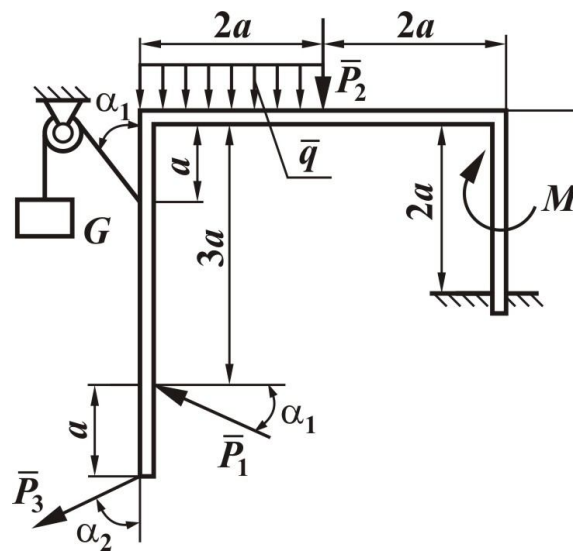


Схема 0

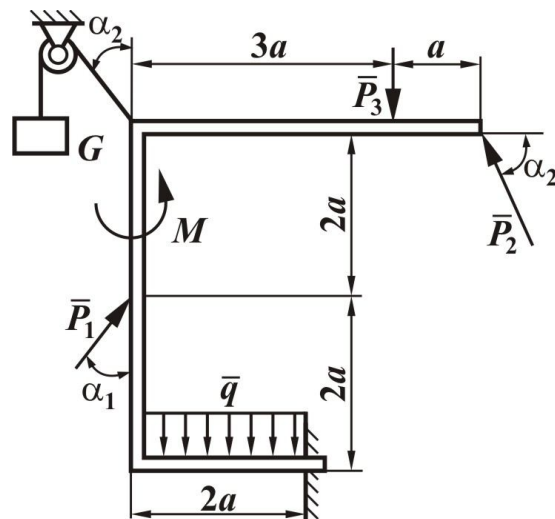


Схема 1

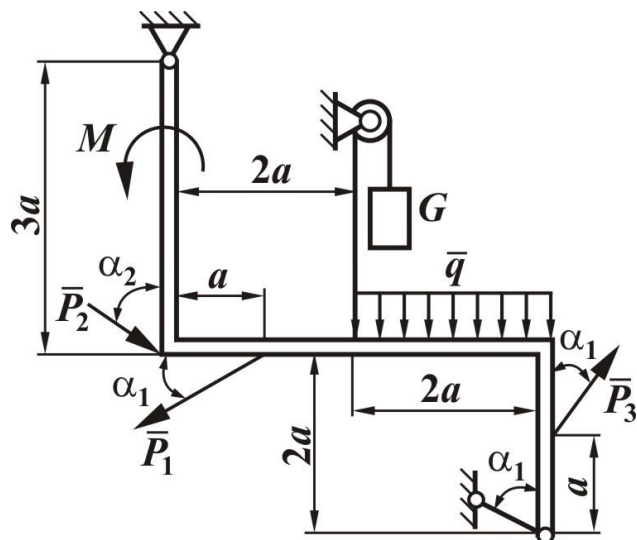


Схема 2

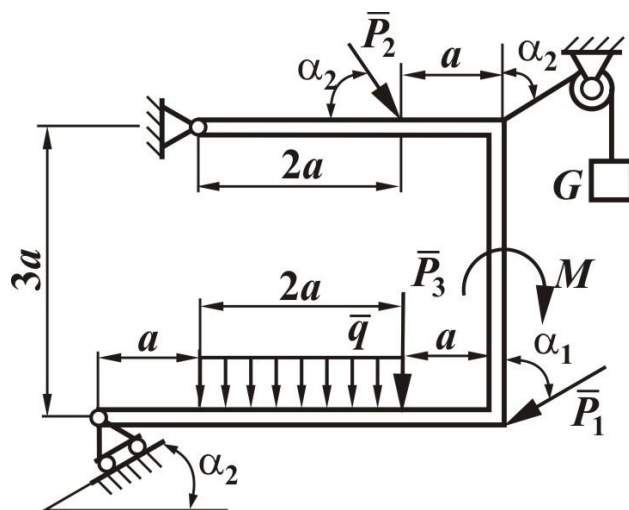


Схема 3

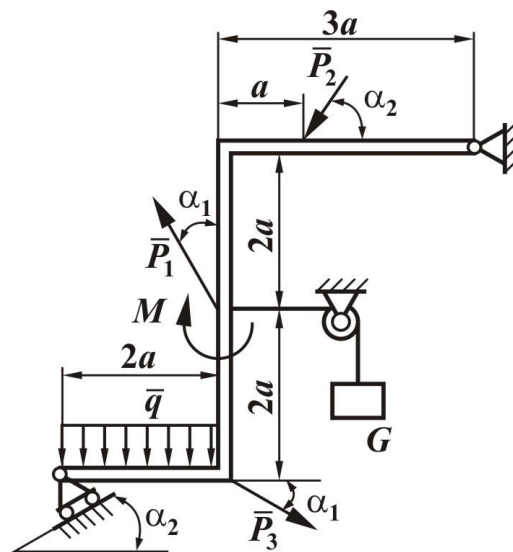


Схема 4

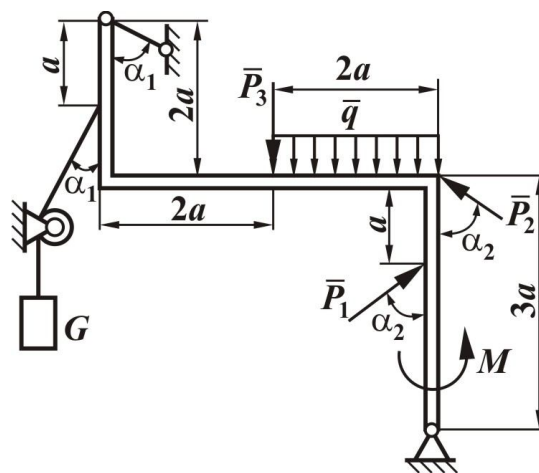


Схема 5

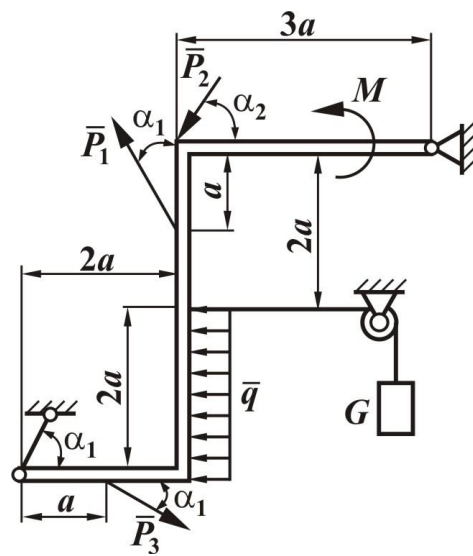


Схема 6

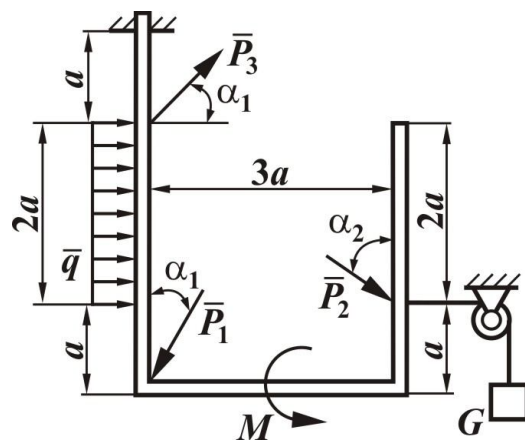


Схема 7

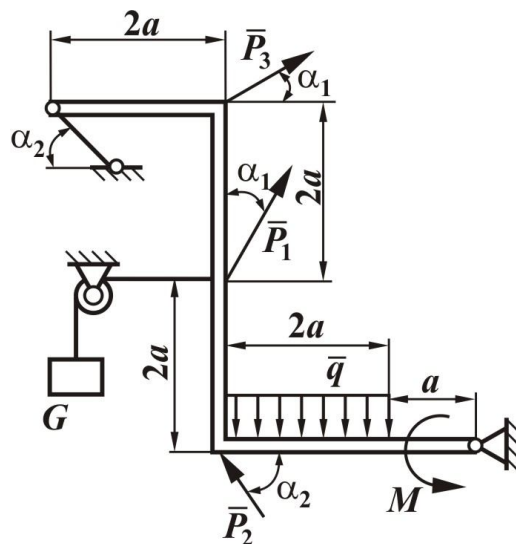


Схема 8

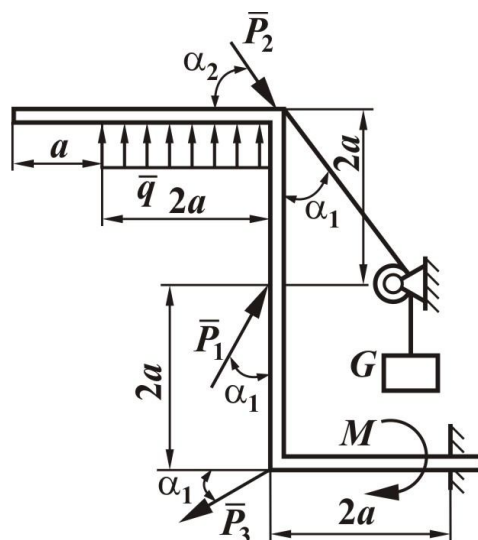


Схема 9

Задача № 2

по разделу «Соппротивление материалов»

Стальной стержень находится под действием продольных сил.

Построить эпюры внутренних продольных сил N , нормальных напряжений σ и эпюру перемещений λ . Влиянием собственного веса стержня пренебречь.

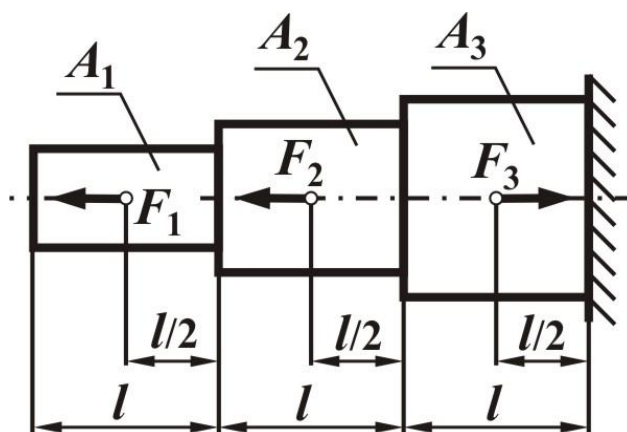
Модуль упругости стали $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, длина $l = 1$ м.

Таблица 3

Исходные данные к задаче № 3

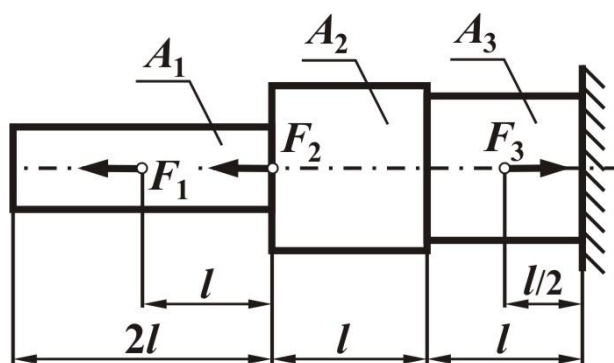
Номер варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F_1 , кН	20	25	10	55	25	10	30	45	35	20
F_2 , кН	25	15	50	15	45	35	10	25	50	30
F_3 , кН	40	40	45	30	30	25	45	20	25	25

На схемах 0–9 центрами маленьких окружностей обозначены точки приложения сил.



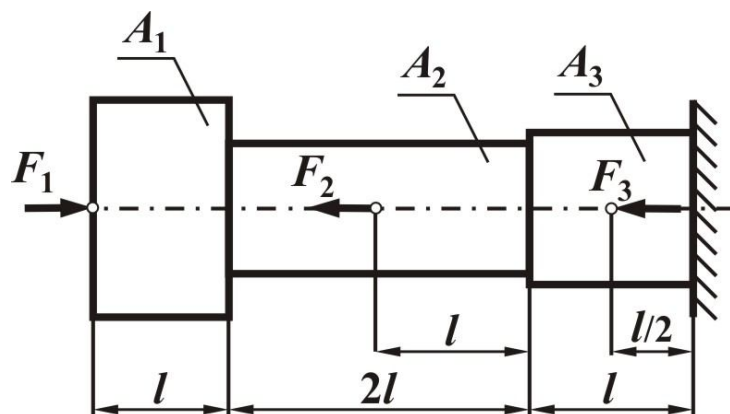
$$A_1 = 100 \text{ мм}^2, \quad A_2 = 200 \text{ мм}^2, \quad A_3 = 300 \text{ мм}^2.$$

Схема 0



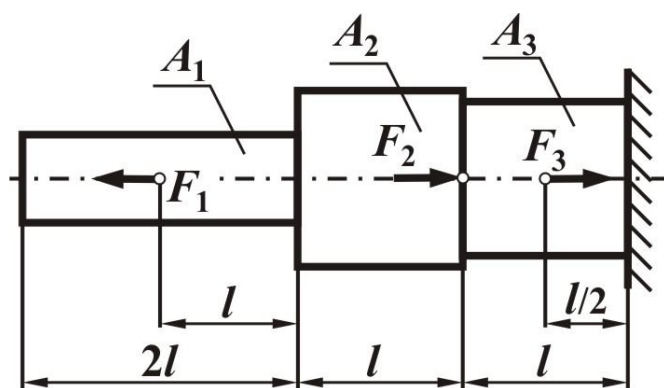
$$A_1 = 100 \text{ мм}^2, \quad A_2 = 200 \text{ мм}^2, \quad A_3 = 150 \text{ мм}^2.$$

Схема 1



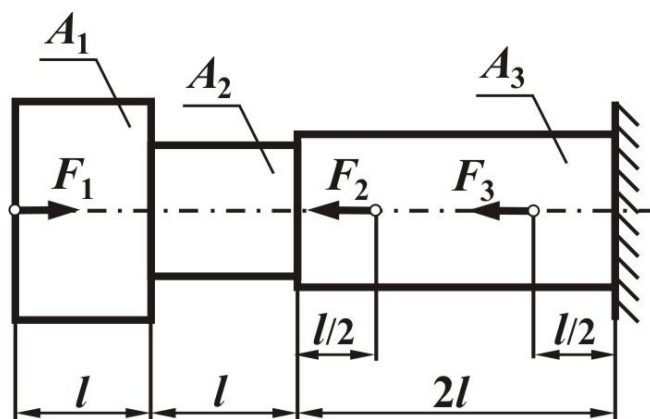
$$A_1 = 300 \text{ mm}^2, \quad A_2 = 200 \text{ mm}^2, \quad A_3 = 250 \text{ mm}^2.$$

Схема 2



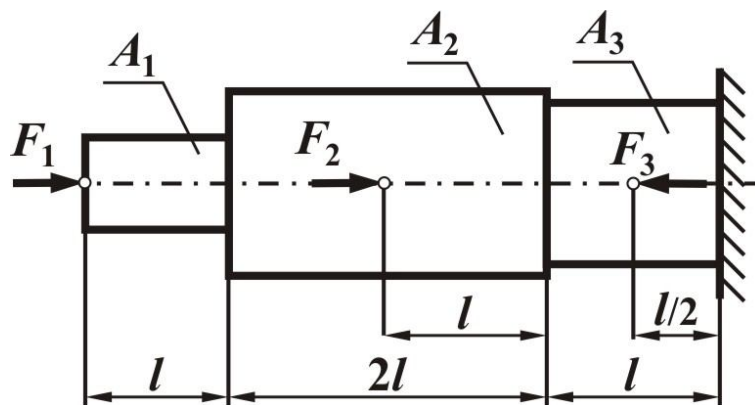
$$A_1 = 100 \text{ mm}^2, \quad A_2 = 300 \text{ mm}^2, \quad A_3 = 250 \text{ mm}^2.$$

Схема 3



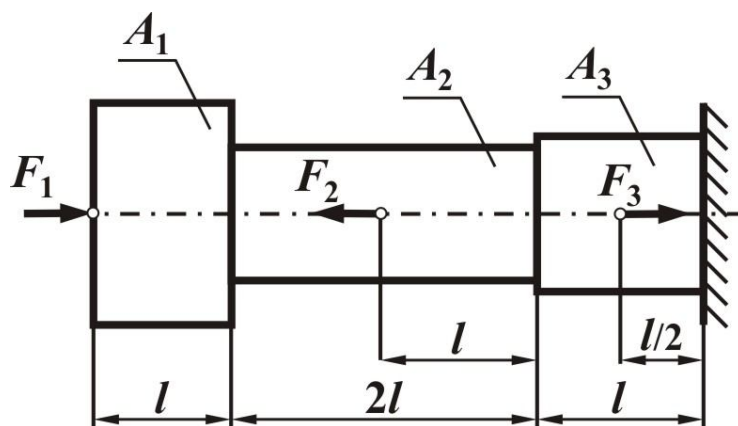
$$A_1 = 250 \text{ mm}^2, \quad A_2 = 100 \text{ mm}^2, \quad A_3 = 150 \text{ mm}^2.$$

Схема 4



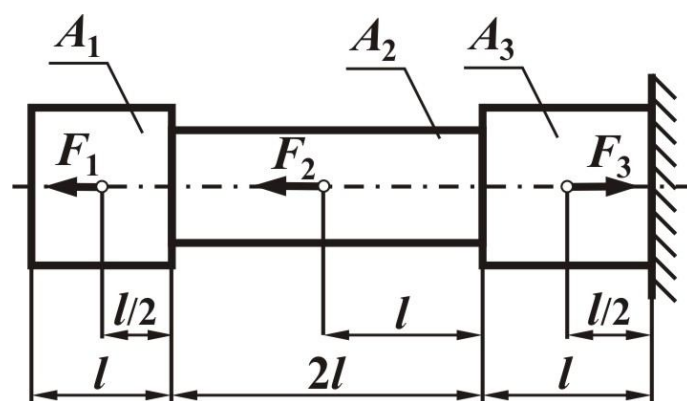
$$A_1 = 100 \text{ мм}^2, \quad A_2 = 300 \text{ мм}^2, \quad A_3 = 250 \text{ мм}^2.$$

Схема 5



$$A_1 = 300 \text{ мм}^2, \quad A_2 = 150 \text{ мм}^2, \quad A_3 = 200 \text{ мм}^2.$$

Схема 6



$$A_1 = 200 \text{ мм}^2, \quad A_2 = 100 \text{ мм}^2, \quad A_3 = 200 \text{ мм}^2.$$

Схема 7

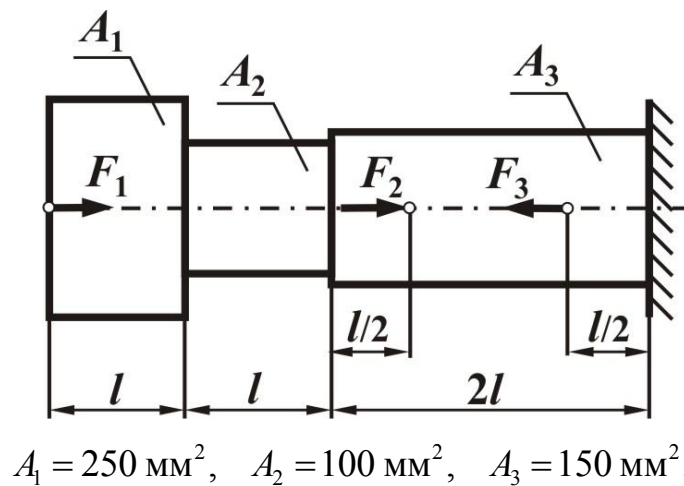


Схема 8

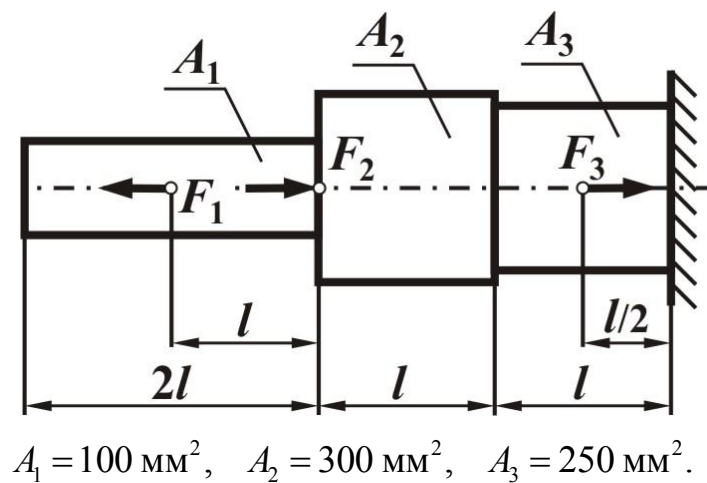


Схема 9

Задача № 3 по разделу «Сопротивление материалов»

Для заданной схемы вала определить величину и направление неизвестного крутящего момента и произвести следующие расчеты:

- построить *эпюру крутящих моментов*;
- построить *эпюру касательных напряжений*.

Таблица 4

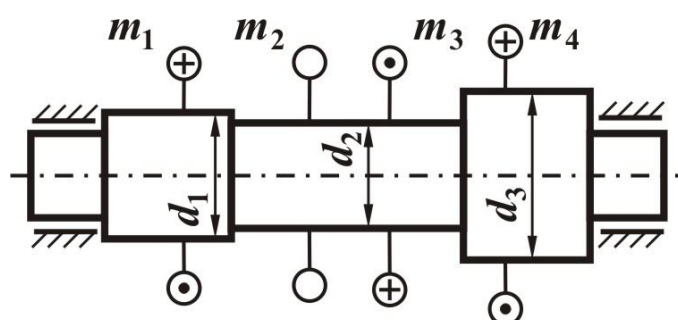
Исходные данные к схемам 0-4

Номер варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
m_1 , Нм	100	200	300	120	50	160	30	90	90	150
m_3 , Нм	80	80	180	80	90	180	280	180	80	70
m_4 , Нм	150	160	90	190	130	60	60	220	160	120

Таблица 5

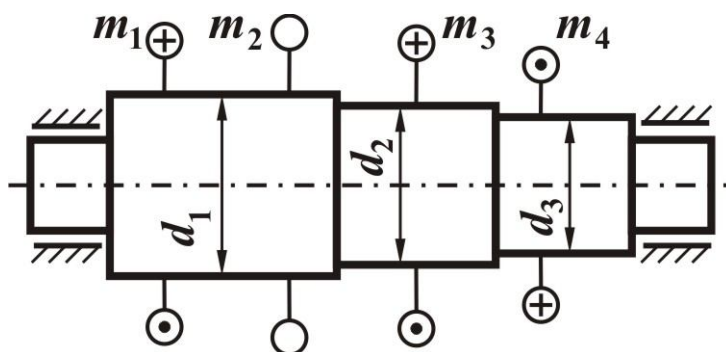
Исходные данные к схемам 5-9

Номер варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
m_1 , Нм	80	80	180	80	90	180	280	180	80	70
m_2 , Нм	150	160	90	190	130	60	60	220	160	120
m_4 , Нм	100	200	300	120	50	160	30	90	90	150



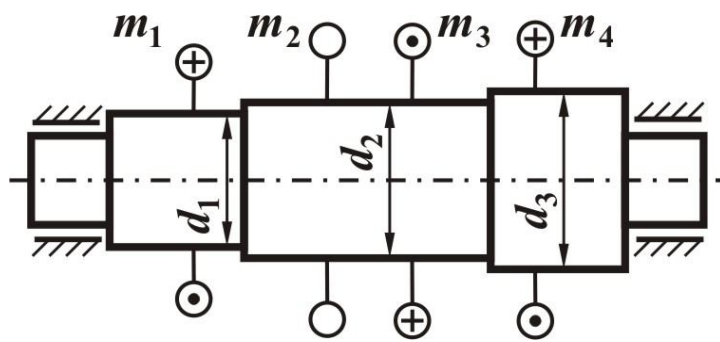
$$d_1 = 30 \text{ мм}, \quad d_2 = 25 \text{ мм}, \quad d_3 = 40 \text{ мм}.$$

Схема 0



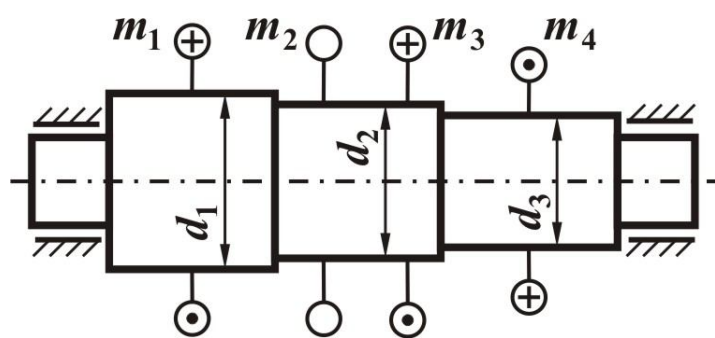
$$d_1 = 40 \text{ мм}, \quad d_2 = 30 \text{ мм}, \quad d_3 = 20 \text{ мм}.$$

Схема 1



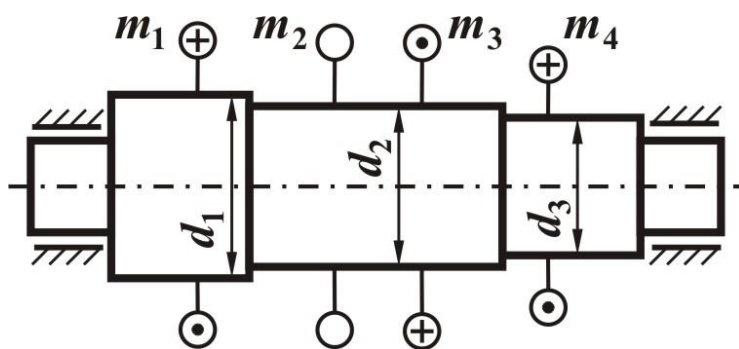
$$d_1 = 20 \text{ mm}, \quad d_2 = 25 \text{ mm}, \quad d_3 = 30 \text{ mm}.$$

Схема 2



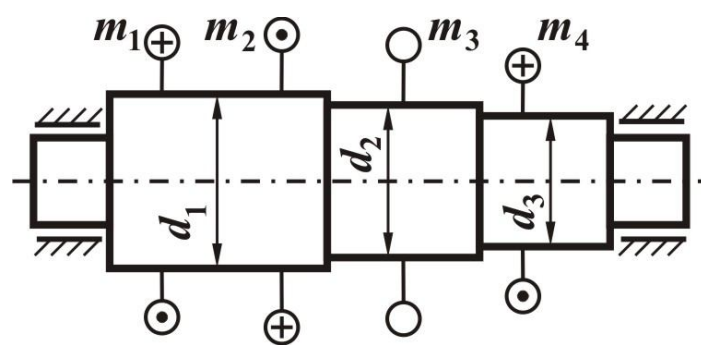
$$d_1 = 40 \text{ mm}, \quad d_2 = 30 \text{ mm}, \quad d_3 = 20 \text{ mm}.$$

Схема 3



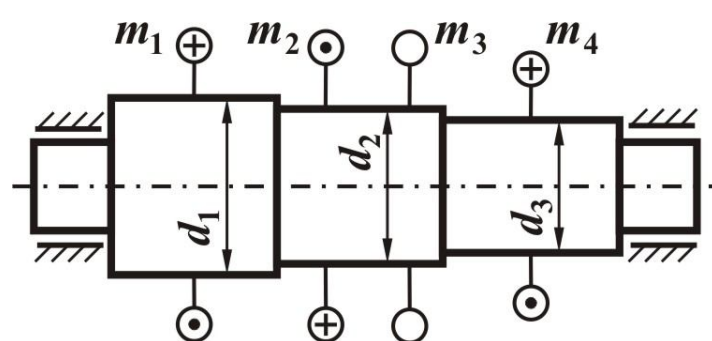
$$d_1 = 40 \text{ mm}, \quad d_2 = 25 \text{ mm}, \quad d_3 = 20 \text{ mm}.$$

Схема 4



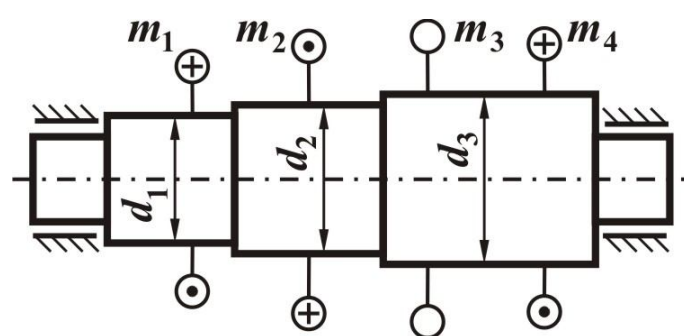
$$d_1 = 35 \text{ mm}, \quad d_2 = 25 \text{ mm}, \quad d_3 = 20 \text{ mm}.$$

Схема 5



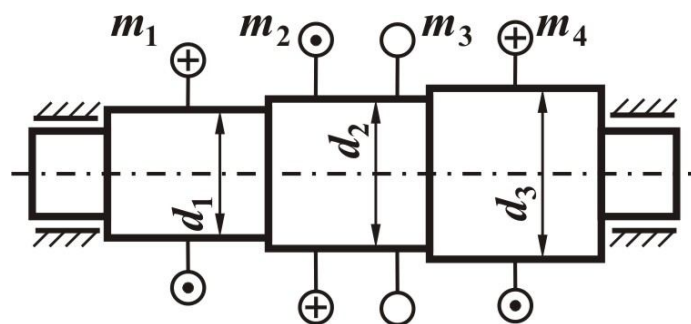
$$d_1 = 40 \text{ mm}, \quad d_2 = 25 \text{ mm}, \quad d_3 = 20 \text{ mm}.$$

Схема 6



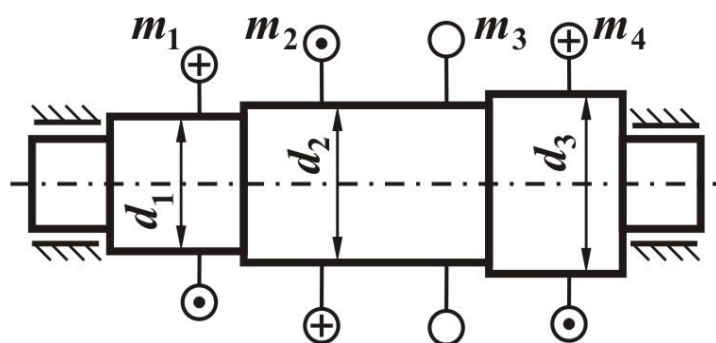
$$d_1 = 25 \text{ mm}, \quad d_2 = 30 \text{ mm}, \quad d_3 = 35 \text{ mm}.$$

Схема 7



$$d_1 = 20 \text{ мм}, \quad d_2 = 30 \text{ мм}, \quad d_3 = 40 \text{ мм}.$$

Схема 8



$$d_1 = 25 \text{ мм}, \quad d_2 = 35 \text{ мм}, \quad d_3 = 45 \text{ мм}.$$

Схема 9

Задача № 4

по разделу «Сопrotивление материалов»

Для заданной схемы стальной балки круглого постоянного сечения, нагруженной распределенной нагрузкой q , сосредоточенной силой F_1 и изгибающим моментом M , произвести следующие расчеты:

- определить *составляющие реакций в опорах*;
- построить *эпюру поперечных сил*;
- построить *эпюру изгибающих моментов*;
- пользуясь построенными эпюрами и механическими характеристиками принятого материала (табл. 7), по одной из теорий прочности определить *величину минимально допускаемого диаметра* (полученное значение округлить до ближайшей большей величины из ряда нормальных линейных размеров по ГОСТ 6636-69 (табл. 6).

Маркой стали балки задаться самостоятельно (табл. 7).

Коэффициент безопасности по пределу текучести $S_{\text{тр}}$ принять равным 2.

Исходные данные к задаче № 4

Номер варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
q , кН/м	2	4	6	8	10	12	8	6	4	5
F , кН	15	5	3	7	11	20	10	9	14	7
M , кНм	9	8	15	11	6	4	3	16	9	12
a , м	0,5	0,8	0,7	0,6	0,5	1	0,9	0,8	1	0,8
b , м	1	0,9	1,2	0,8	0,4	0,7	0,6	1,2	0,6	0,5

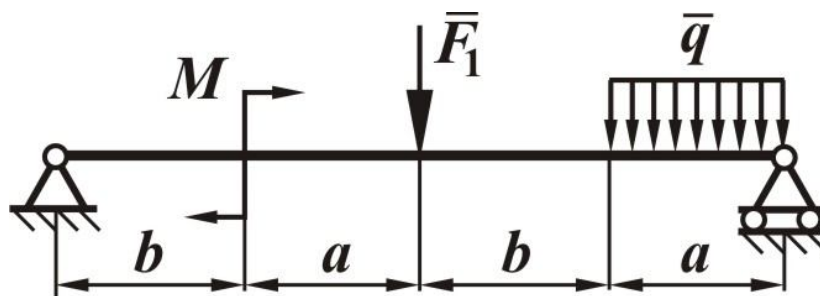


Схема 0

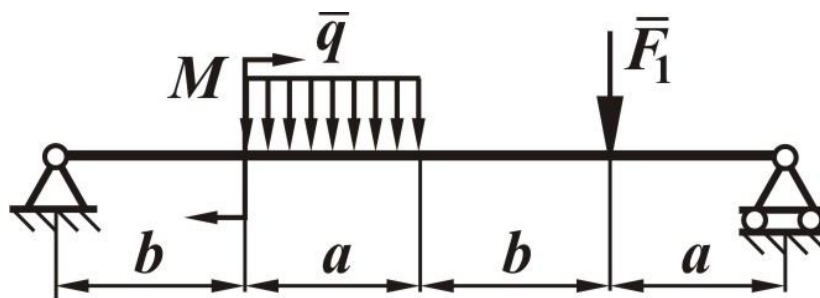


Схема 1

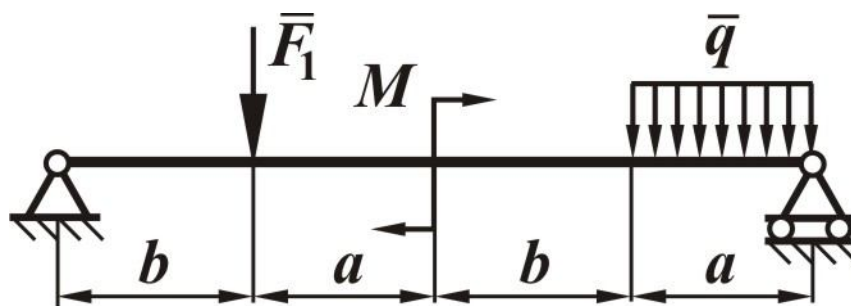


Схема 2

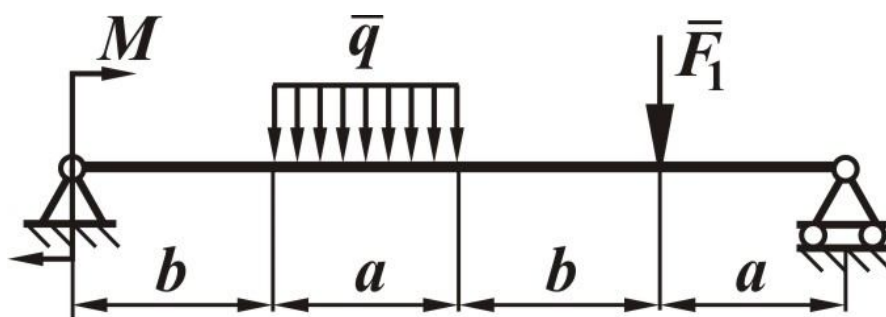


Схема 3

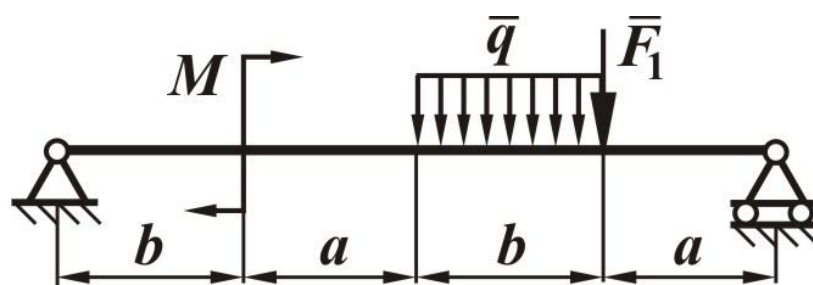


Схема 4

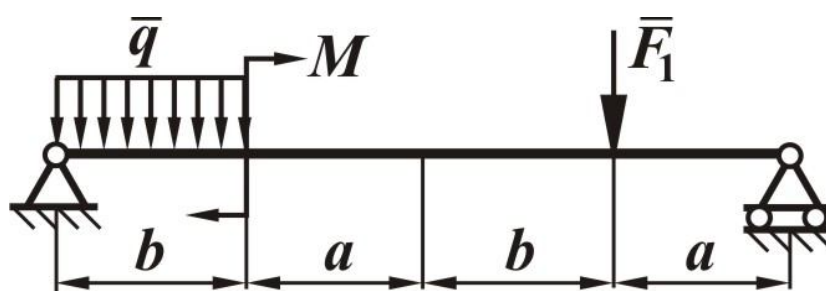


Схема 5

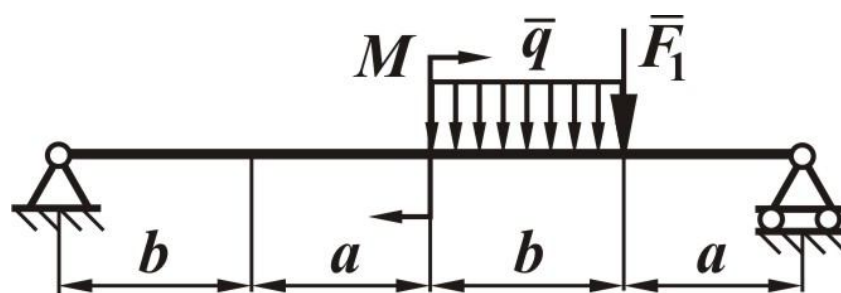


Схема 6

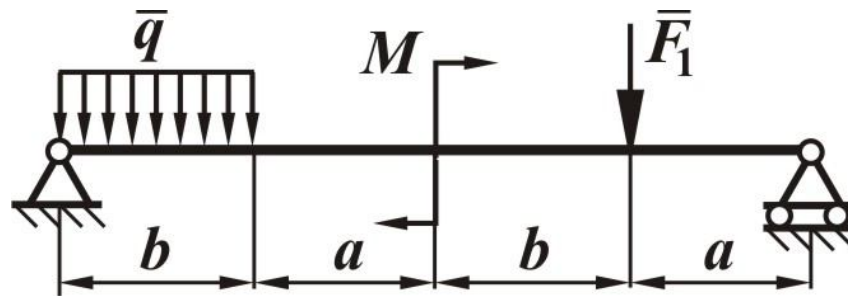


Схема 7

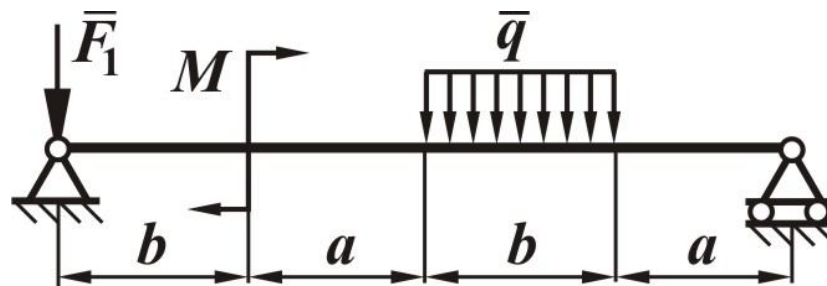


Схема 8

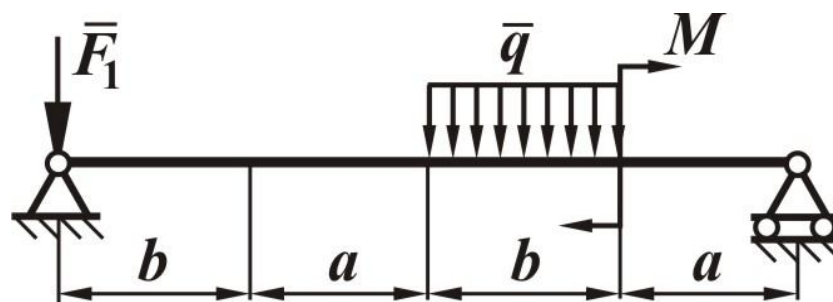


Схема 9

Задача № 5 по разделу «Теория машин и механизмов»

Задание состоит из трех частей:

1. Структурный анализ зубчато-рычажного механизма.
2. Кинематический анализ зубчато-рычажного механизма.
3. Динамический анализ зубчато-рычажного механизма.

Цель *структурного анализа* – выявить строение (структуру) механизма.

При этом необходимо:

1. Определить число звеньев механизма и назвать каждое из них (например: звено 0 – стойка, звено 1 – кривошип, звено 2 – камень кулисы, звено 3 – кулиса и т.д.);

2. Определить число кинематических пар и дать их характеристику (например: стойка 0 – кривошип, 1 – вращательная кинематическая пара $V_{0,1}$ пятого класса и т.д.);

3. Определить степень подвижности механизма (по формуле П.Л. Чебышева);

4. Выявить структурные группы (группы Ассура), входящие в состав механизма; привести схемы групп, назвать их, определить класс группы, написать формулу строения (например: звено 2 – камень и 3 – кулиса образуют двухзвенную двухповодковую группу второго класса третьего вида с двумя внешними вращательными кинематическими парами $V_{1,2}$, $V_{0,3}$ и внутренней поступательной $P_{2,3}$ – группа Ассура 2–3 [$V_{1,2}$ – $P_{2,3}$ – $V_{3,0}$] и т.д.);

5. Привести формулу строения механизма (в развернутом виде).

Задачами *кинематического анализа* механизма являются:

1. Определение положений механизма и траектории движения его отдельных точек;

2. Определение линейных скоростей и ускорений точек и угловых скоростей и ускорений звеньев.

В данном разделе необходимо:

1. Найти крайние (мертвые) положения механизма по рабочему звену.

2. Построить траектории движения всех характерных точек механизма (шарниров, центров тяжести звеньев) не менее чем по 8 основным и необходимому числу дополнительных положений механизма.

3. Произвести кинематические исследования механизма методом планов. Определить кинематические параметры (скорости, ускорения), найти численные значения линейных скоростей всех характерных точек механизма (кинематических пар, центров тяжести) и угловых скоростей всех звеньев для рассматриваемых положений, для чего – построить планы скоростей для двух положений механизма:

1-е положение – при рабочем ходе (примерно середина рабочего хода);

2-е положение – одно из крайних (мертвых) положений.

Построить планы ускорений (для тех же двух положений) и определить численные значения линейных ускорений всех характерных точек механизма и угловых ускорений всех звеньев для данных положений механизма. Определить направления угловых скоростей и ускорений звеньев механизма, обозначив эти направления знаком плюс (+) или минус (–). За положительное направление угловой скорости и углового ускорения принять направление движения ведущего звена, и отрицательное – при противоположном движении.

Примечания:

1. Схема механизма вычерчивается в масштабе ГОСТ 2.302–68 и Ст. СЭВ 1180–78 (1:1; 1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10 и т.д.; или 2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10:1; 20:1 и т.д.).

2. Нумерацию положений следует вести от одного из крайних (мертвого) положений, соответствующего началу рабочего хода, приняв его за нулевое, и обозначить: A_0, A_1, A_2 и т.д., B_0, B_1, B_2 и т.д.

3. Высота букв и цифр основного шрифта – 5 мм для строчных, 7 мм – для прописных. Индексы и степени – 3,5 мм.

4. Основное положение механизма вычерчивается контурной линией S (0,6...1,5 мм); все остальные положения – линиями $S/2...S/3$ (в том числе и крайние положения механизма); траектории движения точек – сплошной тонкой линией $S/2...S/3$.

5. Масштабные коэффициенты планов скоростей μ_v и планов ускорений μ_a следует выбирать из ряда: 1; 2; 4; 5; 10; 20; 25; 40; 50; (75); 100 и т.д.; или 0,5; 0,4; 0,25; 0,2; 0,1; 0,05; 0,01 и т.д.

Целью *динамического анализа* механизма является определение усилий в звеньях механизма, давлений (реакций) в кинематических парах, величины уравнивающего момента, приложенного к ведущему звену.

В результате силового расчета можно определить коэффициент полезного действия механизма, а также мощность, необходимую для его привода. Силовой расчет может быть выполнен различными методами.

В данной работе силовой расчет выполняется методом планов сил для одного положения рабочего хода, для которого определены ускорения. При этом необходимо:

1. Определить силы, действующие на звенья механизма. При определении сил, кроме заданных сил (моментов) производственных сопротивлений, учесть силы тяжести, силы и моменты инерции звеньев. Силами трения в кинематических парах пренебречь.

2. Определить реакции во всех кинематических парах механизма методом планов сил.

3. Определить величину уравнивающей силы F_y (или уравнивающего момента M_y) методом планов сил и на основании принципа возможных перемещений (рычагом Н.Е. Жуковского), результаты сравнить (расхождение не должно превышать 5...7 %).

4. Определить силы, моменты и мгновенные мощности трения в каждой кинематической паре и для всего механизма. Коэффициент трения скольжения можно принять в среднем $f = 0,1$, коэффициент трения качения $k = 0,01$ см, радиусы цапф определить по соотношениям: для кривошипов $r = (0,2...0,3)l$, причем верхний предел относится к ко-

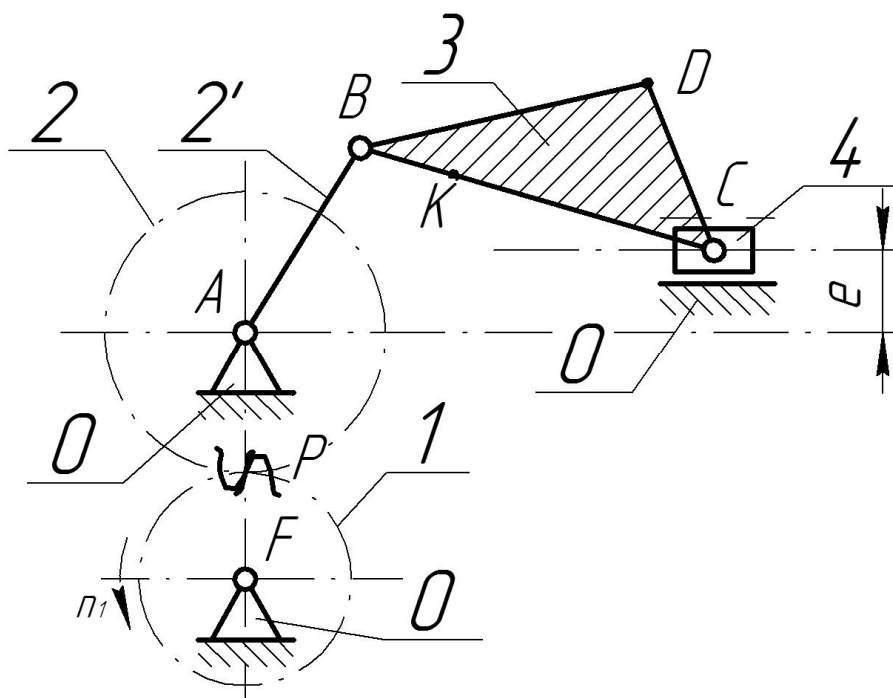
ренным, нижний – к мотылевым шейкам; $r = (0,07 \dots 0,15) l$ – для шатунов коромысел, кулис. Здесь l – длина звена.

5. Определить мгновенное значение коэффициента полезного действия (КПД) механизма для данного положения.

Таблица 7

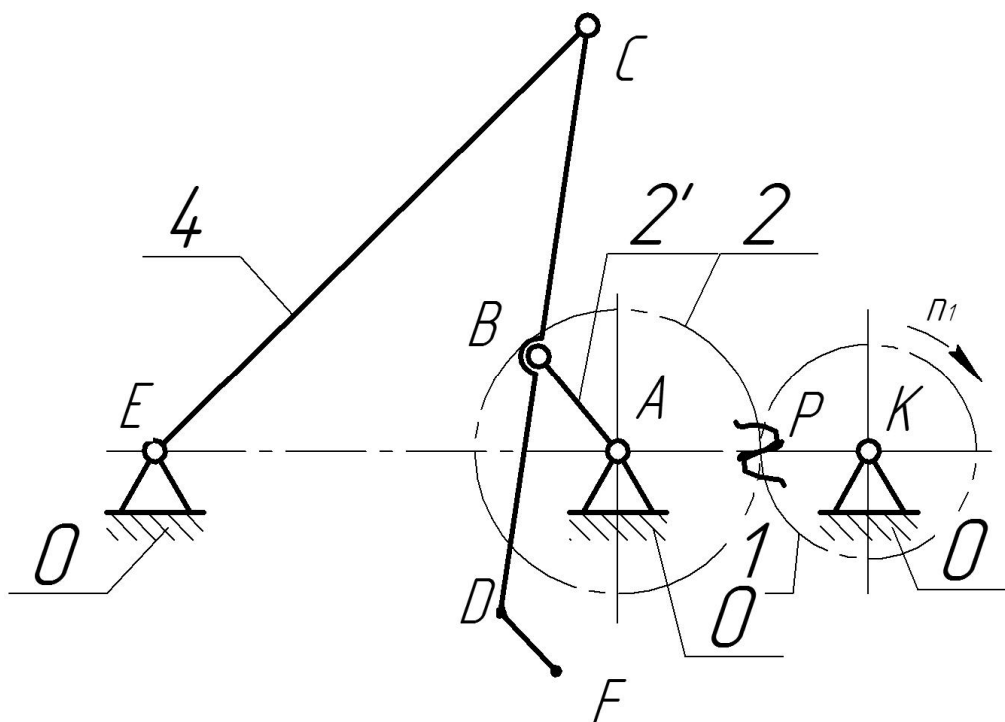
Исходные данные к задаче № 5

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
n_1 , об/мин	500	600	800	1000	1200	750	650	550	950	850
z_1	20	25	30	35	20	18	22	28	32	25
z_2	45	50	60	70	50	72	56	72	64	80
m , мм	2	1,5	2,5	1,5	2	2,5	1,5	2	2,5	1,5



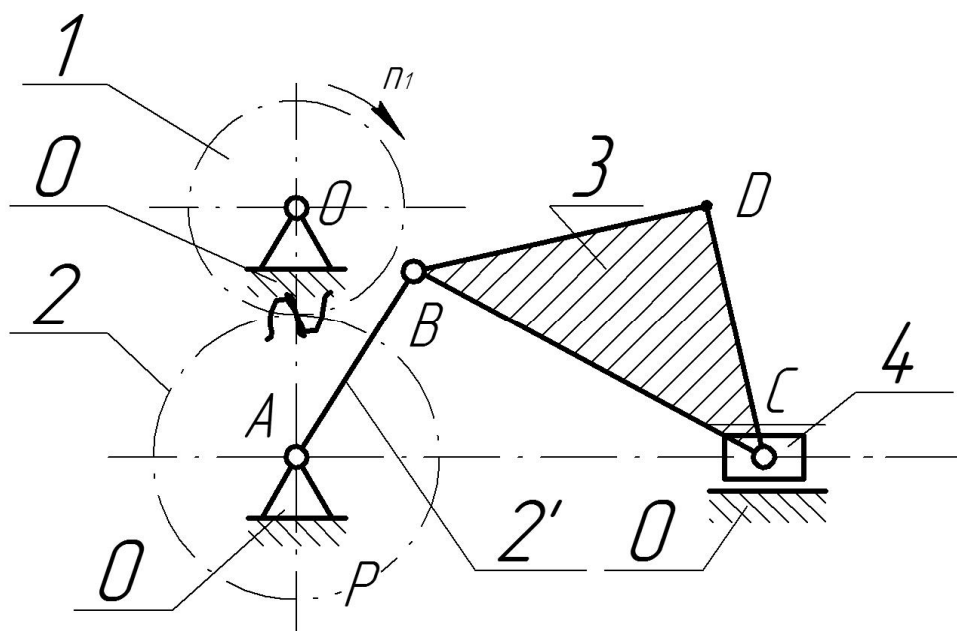
$$l_{AB} = 15 \text{ мм}, \quad l_{BC} = 30 \text{ мм}, \quad l_{BD} = 30 \text{ мм}, \\ l_{CD} = 30 \text{ мм}, \quad l_{BK} = 20 \text{ мм}, \quad e = 10 \text{ мм}.$$

Схема 0



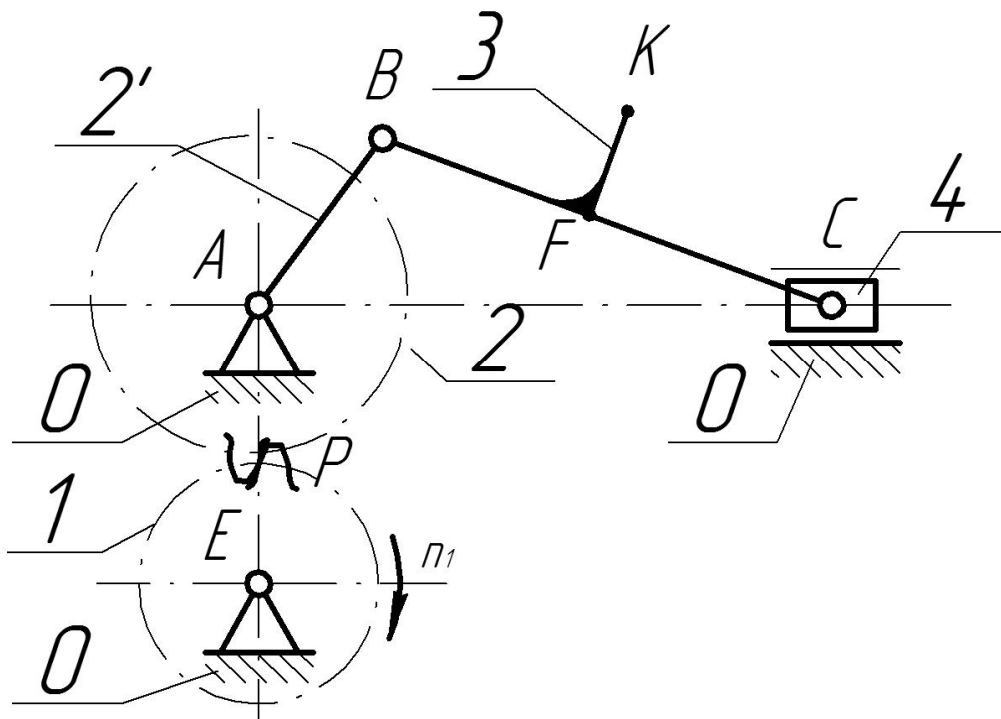
$$l_{AB} = 25 \text{ mm}, \quad l_{BC} = 55 \text{ mm}, \quad l_{CD} = 90 \text{ mm}, \\ l_{DF} = 25 \text{ mm}, \quad l_{EC} = 115 \text{ mm}, \quad l_{EA} = 85 \text{ mm}.$$

Схема 1



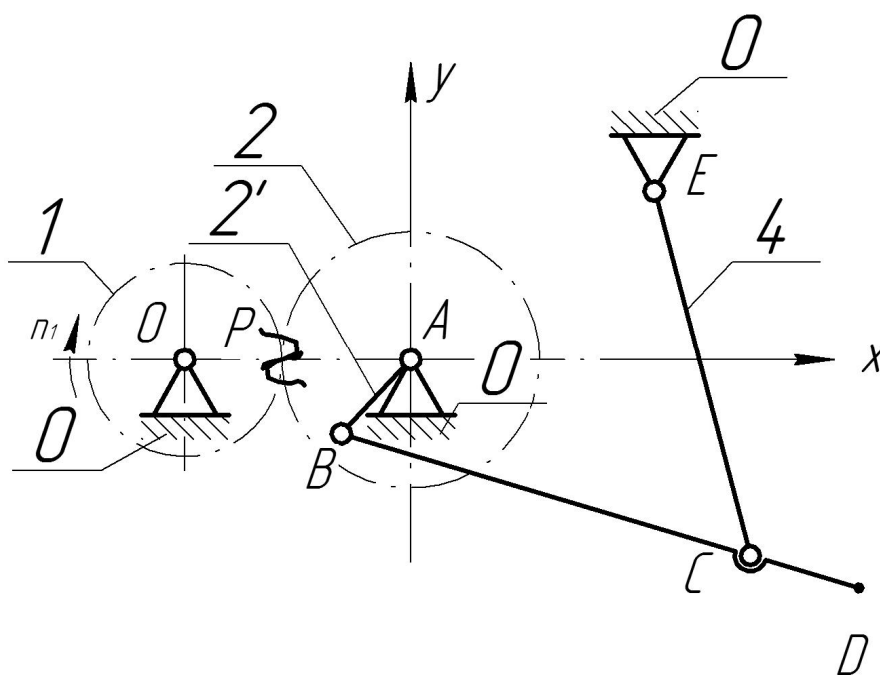
$$l_{AB} = 20 \text{ mm}, \quad l_{BC} = 80 \text{ mm}, \quad l_{BD} = 35 \text{ mm}, \quad l_{DC} = 60 \text{ mm}.$$

Схема 2



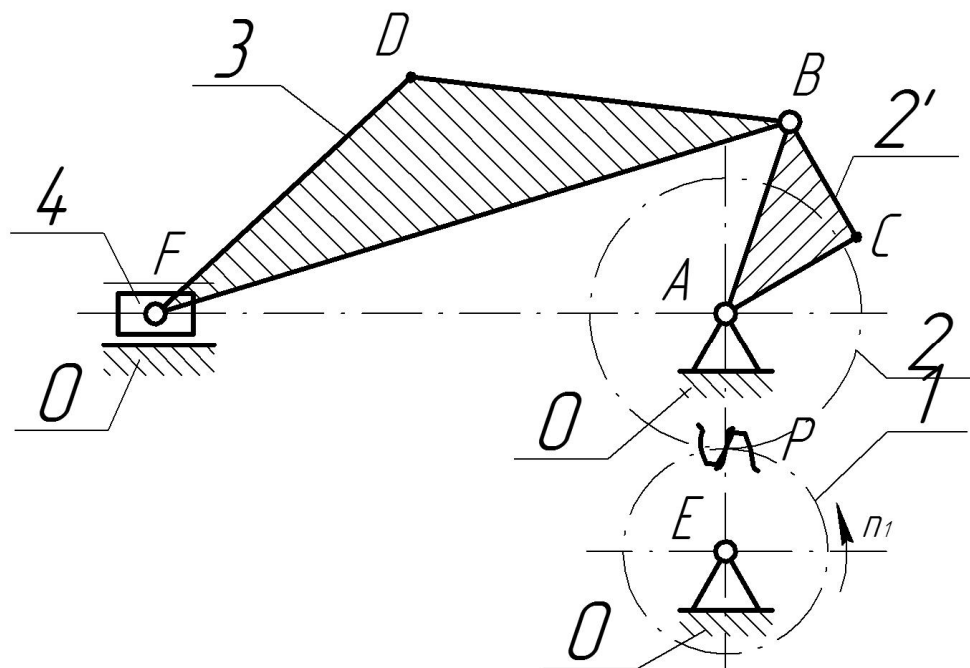
$$l_{AB} = 20 \text{ mm}, \quad l_{BC} = 90 \text{ mm}, \quad l_{BF} = 45 \text{ mm}, \quad l_{FK} = 20 \text{ mm}.$$

Схема 3



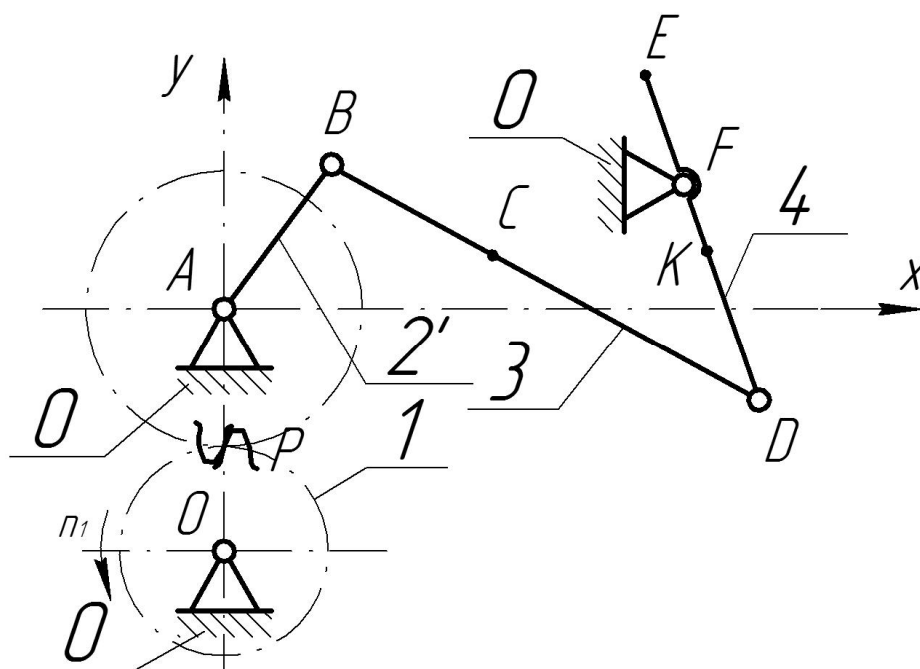
$$l_{AB} = 20 \text{ mm}, \quad l_{BD} = 120 \text{ mm}, \quad l_{BC} = 95 \text{ mm}, \\ l_{CE} = 135 \text{ mm}, \quad X_E = 65 \text{ mm}, \quad Y_E = 55 \text{ mm}.$$

Схема 4



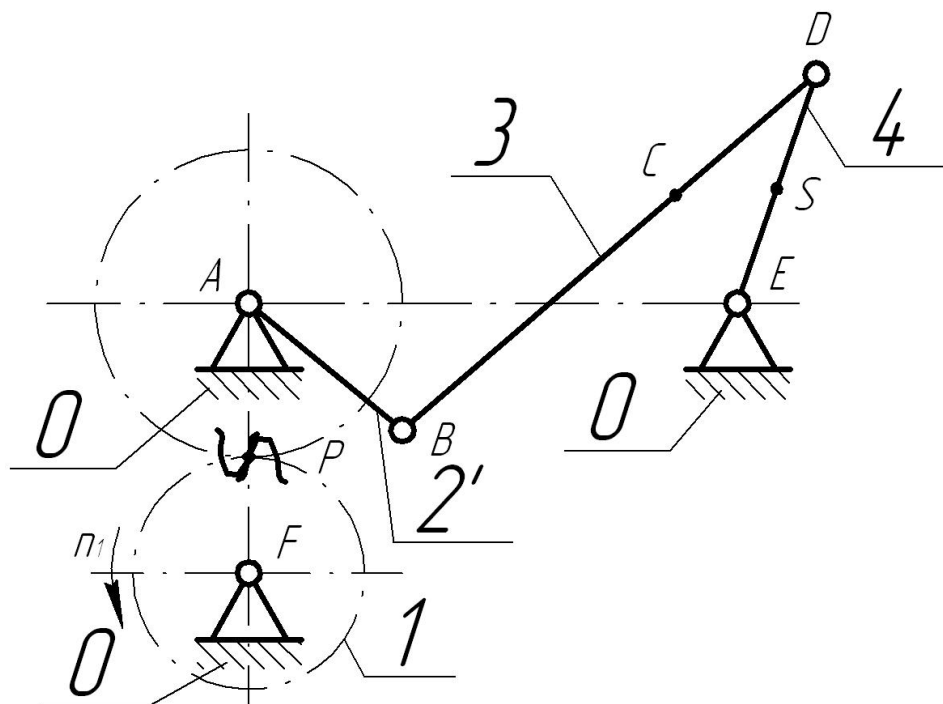
$$l_{AB} = 40 \text{ mm}, \quad l_{BC} = 30 \text{ mm}, \quad l_{AC} = 35 \text{ mm}, \\ l_{BF} = 90 \text{ mm}, \quad l_{BD} = 90 \text{ mm}, \quad l_{DF} = 30 \text{ mm}.$$

Схема 5



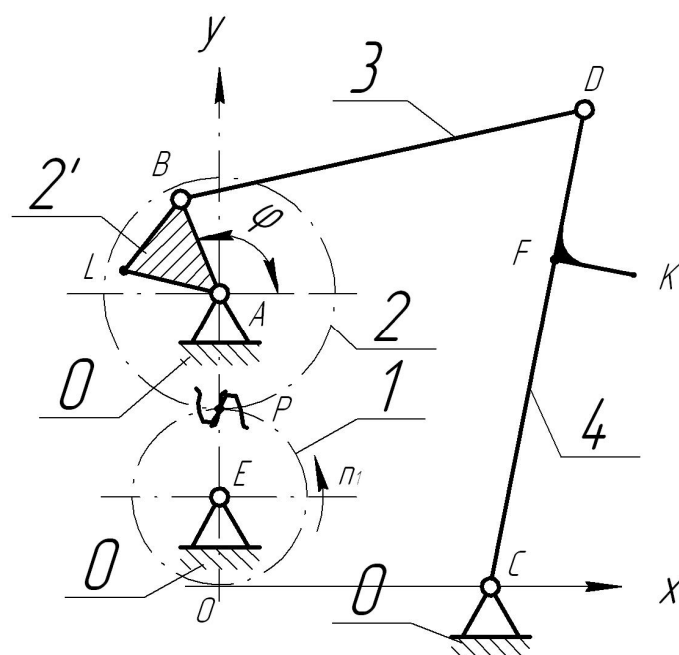
$$l_{AB} = 20 \text{ mm}, \quad l_{BD} = 90 \text{ mm}, \quad l_{BC} = 45 \text{ mm}, \quad l_{DE} = 110 \text{ mm}, \\ l_{DF} = 90 \text{ mm}, \quad X_F = 100 \text{ mm}, \quad Y_F = 65 \text{ mm}.$$

Схема 6



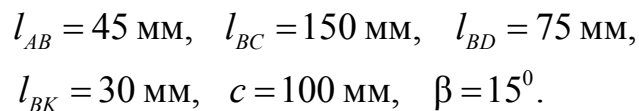
$$l_{AB} = 40 \text{ мм}, \quad l_{AE} = 70 \text{ мм}, \quad l_{BD} = 130 \text{ мм}, \quad l_{BC} = 40 \text{ мм}, \quad l_{DE} = 100 \text{ мм}.$$

Схема 7



$$l_{AB} = 40 \text{ мм}, \quad l_{AL} = 30 \text{ мм}, \quad l_{BL} = 30 \text{ мм}, \quad l_{BD} = 90 \text{ мм}, \quad l_{DC} = 100 \text{ мм}, \\ l_{DF} = 50 \text{ мм}, \quad l_{FK} = 50 \text{ мм}, \quad l_{OA} = 100 \text{ мм}, \quad l_{OC} = 60 \text{ мм}.$$

Схема 8



Задача № 6

по разделу «Детали машин»

1. Подобрать электродвигатель по требуемой мощности.
2. Определить общее передаточное число привода и разбить его по ступеням.
3. Определить мощности на валах привода.
4. Определить частоты вращения валов привода.
5. Определить угловые скорости валов привода.
6. Определить моменты на валах привода.
7. Выполнить проектный расчет зубчатой (червячной) пары редуктора.
8. Определить диаметры ступеней валов редуктора.
9. Подобрать подшипники качения исходя из условий работы редуктора.
10. Выполнить эскизную компоновку редуктора.

Таблица 8

Исходные данные к задаче № 6

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
n_{PM} , об/мин	85	70	80	100	90	55	75	60	65	90
P_{PM} , кВт	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7

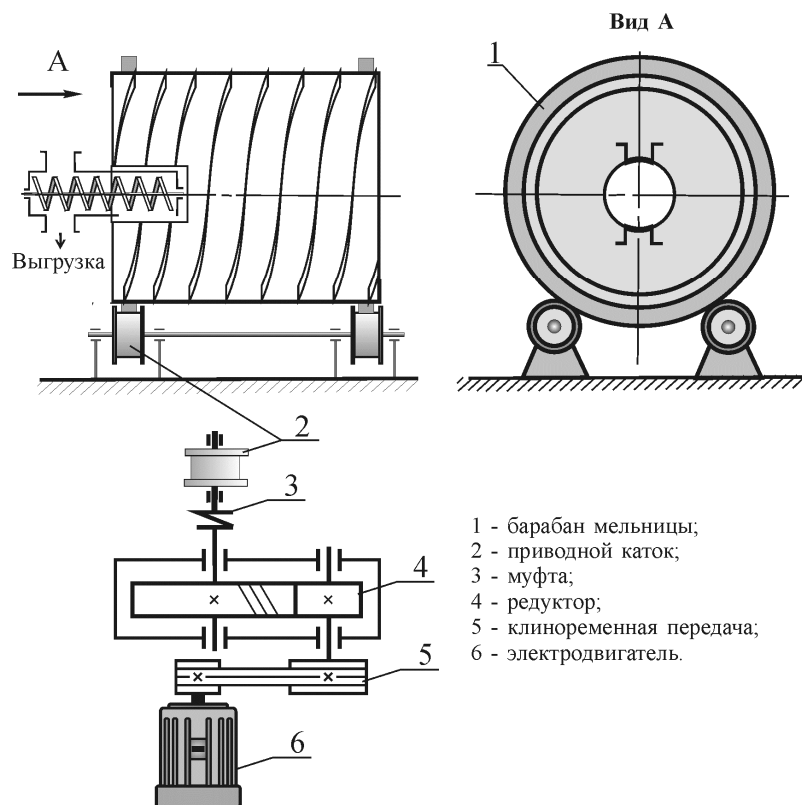


Схема 0

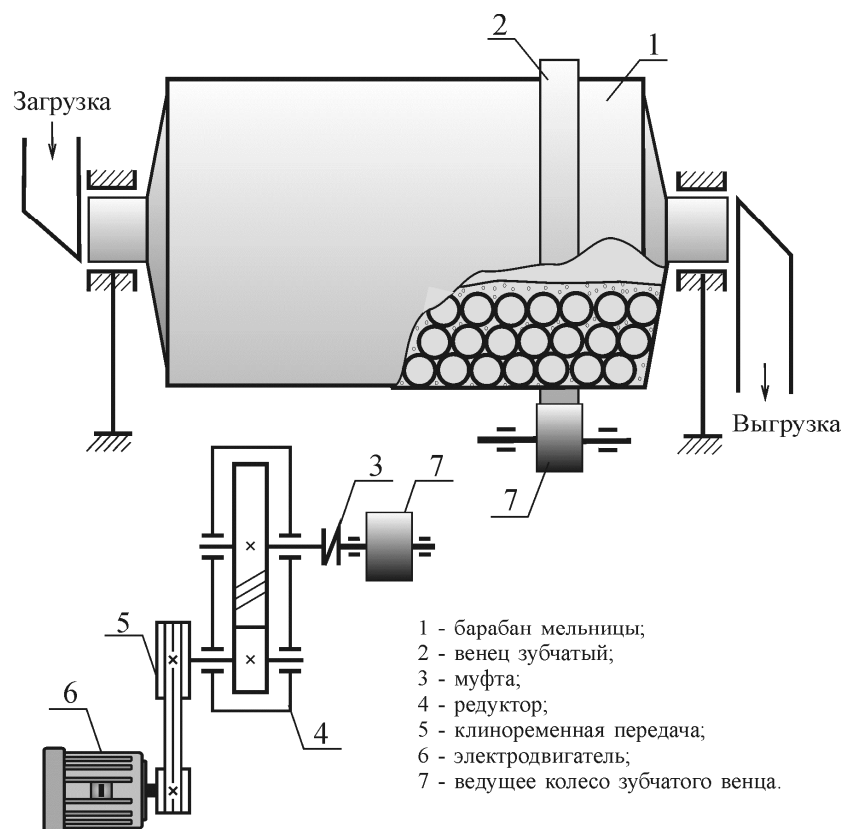


Схема 1

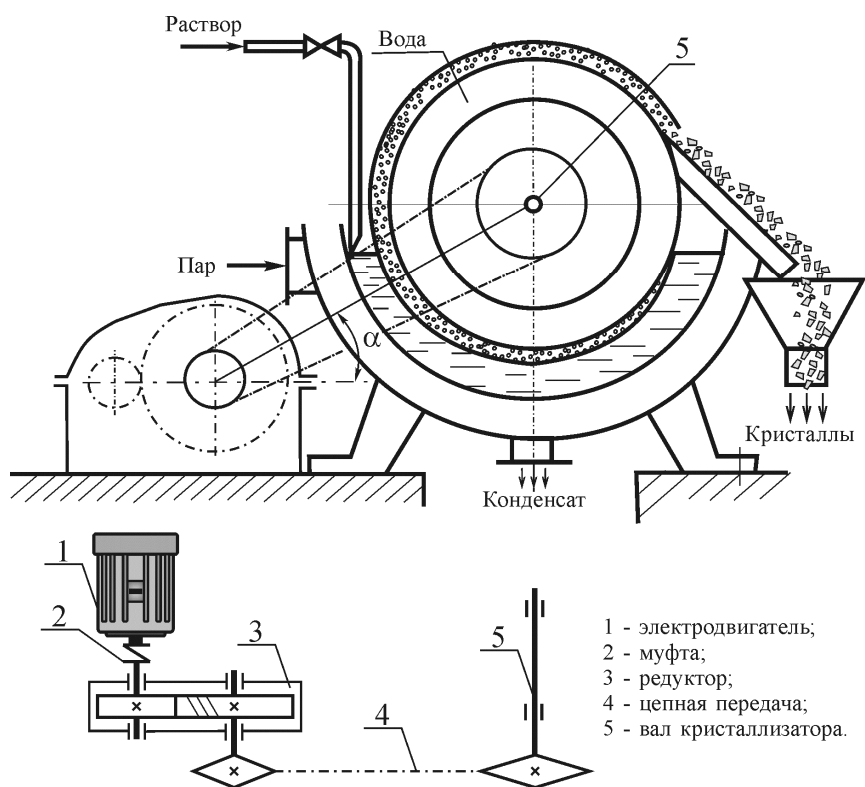


Схема 2

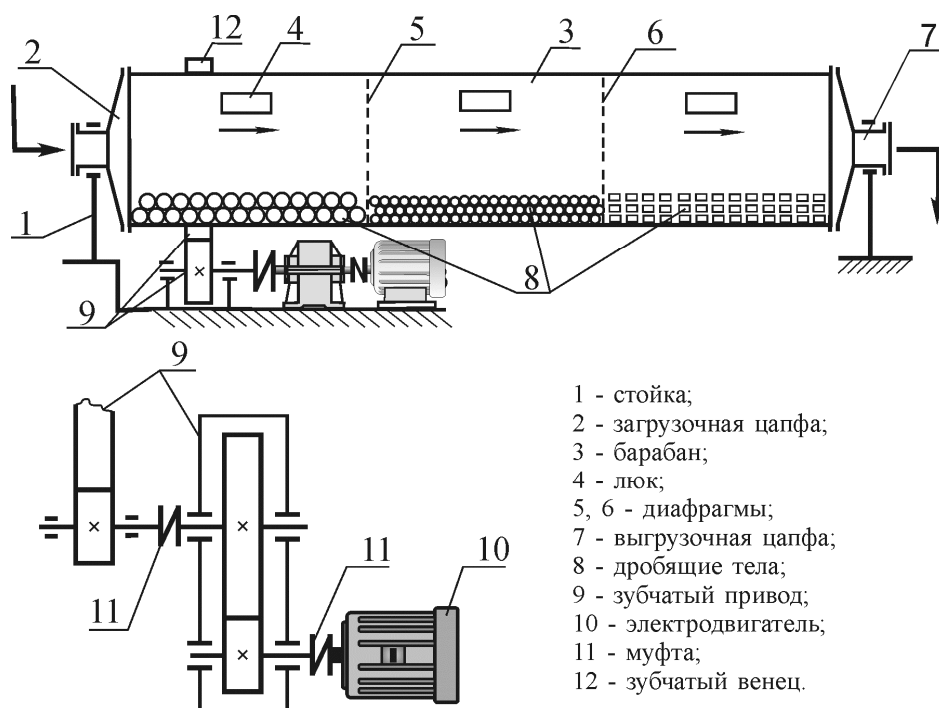


Схема 3

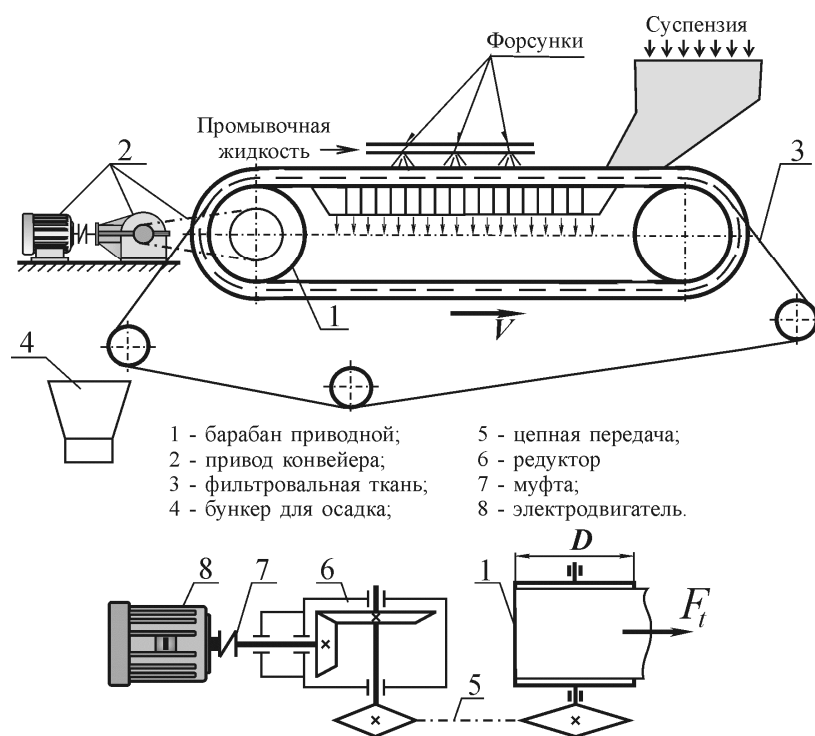


Схема 4

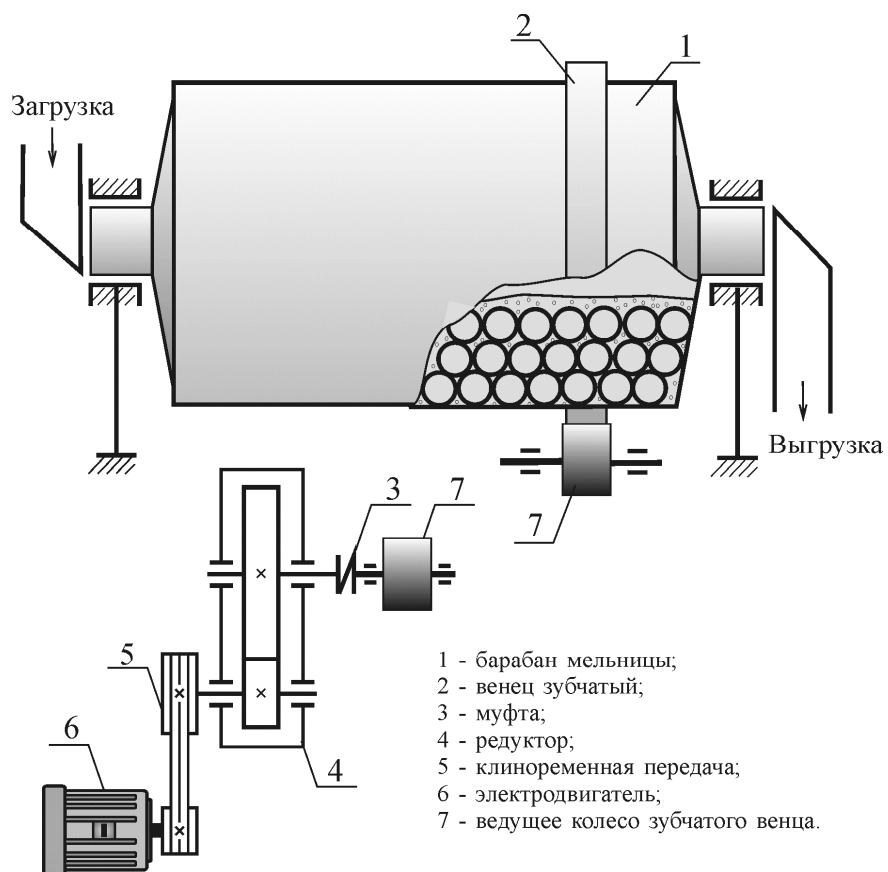


Схема 5

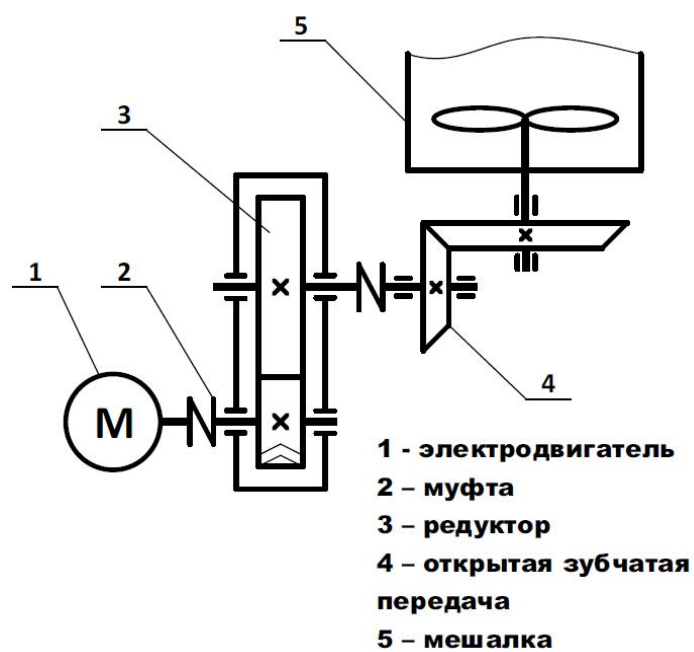


Схема 6

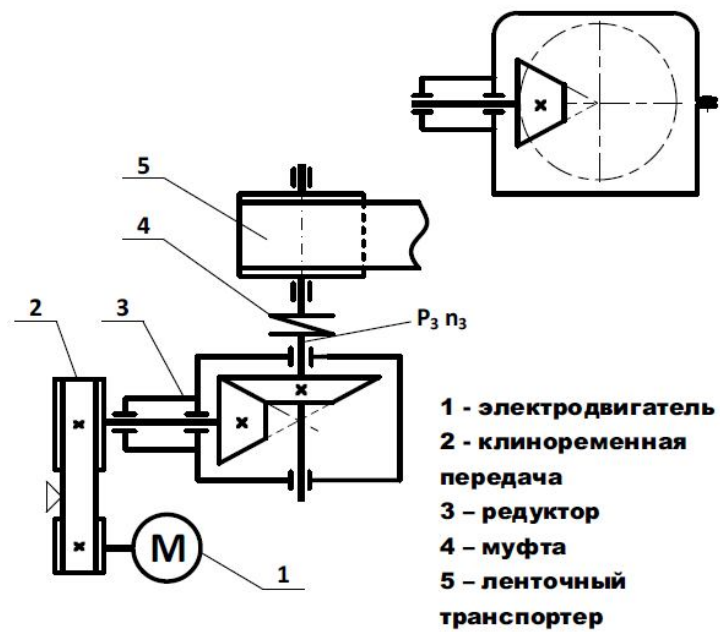


Схема 7

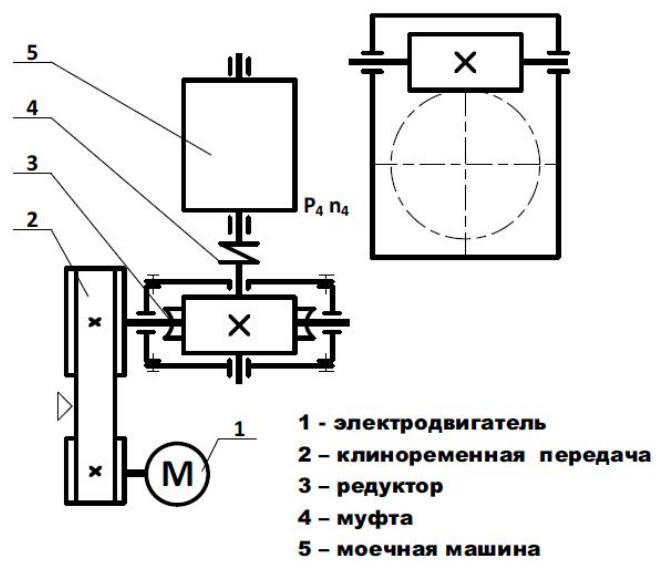


Схема 8

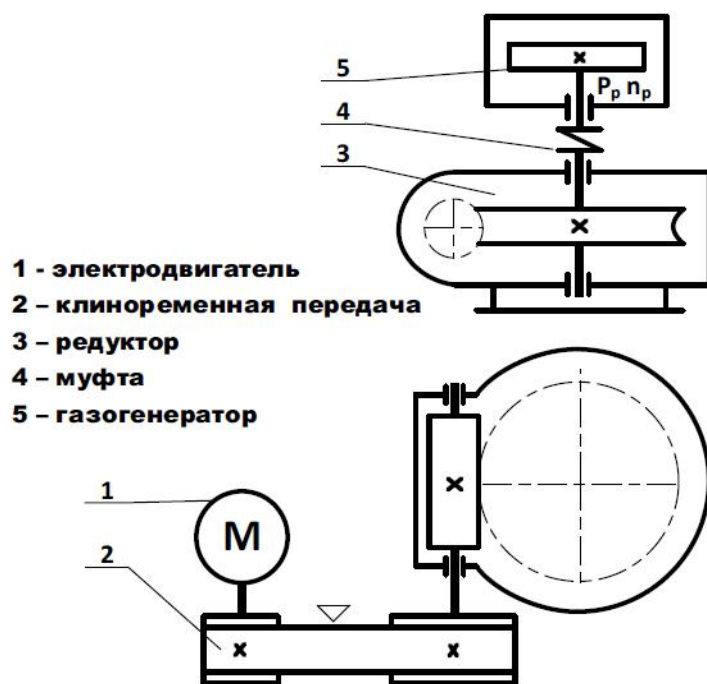


Схема 9

5. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ

После завершения изучения дисциплины студенты сдают зачет (экзамен).

К зачету (экзамену) допускаются только те студенты, у которых зачтено индивидуальное задание.

Образец зачетного (экзаменационного) билета для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме, приведен в разделе 5.2.

Образцы вопросов зачетного (экзаменационного) билета для студентов, изучающих дисциплину дистанционно, приведены в разделе 5.3.

5.1. Вопросы для подготовки к зачету (экзамену)

1. Определение связей в механике. Классификация связей.
2. Аксиомы статики.
3. Условие равновесия системы сходящихся сил. Теорема о трех силах.
4. Сложение двух параллельных сил.
5. Пара сил. Ее характеристики. Свойство момента пары.
6. Определение момента силы относительно центра. Правило векторного произведения векторов.
7. Момент силы относительно оси. Случаи, когда момент силы относительно оси равен нулю.
8. Основная лемма статики.
9. Приведение системы сил к центру. Элементы приведения.
10. Условия равновесия АТТ в векторном виде и в проекциях на координатные оси.
11. Трение скольжения. Закон Амонтона – Кулона. Трения покоя, динамическое трение.
12. Трение качения. Коэффициент трения качения.
13. Центр тяжести. Методы определения центра масс.
14. Траектория движения точки. Способы задания движения.
15. Векторный способ задания движения и его связь с координатным способом.
16. Скорость точки при всех способах задания движения.
17. Скорость точки при движении по окружности. Угловая скорость.
18. Ускорение точки при векторном способе задания движения.
19. Ускорение точки в декартовых координатах.

20. Естественный трехгранник. Проекции ускорения на оси естественного трехгранника.
21. Простейшие движения АТТ и их преобразование.
22. Скорости и ускорения точек вращающегося твердого тела.
23. Определение плоскопараллельного движения АТТ.
24. Теорема о разложении плоскопараллельного движения АТТ. Мгновенный центр вращения.
25. Скорости точек плоской фигуры при плоскопараллельном движении.
26. Ускорения точек плоской фигуры при плоскопараллельном движении.
27. Наука о механизмах и машинах, краткая история ее развития, роль и значение ее в современном машиностроении.
28. Понятия: машина, механизм. Классификация машин, механизмов. Машина-автомат. Автоматическая линия.
29. Структура механизмов. Кинематические пары и их классификация. Кинематические соединения.
30. Структура механизмов. Кинематические цепи и их классификация.
31. Механизм. Классификация механизмов. Степень подвижности механизма и ее определение. Пассивные звенья и кинематические пары. Структурная классификация механизмов (по Ассуру-Артоболовскому).
32. Силы, действующие на машину при ее работе. Уравнение движения машины (в том числе частные случаи движения: пуск, установившееся движение, останов)
33. КПД механизма. Определение КПД простых и сложных механизмов.
34. Трение в кинематических парах. Виды трения. Определение силы трения и мощности трения в поступательных кинематических парах. Угол и конус трения.
35. Трение во вращательных кинематических парах. Определение момента, мощности трения во вращательных кинематических парах. Трение в винтовых кинематических парах.
36. Трение качения. Основные положения трения качения. Определение сопротивления при перемещении грузов на катках и колесах.
37. Рычажные механизмы. Аналитический метод кинематического исследования плоских рычажных механизмов. Определение положения звеньев, их скоростей и ускорения для четырех и шестизвенных механизмов (в общем виде).
38. Кинематическое исследование механизмов методом графиков. Определение кинематических параметров методами графического дифференцирования и интегрирования.

39. Кинематическое исследование рычажных механизмов методом планов. План скоростей, его построение и свойства. Определение величин и направления угловых скоростей звеньев.

40. Кинематическое исследование рычажных механизмов методом планов. План ускорения, его построение и свойства. Определение величин и направления угловых ускорений звеньев.

41. Синтез плоских рычажных механизмов. Задачи и методы синтеза. Аналитический метод синтеза четырехзвенных механизмов по заданным положениям ведомого звена.

42. Графические методы синтеза рычажных механизмов (по заданным двум, трем положениям звена; по заданным углам поворота кривошипа и коромысла и двум положениям звена; по коэффициенту изменения средней скорости).

43. Силовой расчет механизмов. Цель силового расчета, методы. Условия статической определимости кинематической цепи.

44. Силовой расчет механизмов методом планов сил. Расчет двухзвенных двухповодковых групп (типа [В-В-В], [В-В-П]).

45. Силовой расчет начальных механизмов. Определение уравновешивающей силы и момента (в каких случаях следует определить уравновешивающую силу или уравновешивающий момент).

46. Определение величины уравновешивающей силы методом рычага Н. Е. Жуковского.

47. Силовой расчет механизмов с учетом трения в кинематических парах. Определение мощности трения и КПД механизма.

48. Силовой расчет групп с высшими кинематическими парами (кулачковых и зубчатых механизмов).

49. Зубчатые механизмы и их применение в технике (обзор). Основные геометрические параметры цилиндрической прямозубой передачи (шаг и модуль зацепления, делительная и начальная окружности, передаточное отношение, элементы зуба).

50. Кинематика сложных зубчатых механизмов с неподвижными осями (многоступенчатых механизмов, механизмов с последовательным зацеплением зубчатых колес).

51. Определение передаточных отношений. Соотношение между мощностями и моментами на входных и выходных валах.

52. Аналитический метод кинематического исследования дифференциальных и планетарных механизмов (метод Виллиса). Примеры.

53. Дифференциально-замкнутые механизмы. Определение передаточного отношения таких механизмов.

54. Кинематический синтез планетарных механизмов. Условия, которым должны удовлетворять числа зубьев планетарных механизмов, методы подбора чисел зубьев.

55. Теория зацепления. (Теорема о проекциях скоростей на нормаль, основная теорема зацепления, требования к профилям зубьев, эвольвента и ее свойства, уравнения эвольвенты).

56. Основные показатели эвольвентного зацепления: линия, угол, дуга зацепления, рабочие участки профилей зубьев, коэффициент перекрытия, удельное скольжение, удельное давление на профилях зубьев.

57. Изготовление зубчатых колес. Методы нарезания зубьев, их достоинства и недостатки. Оборудование и инструменты для нарезания зубьев.

58. Явление подрезания зубьев. Минимальное число зубьев из условия отсутствия подреза зубьев. Определение коэффициента смещения ($X_{тг}$) из условия отсутствия подреза зубьев.

59. Нарезание колес со смещением инструментальной рейки. Геометрические размеры зубчатых колес, нарезаемых со смещением (толщина зубьев, межосевое расстояние), основы и методы выбора коэффициента смещения.

60. Кулачковые механизмы. Виды кулачковых механизмов, их достоинства и недостатки. Кинематический анализ и синтез кулачковых механизмов по заданным параметрам.

61. Угол давления, как критерий работоспособности кулачкового механизма. Значения углов давления для различных типов кулачков.

62. Кулачковый механизм с вращающимся кулачком и поступательно движущимся толкателем. Определение наименьших размеров кулачка по углу передачи движения (анализ и синтез механизма).

63. Кулачковый механизм с вращающимся кулачком и коромысловым толкателем. Определение наименьших размеров кулачка по углу передачи движения (анализ и синтез механизма).

64. Кулачковый механизм с поступательным движением кулачка и толкателя. Определение наименьших размеров кулачка по углу передачи движения. Пространственные кулачковые механизмы. Наименьший радиус кулачка барабанного типа.

65. Кулачковый механизм с вращающимся кулачком и поступательно движущимся тарельчатым толкателем. Определение наименьших размеров кулачка.

66. Динамика механизмов. Приведение сил, моментов сил; приведение массы моментов инерции масс.

67. Исследование движения машины под действием сил, являющихся функцией положения ее звеньев. Неравномерность хода машины

при установившемся движении и его оценка (коэффициент неравномерности хода, коэффициент динамичности). Методы регулирования движения машин.

5.2. Образец зачетного (экзаменационного) билета для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме

В данном подразделе приведен образец зачетного (экзаменационного) билета для студентов, сдающих зачет (экзамен), во время сессии в Томске. Билет содержит четыре теоретических вопроса и одно практическое задание.

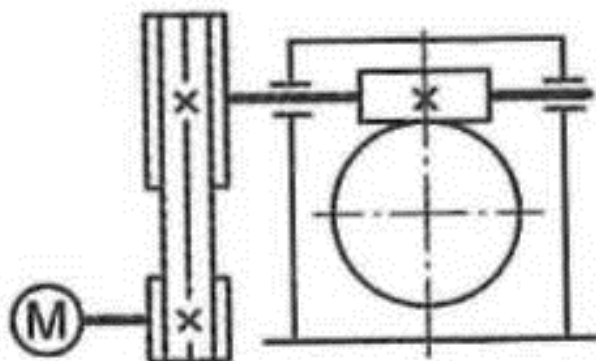
Билет № X

Вопросы:

1. Чему равен момент силы относительно точки? Как изобразить его в виде вектора-момента? Чем этот вектор отличается от вектора-момента пары?
2. Чем отличается условная диаграмма растяжения хрупких материалов от условной диаграммы растяжения пластичных материалов?
3. В чем заключаются особенности работы косозубой цилиндрической эвольвентной передачи по сравнению с работой прямозубой цилиндрической эвольвентной передачей?
4. В чем заключаются достоинства и недостатки сварных соединений по сравнению с другими видами неразъемных соединений?

Практическое задание.

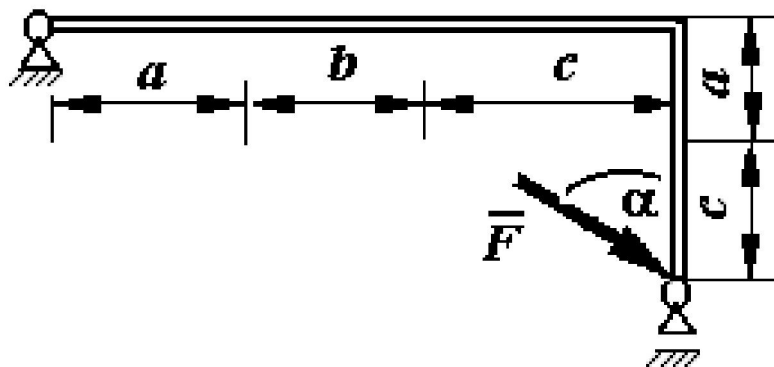
Определить требуемую мощность электродвигателя, если мощность на выходе из передачи 12,5 кВт; КПД ременной передачи 0,96; КПД червячного редуктора 0,82.



5.3. Образцы вопросов зачетного (экзаменационного) билета для студентов, изучающих дисциплину дистанционно

В данном подразделе приведены примеры вопросов из зачетного (экзаменационного) билета для студентов, сдающих зачет (экзамен) в онлайн-режиме (через Интернет на сайте ИнЭО). Зачетный (экзаменационный) билет включает в себя 20 заданий: задания на выбор единственного ответа (8); задания на выбор множественных ответов (4); задания на установление последовательности (4); задания на установление соответствия (2); задания для краткого ответа (2).

1. Задания на выбор единственного ответа

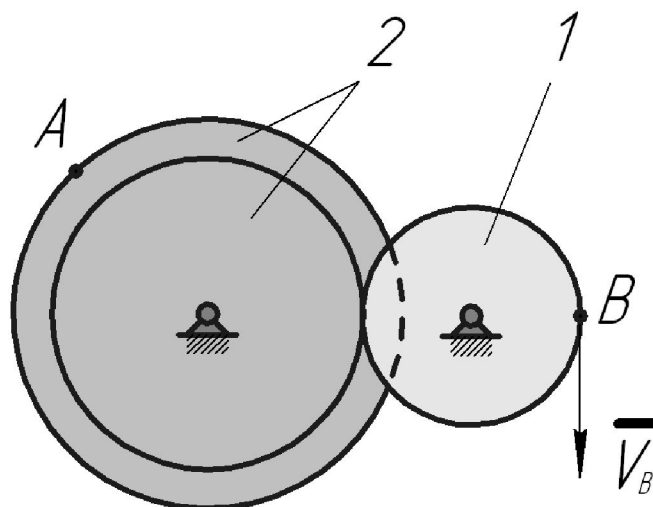


Дано: $F = 8$ кН, $a = 0,2$ м, $b = 0,3$ м, $c = 0,1$ м, $\alpha = 30^\circ$. Найти горизонтальную составляющую реакции в неподвижном цилиндрическом шарнире (кН):

- 1) 2
- 2) -5
- 3) -3
- 4) -4

2. Задания на выбор множественных ответов

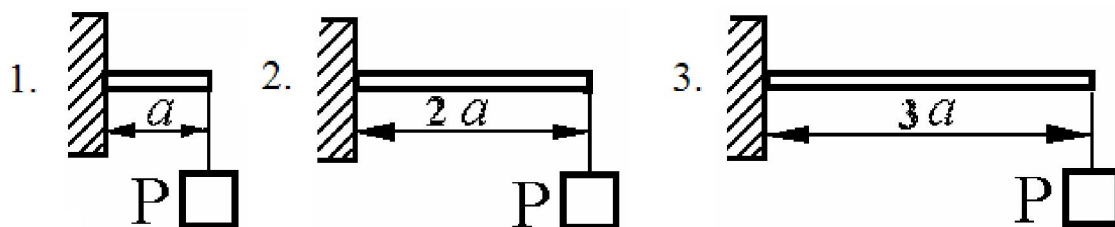
Указать неверные значения скорости точки A (м/с).



$$V_B = 2 \text{ м/с}; \quad r_1 = 0,1 \text{ м}; \quad r_2 = 0,2 \text{ м}; \quad R_2 = 0,4 \text{ м};$$

- 1) 4
- 2) 3
- 3) 2
- 4) 1

3. Задания на установление последовательности



Установить последовательность

- 1) $m_1(\bar{P})$
- 2) $m_2(\bar{P})$
- 3) $m_3(\bar{P})$

по мере уменьшения по модулю момента груза весом P относительно заделки в стене:

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3

4. Задания на установление соответствия

Установить соответствие:

1. $m_x(\bar{F}) = \dots$

2. $m_y(\bar{F}) = \dots$

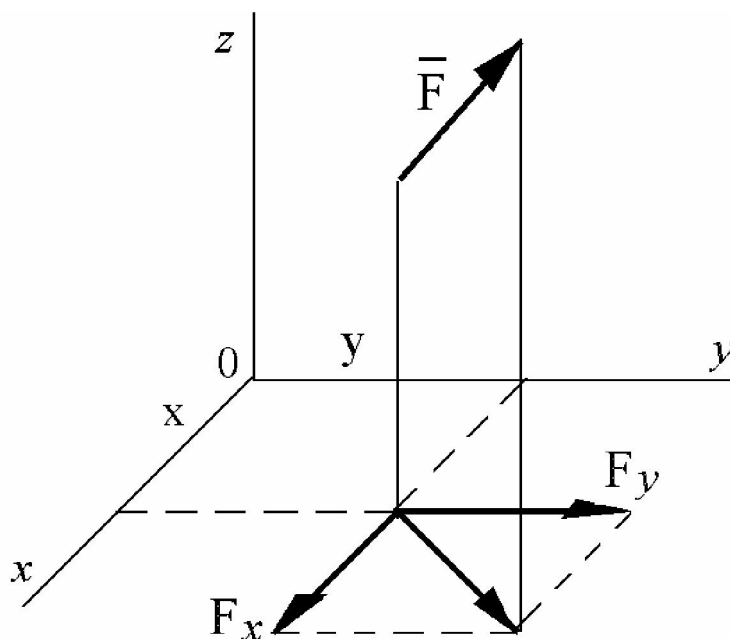
3. $m_z(\bar{F}) = \dots$

1. $x F_y - y F_x$

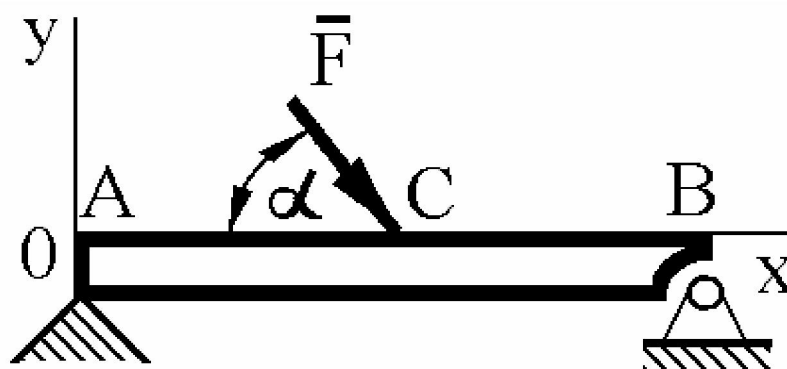
2. $x F_x - y F_y$

3. $z F_x - x F_z$

4. $y F_x - z F_y$



5. Задания для краткого ответа



Дано: $\alpha = 60^\circ$; $AC = CB = 3$ м; $F = 16\sqrt{3}$ Н; масса балки AB 18 кг, трением пренебречь. Найти реакцию угла (Н).

Ваш ответ:

6. УЧЕБНО–МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Литература обязательная

1. Гурин В.В. Механика: учебник для вузов / В.В. Гурин, В.В. Тихонов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 366 с.
2. Гурин В.В. Оформление контрольных работ и курсовых проектов по механике: учеб.-методич. пособие / В.В. Гурин, В.М. Замятин, В.И. Наплеков. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 88 с.
3. Гурин В.В. Расчет и конструирование узлов и деталей машин (для машиностроительных специальностей): справоч. пособие / В.В. Гурин, В.М. Замятин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 247 с.
4. Гурин В.В. Расчет и конструирование узлов и деталей машин (для машиностроительных специальностей): учеб. пособие / В.В. Гурин, В.М. Замятин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 284 с.
5. Теоретическая механика: учеб. пособие (Ч. 1) / В.В. Дробчик, М.П. Шумский, В.А. Дубовик, Ф.А. Симанкин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 116 с.
6. Дробчик В.В. Теоретическая механика: учеб. пособие (Ч. 2) / В.В. Дробчик, М.П. Шумский, Ф.А. Симанкин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 136 с.
7. Теоретическая и прикладная механика (Прикладная механика, Механика): метод. указ. к выполнению курсового проекта для студентов ИДО, обучающихся по напр.: 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника», 140400 «Электроэнергетика и электротехника», 200100 «Приборостроение», 240100 «Химическая технология», 241000 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» / сост. Е.Н. Пашков, О.С. Пустовых, Г.Р. Зиякаев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 35.
8. Бать М.Н. Теоретическая механика в примерах и задачах. Ч. I–II. / М.Н. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Кельзон. – М.: Наука, 1961.
9. Бутенин Н.В. Курс теоретической механики. Т. 1–2. / Н.В. Бутенин, Я.Л. Лунц, Д.Р. Меркин. – М.: Наука, 1985.
10. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: учебник для ВТУЗов / С.М. Тарг. – М.: Высш. шк., 1995. – 416 с.

11. Яблонский А.А. Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике: учеб. пособие для технических вузов / А.А. Яблонский. – М.: Высш. шк., 1985. – 368 с.
12. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – М.: Машиностроение, 1979. – 640 с.
13. Юдин В.А. Теория механизмов и машин / В.А. Юдин, Л.В. Петрокас. – М.: Высш. шк., 1967. – 528 с.
14. Беляев Н.М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев. – М.: Высш. шк., 1976. – 608 с.
15. Миролубов И.Н. Пособие к решению задач по сопротивлению материалов / И.Н. Миролубов. – М.: Машиностроение, 1974. – 460 с.
16. Степин П.А. Сопротивление материалов / П.А. Степин. – М.: Машиностроение, 1979. – 312 с.
17. Иосилевич Г.Б. Прикладная механика / Г.Б. Иосилевич, Г.Б. Строганов, Г.С. Маслов. – М.: Машиностроение, 1985. – 564 с.
18. Иосилевич Г.Б. Прикладная механика / Г.Б. Иосилевич, Г.Б. Строганов, Г.С. Маслов. – М.: Высш. шк., 1989. – 352 с.
19. Иосилевич Г.Б. Детали машин / Г.Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1988. – 358 с.
20. Прикладная механика / под ред. В.В. Джамая. – М.: Дрофа, 2004. – 416 с.
21. Прикладная механика / под ред. А.Т. Скойбеды. – Минск: Высш. шк., 1997. – 522 с.
22. Сахипова Р.М. Составление кинематических схем и структурный анализ механизмов / Р.М. Сахипова. – Томск: Изд. ТПУ, 1985.
23. Корняков О.Г. Кинематический анализ зубчатых механизмов / О.Г. Корняков, П.Т. Мальцев. – Томск: Изд. ТПУ, 1981.

6.2. Литература дополнительная

24. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т. 1. / В.И. Ануриев. – М.: Машиностроение, 1994. – 728 с.
25. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т. 2. / В.И. Ануриев. – М.: Машиностроение, 1994. – 560 с.
26. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т. 3. / В.И. Ануриев. – М.: Машиностроение, 1994. – 558 с.
27. Борисов С.И. Основы технической механики и детали механизмов приборов / С.И. Борисов, Ф.Г. Зуев. – М.: Машиностроение, 1977. – 344 с.
28. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П.Ф. Дунаев. – М.: Высш. шк., 1978. – 352 с.

29. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П.Ф. Дунаев, П.А. Леликов. – М.: Высш. шк., 1985. – 416 с.
30. Бакуменко В.И. Краткий справочник конструктора нестандартного оборудования. Т. 1 / В.И. Бакуменко. – М.: Машиностроение, 1997. – 544 с.
31. Бакуменко В.И. Краткий справочник конструктора нестандартного оборудования. Т. 2 / В.И. Бакуменко. – М.: Машиностроение, 1997. – 524 с.
32. Машнев М.М. Теория механизмов и машин и детали машин / М.М. Машнев, Е.А. Красковский, П.А. Лебедев. – Л.: Машиностроение, 1980. – 512 с.
33. Осецкий В.М. Прикладная механика / В.М. Осецкий. – М.: Машиностроение, 1977. – 488 с.
34. Тарабасов Н.Д. Проектирование деталей и узлов машиностроительных конструкций / Н.Д. Тарабасов, П.Г. Учаев. – Л.: Машиностроение, 1983. – 240 с.
35. Чернавский С.А. Проектирование механических передач / С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцев. – М.: Машиностроение, 1984. – 558 с.
36. Чернилевский Д.В. Курсовое проектирование деталей машин и механизмов / Д.В. Чернилевский. – М.: Высш. шк., 1980. – 240 с.
37. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин / А.Е. Шейнблит. – М.: Высш. шк., 1991. – 432 с.

6.3. Интернет-ресурсы

38. СТО ТПУ 2.5.01–2006. Система образовательных стандартов. Работы выпускные, квалификационные, проекты и работы курсовые структура и правила оформления [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://portal.tpu.ru/departments/head/methodic/standart>, свободный.

Учебное издание

МЕХАНИКА 1.3

Методические указания и индивидуальные задания

Составитель
ЗИЯКАЕВ Григорий Ракитович

Рецензент
доктор технических наук,
профессор кафедры ТПМ ИПР
Л.А. Саруев

Компьютерная верстка *О.А. Гончарук*



Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета
сертифицирована в соответствии с требованиями ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru