



Федеральное агентство по рыболовству
БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»
Калининградский морской рыбопромышленный колледж

РАССМОТРЕНО И ОДОБРЕНО
На заседании методической комиссии

Протокол №__ от «__»_____20__г.
Председатель_____

МЕХАНИКА

Методические указания по организации самостоятельной работы
для обучающихся заочной формы обучения по специальности
26.02.06 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики»

МО-26.02.06.ОП.02.МУ

РАЗРАБОТЧИК

Преподаватель колледжа Апанасович Т.В.

ЗАВЕДУЮЩИЙ ОТДЕЛЕНИЕМ

Попов А.С.

ГОД РАЗРАБОТКИ

2018

Методические указания разработаны в соответствии с рабочей программой по учебной дисциплине МО-26.02.06 ОП.02.РП.

Содержание

Пояснительная записка	4
Тематический план учебной дисциплины	7
Введение	8
РАЗДЕЛ 1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА.....	9
Тема 1.1 Основные понятия и аксиомы статики	9
Тема 1.2 Плоская система сходящихся сил.....	11
Тема 1.3 Пара сил. Момент пары сил. Момент силы относительно точки	13
Тема 1.4 Плоская система произвольно расположенных сил	15
Тема 1.5 Пространственная система сил.....	18
Тема 1.6 Центр параллельных сил. Центр тяжести	21
Тема 1.7 Основные понятия кинематики.....	23
Тема 1.8 Простейшие движения твердого тела.....	25
Тема 1.9 Сложное движение точки и тела	27
Тема 1.10 Основы гидравлики и термодинамики	29
Тема 1.11 Основные понятия и аксиомы динамики	30
Тема 1.12 Метод кинетостатики.....	31
Тема 1.13 Работа и мощность.....	33
Тема 1.14 Теоремы динамики	34
РАЗДЕЛ 2 СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ	36
Тема 2.1 Основные понятия и положения.....	36
Тема 2.2 Растяжение и сжатие	39
Тема 2.3 Практические расчеты на срез и смятие	41
Тема 2.4 Кручение	42
Тема 2.5 Изгиб.....	43
РАЗДЕЛ 3 ДЕТАЛИ МАШИН.....	47
Тема 3.1 Общие сведения о передачах	47
Тема 3.2 Зубчатые передачи. Редуктора.....	50
Тема 3.3 Червячные передачи.....	52
Тема 3.4 Фрикционные передачи.....	53
Тема 3.5 Ременные передачи	53
Тема 3.6 Цепные передачи	55
Тема 3.7 Оси, валы, шпоночные, резьбовые соединения	56
Тема 3.8 Подшипники	61
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА	63
Методические указания к выполнению контрольной работы	74
Перечень экзаменационных вопросов	101
Перечень практических занятий	104
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	105
Рекомендуемая литература.....	111

Пояснительная записка

Учебная дисциплина «Механика» предусматривает изучение основ общих законов движения и равновесия материальных тел, основ расчета элементов конструкций на прочность, жесткость, устойчивость и усталость, основ проектирования деталей и сборочных единиц, с учетом знаний учащихся по математике, основ информатики, вычислительной техники, черчения, физики. Эта дисциплина является общепрофессиональной, устанавливающей базовые знания для освоения специальных дисциплин по этой специальности.

Учебная дисциплина «Механика» состоит из трех разделов:

- раздел 1 «Теоретическая механика» (статика, кинематика и динамика);
- раздел 2 «Сопrotивление материалов»
- раздел 3 «Детали машин»

В результате освоения программы дисциплины «Механика» обучающийся должен обладать общими и профессиональными компетенциями:

профессиональные компетенции

ПК 1.1. Обеспечивать оптимальный режим работы электрооборудования и средств автоматики с учетом их функционального назначения, технических характеристик и правил эксплуатации.

ПК 1.2. Измерять и настраивать электрические цепи и электронные узлы.

ПК 1.3. Выполнять работы по регламентному обслуживанию электрооборудования и средств автоматики.

ПК 1.4. Выполнять диагностирование, техническое обслуживание и ремонт судового электрооборудования и средств автоматики.

ПК 1.5. Осуществлять эксплуатацию судовых технических средств в соответствии с установленными правилами и процедурами, обеспечивающими безопасность операций и отсутствие загрязнения окружающей среды.

ПК 2.1. Планировать и организовывать работу коллектива исполнителей.

ПК 2.2. Руководить работой коллектива исполнителей.

ПК 2.3. Анализировать процесс и результаты деятельности коллектива исполнителей.

ПК 3.1. Организовывать мероприятия по обеспечению транспортной безопасности.

ПК 3.2. Применять средства по борьбе за живучесть судна.

ПК 3.3. Организовывать и обеспечивать действия подчиненных членов экипажа судна при организации учебных пожарных тревог, предупреждения возникновения пожара и при тушении пожара.

ПК 3.4. Организовывать и обеспечивать действия подчиненных членов экипажа судна при авариях.

ПК 3.5. Оказывать первую медицинскую помощь пострадавшим.

ПК 3.6. Организовывать и обеспечивать действия подчиненных членов экипажа судна при оставлении судна, использовать спасательные шлюпки, спасательные плоты и иные спасательные средства.

ПК 3.7. Организовывать и обеспечивать действия подчиненных членов экипажа судна по предупреждению загрязнения водной среды.

- общие компетенции:

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес,

ОК 2. Организовать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

ОК 10. Владеть письменной и устной коммуникацией на государственном и иностранном языке.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

знать:

- общие законы статики и динамики жидкостей и газов;
- основные законы термодинамики;

- основные аксиомы теоретической механики;
- кинематику движения точек и твердых тел;
- динамику преобразования энергии в механическую работу;
- законы трения и преобразования качества движения;
- способы соединения деталей в узлы и механизмы

уметь:

- анализировать условия работы деталей машин и механизмов, оценивать их работоспособность;
- производить статический, кинематический и динамический расчеты механизмов и машин;
- определять внутренние напряжения в деталях машин и элементах конструкций.
- проводить технический контроль и испытания оборудования

При изучении учебного материала необходимо соблюдать единство терминологии и обозначений в соответствии с действующими стандартами, применять обозначения Международной системы единиц измерений (СИ), выполнять вычислительные операции с использованием электронно-вычислительной техники.

Некоторые вопросы по темам выносятся на самостоятельное изучение. Также указано, по каким темам проводятся практические занятия. Тематический план носит рекомендательный характер. Отводимое количество часов на виды занятий согласуется с учебным планом для данной специальности по заочной форме обучения.

Рекомендуется ведение конспекта (без вывода формул).

В соответствии с учебным планом курсанты на первом курсе сдают экзамен.

В разделе «Задания рубежного контроля (контрольных работ)» изложены: пояснительная записка к выполнению домашней контрольной работы; задания и их выбор; методические указания к решению задач; примеры выполнения задач.

В приложении приведен необходимый справочный материал.

Тематический план учебной дисциплины

Наименование разделов и тем	Максимальное количество часов при очной форме обучения	Количество часов при заочной форме обучения		
		всего	в том числе	
			практ. зан.	курсовая работа
Раздел 1 Теоретическая механика	60			
Статика	34			
Тема 1.1 Основные понятия и аксиомы статики	2			
Тема 1.2 Плоская система сходящихся сил.	8			
Тема 1.3 Пара сил. Момент пары сил	4			
Тема 1.4 Плоская система произвольно расположенных сил	10	4	2	
Тема 1.5 Пространственная система сил	6			
Тема 1.6 Центр параллельных сил. Центр тяжести	6			
Кинематика	14			
Тема 1.7 Основные понятия кинематики	2	1		
Тема 1.8 Простейшие движения твердого тела	6			
Тема 1.9 .Сложное движение точки и тела	2			
Тема 1.10 Основы гидравлики и термодинамики	4			
Динамика	10			
Тема 1.11 Основные понятия и аксиомы динамики				
Тема 1.12 Метод кинетостатики	2	1		
Тема 1.13 Работа и мощность	2			
Тема 1.14 Теоремы динамики	6			
Раздел 2 Сопротивление материалов	28			
Тема 2.1 Основные понятия положения	2	1		
Тема 2.2 Растяжение и сжатие	6			
Тема 2.3 Практические расчеты на срез и смятие	4			
Тема 2.4 Кручение	6	1		
Тема 2.5 Изгиб	4	2	2	
Тема 2.6 Сложное сопротивление. Гипотезы прочности.	4		-	
Тема 2.7 Устойчивость сжатых стержней	2			
Раздел 3 Детали машин	26			
Тема 3.1 Общие сведения о передачах.	2	4	2	
Тема 3.2 Зубчатые передачи. Редуктора	6	2		
Тема 3.3 Червячная передача	4			
Тема 3.4 Фрикционные передачи				
Тема 3.5 Ременные передачи	4			
Тема 3.6 Цепные передачи	2			
Тема 3.7 Оси, валы, шпоночные, зубчатые соединения	6			
Тема 3.8 Подшипники	2			
Всего по дисциплине	119	16	6	

Введение

Обучающийся должен:

иметь представление:

- о задачах дисциплины в подготовке специалиста;

Обучающийся должен знать:

- содержание дисциплины.

Содержание технической механики, ее роль и значение в технике.

Материя и движение. Механическое движение. Основные части теоретическая механики: статика, кинематика, динамика. Сопротивление материалов. Детали машин. Роль учебной дисциплины «Техническая механика» в общепрофессиональной подготовке специалиста.

Литература: [6, §1.1]

Методические указания

Техническая механика - комплексная дисциплина. Она включает три раздела; «Теоретическая механика», «Сопротивление материалов», «Детали машин».

«Теоретическая механика» - раздел, в котором излагаются основные законы движения твердых тел и их взаимодействия. В разделе «Сопротивление материалов» изучаются основы прочности материалов и методы расчетов элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость под действием внешних сил. В разделе «Детали машин» рассматриваются основы конструирования и расчета деталей и сборочных дисциплин общего назначения.

Дисциплина «Техническая механика» является общепрофессиональной, обеспечивающей базовые знания при изучении специальных дисциплин, изучаемых в дальнейшем.

Задачи теоретической механики

Теоретическая механика - наука о механическом движении материальных твердых тел и их взаимодействии. Механическое движение понимается как перемещение тела в пространстве и во времени по отношению к другим телам, в частности к земле.

Теоретическую механику подразделяют на статику, кинематику и динамику.

Статика изучает условия равновесия тел под действием сил.

Кинематика рассматривает движение тел как перемещение в пространстве; характеристики тел и причины, вызывающие движение, не рассматриваются.

Динамика изучает движение тел под действием сил.

*Документ управляется программными средствами 1С: Колледж
Проверь актуальность версии по оригиналу, хранящемуся в 1С: Колледж*

В отличие от физики теоретическая механика изучает законы движения некоторых абстрактных *абсолютно твердых тел*: здесь материалы, форма тел существенного значения не имеют. При движении абсолютно твердое тело не деформируется и не разрушается. В случае, когда размерами тела можно пренебречь, тело заменяют материальной точкой, что значительно облегчает решение задач и движения.

Вопросы для самоконтроля

1. Сколько разделов содержит теоретическая механика? Что изучается в каждом из них?
2. Что называется механическим движением?
3. Понятие о силе. Единицы измерения.

РАЗДЕЛ 1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА СТАТИКА

Тема 1.1 Основные понятия и аксиомы статики

Обучающийся должен

иметь представление:

- о механическом движении, о системе отсчета, равновесии;
- об абсолютно твердом теле и материальной точке;
- о свободном и связанном телах;

Обучающийся должен знать:

- аксиомы статики;
- виды связей и их реакции;
- принципы освобождения тела от связей;

Обучающийся должен уметь:

- определять направления реакций связей основных типов.

Основные понятия и аксиомы статики.

Материальная точка, абсолютно твердое тело. Сила, система сил, эквивалентные системы сил. равнодействующая и уравновешивающая силы. Аксиомы статики. Свободное и несвободное тело. Связи и реакции связей. Определение направления реакций связей основных типов.

Литература: [16, §1.2 – 1.5].

Методические указания

Все теоремы и уравнения статики выводятся из нескольких исходных положений. Эти положения называются аксиомами статики.

Первая аксиома

Под действием уравновешенной системы сил абсолютно твердое тело или материальная точка находятся в равновесии или движутся равномерно и прямолинейно (закон инерции).

Вторая аксиома

Не нарушая механического состояния тела, можно добавить или убрать уравновешенную систему сил (принцип отбрасывания системы сил, эквивалентной нулю).

Третья аксиома

При взаимодействии тел всякому действию соответствует равное и противоположно направленное противодействие. Силы, действующие и противодействующие, всегда приложены к разным телам, поэтому они не уравновешиваются.

Все законы и теоремы статики справедливы для свободного твердого тела.

Тела, ограничивающие движение рассматриваемого тела, называются связями. Между телом и связью на основании закона равенства действия и противодействия возникают равные и противоположно направленные силы взаимодействия.

Силы, действующие от связей и препятствующие перемещению, называют реакциями связей.

Реакция связи всегда направлена с той стороны, куда нельзя перемещаться.

Реакция связи - сила, с которой опора действует на опирающееся тело. *Реакция связи приложена к опирающемуся телу.*

Принцип освобожденности от связей: всякое связанное тело можно представить свободным, если связи заменить их реакциями.

Все связи можно разделить на несколько типов:

Связь – гладкая опора; гибкая связь; жесткий стержень; шарнирная опора; защемление или «заделка».

Вопросы для самоконтроля

1. Что изучает статика? Основные определения: эквивалентные системы; равнодействующая и уравновешивающая силы; уравновешенная система сил; связи и силы реакций.

2. Аксиомы статики.

3. Как определяются реакции связей?

4. Какие разновидности связей рассматриваются в статике?

Тема 1.2 Плоская система сходящихся сил

Обучающийся должен

иметь представление:

- о плоской системе сходящихся сил;
- о приведении сил к одной точке;
- о равнодействующей сил;
- о равновесии системы сил;

Обучающийся должен знать:

- геометрический и аналитический способы определения равнодействующей силы;
- условие и уравнения равновесия системы сил;

Обучающийся должен уметь:

- определять равнодействующую системы сил;
- решать задачи на равновесие системы сил.

Плоская система сходящихся сил. Способы сложения двух сил. Разложение силы на две составляющие.

Определение равнодействующей системы сил геометрическим способом. Силовой многоугольник. Условие равновесия в векторной форме.

Проекция силы на ось и на две взаимно-перпендикулярные оси. Аналитическое определение равнодействующей. Уравнения равновесия. Рациональный выбор координатных осей.

Литература: [1, §§ 8-16]; [1, задачи №№ 7,8]; [4, задачи №№ 17, 20-23, 26], [16, § 2.1, §2.2].

Методические указания

Проекция силы на ось

Определение. Проекция силы на каждую координатную ось определяется произведением модуля силы на косинус угла между направлениями оси и силы:

$$X = F \cos (F, i); \quad Y = F \cos (F, j); \quad Z = F \cos (F, k),$$

где

$(F, i); (F, j); (F, k)$ - углы, заключенные между направлением силы F и направлениями осей x, y, z .

Модуль и направление силы определяются по проекциям:

$$F = \sqrt{X^2 + Y^2}; \quad \cos(\vec{F}, i) = X/F; \quad \cos(\vec{F}, j) = Y/F$$

В формуле (1.1) $X = F \cos(\vec{F}, i)$ угол (\vec{F}, i) представляет угол α между направлением силы F и оси x , проведенной через точку приложения силы. Этот угол отсчитывается от оси по направлению движения часовой стрелки или против, чтобы его величина не превышала 180° при любом направлении силы.

При вычислении проекции силы на ось возможны следующие частные случаи:

1. Проекция положительна: $\angle\alpha < 90^\circ$; $X = F \cos \alpha$
2. Проекция равна нулю: $\angle\alpha = 90^\circ$; $X = F \cos \alpha$
3. Проекция отрицательна: $\angle\alpha > 90^\circ$; $X = F \cos \alpha = -F \cos \beta$,

где

β - острый угол между линией действия силы и осью.

При решении задач рекомендуется вычислять абсолютное значение проекции силы как произведение модуля силы на косинус острого угла между линией действия силы и осью, определяя знак проекции непосредственно по чертежу.

Необходимым и достаточным условием равновесия плоской системы сходящихся сил является равенство нулю равнодействующей этой системы сил.

Условие равновесия плоской системы сходящихся сил в геометрической форме выражается одним векторным равенством:

$$\vec{F}_{\text{зл}} = \sum \vec{F}_k$$

Векторное равенство выражает условие замкнутости многоугольника данных сил.

Условие равновесия плоской системы сходящихся сил в аналитической форме выражается двумя алгебраическими равенствами:

$$\sum F_{kx} = 0, \quad \sum F_{ky} = 0,$$

и их называют условиями равновесия плоской системы сходящихся сил: для равновесия плоской системы сходящихся сил необходимо и достаточно, чтобы алгебраические суммы проекций всех сил на координатные оси были равны нулю.

Вопросы для самоконтроля

1. Какая система сил называется сходящейся?
2. Как определяется равнодействующая системы сходящихся сил?
3. Какие уравнения можно составить для уравновешенной плоской системы сходящихся сил?
4. Определение проекций сил на оси координат.

Тема 1.3 Пара сил. Момент пары сил. Момент силы относительно точки

Обучающийся должен

иметь представление:

- о силах, создающих пары, и действие пары сил на тело;
- о моменте силы относительно точки;

знать:

- момент пары сил: обозначение, модуль. Знак;
- свойства пар сил;
- момент силы относительно точки: модуль, знак, обозначение;
- частный случай;

уметь:

- определять момент пары сил и результирующей пары системы пар сил;
- рассчитывать момент силы относительно точки.

Пара сил и ее характеристики. Момент пары. Эквивалентные пары. Сложение пар. Условие равновесия системы пар сил.

Момент силы относительно точки.

Литература: [1, §§ 18-24]; [4, задачи №№ 71, 73-75, 78, 86, 98,99].
[16, § 4.1 - 4.4]

Методические указания

Момент пары сил

Систему двух равных по модулю параллельных сил, направленных в противоположные стороны и не лежащие на одной прямой, называют парой сил.

При изучении теоретической механики необходимо совершенно отчетливо уяснить, что в статике рассматриваются два простейших элемента: сила и пара сил. Любые две силы, кроме сил, образующих пару, всегда можно заменить одной – сложить их (найти равнодействующую). Пара сил не поддается дальнейшему упрощению, она не имеет равнодействующей и является простейшим элементом.

Действие пары сил на тело характеризуется ее моментом – произведением одной из сил пары на ее плечо (на кратчайшее расстояние между линиями действия сил, образующих пару):

$$M = \pm Ph$$

Единица измерения момента пары – $M = (1 \text{ н} \cdot \text{м})$

Несколько пар, действующих в одной плоскости, можно заменить одной парой сил (равнодействующей парой), момент которой равен алгебраической сумме моментов данных пар:

$$M_{рав} = \sum M_i.$$

При равновесии пар сил:

$$\sum M_i = 0.$$

Если пары сил действуют в одной плоскости, то при решении задач достаточно рассматривать моменты пар как алгебраические величины. Знак момента определяется в зависимости от направления вращающего действия пары сил: считается момент положительным, если пара сил действует на тело по ходу часовой стрелки; если пара сил действует на тело против хода часовой стрелки, то момент считается отрицательным.

При определении момента пары сил надо, прежде всего, правильно определить плечо пары. При этом необходимо различать следующие понятия: плечо пары сил и расстояние между точками приложения сил пары. Так как в механике твердого тела сила – скользящий вектор, то действие силы не изменяется при переносе точки ее приложения вдоль линии ее действия. Значит расстояние между точками приложения сил, образующих пару, можно изменять неограниченно, но плечо пары при этом остается неизменным.

В частном случае расстояние между точками приложения сил, образующих пару, может быть равно плечу.

Свойства пар.

Не изменяя действия на тело, пару сил можно:

- как угодно перемещать в ее плоскости;
- переносить в любую плоскость, параллельную плоскости действия этой пары;
- изменять модуль сил и плечо пары, но, чтобы ее момент и направление вращения оставались неизменными;
- алгебраическая сумма проекций сил, образующих пару, на любую ось равна нулю;
- алгебраическая сумма моментов сил, образующих пару, относительно любой точки постоянна и равна моменту пары;
- две пары считают эквивалентными, если они стремятся вращать тело в одну сторону, и их моменты численно равны. Пару может уравновесить только другая пара с моментом, имеющим противоположный знак.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое пара сил? Имеет ли она равнодействующую?
2. Можно ли уравновесить пару сил одной силой?
3. Как формулируется условие равновесия систем пары сил?
4. Сложение пары сил на плоскости. Условия равновесия.
5. Момент силы относительно точки. Условие равенства нулю.

Тема 1.4 Плоская система произвольно расположенных сил

Обучающийся должен

иметь представление:

- о плоской системе сил, главном векторе, главном моменте, равнодействующей системы сил, действие на тело;
- о влияние точки приведения на величину главного момента;
- о равновесии тела под действием плоской системы произвольно расположенных сил;
- о видах опор балочных систем, о реакциях в опорах;
- о видах нагрузок;
- о трении скольжения, силе трения, коэффициенте трения;
- о трении качения, моменте сил сопротивления качению;

знать:

- теорему Пуансо о приведении силы к точке;
- приведение произвольной плоской системы сил к точке;
- теорему Вариньона о моменте равнодействующей;
- три формы уравнений равновесия и применение их при определении реакций в опорах;
- зависимости для определения силы трения скольжения и момента сил сопротивления качения;

уметь:

- заменять произвольную плоскую систему сил одной силой и парой сил;
- определять реакции в опорах балочных систем, выполнять проверку правильности решения;
- решать простейшие задачи с учетом трения.

Плоская система произвольно расположенных сил. Приведение силы к данной точке. Приведение плоской системы сил к данному центру. Главный вектор и глав-

ный момент системы сил. Теорема Вариньона о моменте равнодействующей. Равновесие плоской системы сил. Уравнения равновесия и их различные формы.

Балочные системы. Классификация нагрузок. Виды опор. Определение реакций опор и моментов защемления.

Виды трения. Коэффициенты трения. Законы трения.

Литература: [1, §§ 25-33, 36-39]; [1, задачи №№ 23, 29, 34, 35, 39]; [4, задачи №№ 106-108, 113, 114, 116, 118, 119, 135, 145, 191, 192], [16, § 5.1 - 5.5].

Методические указания

Моментом силы \vec{F} относительно данной точки О называют произведение модуля силы на ее плечо, т. е. на длину перпендикуляра, опущенного из точки О на линию действия этой силы.

Если сила \vec{F} стремится повернуть тело вокруг данной точки, по ходу часовой стрелки, то момент силы \vec{F} относительно этой точки считается положительным; если против хода часовой стрелки, то момент считается отрицательным.

Момент силы относительно точки равен нулю, если сила проходит через эту точку, так как в этом случае $h = 0$.

Приведение силы к данному центру.

При приведении силы \vec{F} к точке О получается эквивалентная система, состоящая из силы, равной силе \vec{F} по модулю и направлению, и присоединенной пары. Точка О – точка приведения.

Приведение системы сил к данному центру.

Главный вектор $\vec{F}_{\text{гл}}$ – это геометрическая сумма всех сил

$$\vec{F}_{\text{гл}} = \sum \vec{F}_k$$

Главный момент M_0 – это алгебраическая сумма моментов всех сил относительно центра приведения.

$$M_0 = \sum M_0(\vec{F}_k)$$

Главный вектор $\vec{F}_{\text{гл}}$ не изменяется с изменением центра приведения; главный момент M_0 изменяется с изменением центра приведения.

Теорема Вариньона.

Момент равнодействующей плоской системы сил относительно любого центра, лежащего в плоскости действия этих сил, равен алгебраической сумме моментов сил данной системы относительно того же центра, т.е.:

$$M_0(\vec{R}_k) = \sum M_0(\vec{F}_k).$$

Различные случаи приведения плоской системы сил к данному центру.

1) $\bar{R}_k \neq 0$; $M_0 \neq 0$ – система приводится к главному вектору и к главному моменту;

2) $\bar{R}_k = 0$; $M_0 \neq 0$ – система приводится к одной равнодействующей паре с моментом, равным главному моменту;

3) $\bar{R}_k \neq 0$; $M_0 = 0$ – система приводится к одной равнодействующей силе, равной главному вектору;

4) $\bar{R}_k = 0$; $M_0 = 0$ – система находится в равновесии.

Отметим, что между понятиями главного вектора (главного момента) и равнодействующей силы (равнодействующей пары) существует принципиальное отличие. Равнодействующая – это одна сила (одна пара), которая заменяет действие системы сил. Главный вектор – это геометрическая сумма всех сил, а главный момент – алгебраическая сумма моментов всех сил относительно центра приведения. Но если при выбранном центре приведения O главный момент M_0 равен нулю, то главный вектор \bar{R}_k становится равнодействующей силой. Если же главный вектор \bar{R}_k равен нулю, то главный момент M_0 является равнодействующим моментом.

Главный вектор принято раскладывать на две составляющие, направленные вдоль осей координат.

Абсолютное значение главного вектора равно:

$$F_{zл} = \sqrt{F_{zлx}^2 + F_{zлы}^2},$$

где

$$F_{zлx} = \sum_0^n F_{kx}; \quad F_{zлы} = \sum_0^n F_{ky};$$

Абсолютное значение главного момента равно:

$$M_{zлx} = \sum_0^n m_k; \quad M_{zлы} = \sqrt{M_{zлx}^2 + M_{zлы}^2},$$

где

$$M_{zлx} = \sum_0^n m_{kx}; \quad M_{zлы} = \sum_0^n m_{ky}.$$

Уравнения равновесия плоской системы сил

При равновесии $F_{zл} = 0$; $M_{zл} = 0$

Получаем три формы уравнений равновесия:

$$\sum_0^n F_{kx} = 0; \sum_0^n F_{ky} = 0; \sum_0^n m_A(\bar{F}_k) = 0;$$

$$\sum_0^n m_A(\bar{F}_k) = 0; \sum_0^n m_B(\bar{F}_k) = 0; \sum_0^n F_{kx} = 0;$$

$$\sum_0^n m_A(\bar{F}_k) = 0; \sum_0^n m_B(\bar{F}_k) = 0; \sum_0^n m_c(\bar{F}_k) = 0;$$

Три уравнения равновесия плоской системы сил соответствуют трем независимым возможным перемещениям тела в плоскости: двум перемещениям вдоль координатных осей и вращению вокруг полюса.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое главный вектор и главный момент?
2. В каком случае главный вектор плоской системы сил является ее равнодействующей?
3. Как аналитически найти главный вектор и главный момент плоской системы сил?
4. Какие уравнения можно составить для уравновешенной произвольной плоской системы сил?
5. Трение скольжения. Сила трения скольжения.

Тема 1.5 Пространственная система сил

Студент должен:

иметь представление:

- о пространственных системах сил и их действии на тело;

знать:

- момент силы относительно оси, свойства момента;

- аналитический способ определения равнодействующей;

- условия равновесия;

уметь:

- выполнять разложение силы на три взаимно перпендикулярные оси;

- определять момент силы относительно оси;

- определять реакции в опорах, выполнять проверку правильности решения.

Пространственная система сил.

Проекция силы на ось, не лежащую с ней в одной плоскости. Момент силы относительно оси. Пространственная система сходящихся сил, ее равновесие. Пространственная система произвольно расположенных сил, ее равновесие.

Литература: [4, § 15-18]; [16, § 7.1-7.8].

Методические указания

1. Момент силы \vec{F} относительно оси

Моментом силы \vec{F} относительно оси равен моменту проекции силы на плоскость, перпендикулярную оси, относительно точки пересечения оси с плоскостью.

$$M_{00}(\vec{F}) = n p \vec{F} a,$$

где

a – расстояние от оси до проекции \vec{F} ;

$n p \vec{F}$ – проекция силы на плоскость, перпендикулярную оси OO .

$$n p \vec{F} = F \cos \alpha; \quad M_{00}(\vec{F}) = F \cos \alpha \cdot a.$$

Правило знаков

Момент силы F относительно оси считается положительным, если сила разворачивает тело по часовой стрелке, если смотреть со стороны положительного направления оси.

Момент силы относительно оси равен нулю:

- если линия действия силы пересекает ось;
- если линия действия силы параллельна оси.

2. Вектор в пространстве

В пространстве вектор силы проецируется на три взаимно перпендикулярные оси координат.

3. Модуль вектора

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}, \text{ где } F_x = F \cos \alpha_x; F_y = F \cos \alpha_y; F_z = F \cos \alpha_z;$$

где

$\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$, - углы между вектором и осями координат.

4. Пространственная сходящаяся система сил

Пространственная сходящаяся система сил - система сил, не лежащих в одной плоскости, линии действия которых пересекаются в одной точке.

Равнодействующую пространственной системы сходящихся сил можно определить, построив пространственный многоугольник

$$\vec{F}_\Sigma = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n$$

Равнодействующая системы сходящихся сил приложена в точке пересечения линий действия сил системы.

Модуль равнодействующей пространственной системы сходящихся сил:

$$F_{\Sigma} = \sqrt{F_{\Sigma x}^2 + F_{\Sigma y}^2 + F_{\Sigma z}^2}.$$

5. Произвольная пространственная система сил

Приведения пространственной системы сил к центру O.

Произвольная пространственная система сил приводится к главному вектору и к главному моменту.

Главный вектор принято раскладывать на три составляющие, направленные вдоль осей координат.

Абсолютное значение главного вектора равно:

$$F_{\Sigma} = \sqrt{F_{\Sigma x}^2 + F_{\Sigma y}^2 + F_{\Sigma z}^2},$$

где

$$F_{\Sigma x} = \sum_0^n F_{kx}; \quad F_{\Sigma y} = \sum_0^n F_{ky}; \quad F_{\Sigma z} = \sum_0^n F_{kz};$$

Абсолютное значение главного момента равно:

$$M_{\Sigma} = \sum_0^n m_k; \quad M_{\Sigma} = \sqrt{M_{\Sigma x}^2 + M_{\Sigma y}^2 + M_{\Sigma z}^2},$$

где

$$M_{\Sigma x} = \sum_0^n m_{kx}; \quad M_{\Sigma y} = \sum_0^n m_{ky}; \quad M_{\Sigma z} = \sum_0^n m_{kz};$$

Уравнения равновесия пространственной системы сил

При равновесии $F_{\Sigma} = 0$; $M_{\Sigma} = 0$

Получаем шесть уравнений равновесия:

$$\sum_0^n F_{kx} = 0;$$

$$\sum_0^n F_{ky} = 0;$$

$$\sum_0^n F_{kz} = 0$$

$$\sum_0^n m_{kx} (\bar{F}_k) = 0;$$

$$\sum_0^n m_{ky} (\bar{F}_k) = 0;$$

$$\sum_0^n m_{kz} (\bar{F}_k) = 0;$$

Шесть уравнений равновесия пространственной системы сил соответствуют шести независимым возможным перемещениям тела в пространстве: трем перемещениям вдоль координатных осей и трем вращениям вокруг этих осей.

Вопросы для самоконтроля

1. Запишите формулы для расчета главного вектора пространственной системы сходящихся сил.
2. Запишите формулу для расчета главного вектора пространственной системы произвольно расположенных сил.
3. Запишите формулу для расчета главного момента пространственной системы произвольно расположенных сил.
4. Запишите систему уравнений равновесия пространственной системы сил.

Тема 1.6 Центр параллельных сил. Центр тяжести

Обучающийся должен

иметь представление:

- о системе параллельных сил и ее действии на тело;
- о центре тяжести системы параллельных сил;
- о силе тяжести и центре тяжести;

знать:

- методы для определения центра тяжести тела;
- формулы для определения положения центра тяжести плоских фигур;

уметь:

- определять положение центра тяжести фигур, составленных из стандартных профилей.

Сила тяжести как равнодействующая вертикальных сил. Центр тяжести тела. Центр тяжести простых геометрических фигур. Определение центра тяжести составных плоских фигур.

Литература: [1, §§ 45-50]; [1, задачи №№ 51, 54]; [4, задачи №№ 286, 289, 296, 301(а)], [4, § 23-27]; [6, § 8.1-8.4]

Методические указания

Сила тяжести – равнодействующая сил притяжения к Земле, она распределена по всему объему тела. Силы притяжения, приложенные к частицам твердого тела, образуют систему сил, линии, действия которых сходятся в центре Земли. По-

сколькx радиус Земли значительно больше размеров любого земного тела, силы притяжения можно считать параллельными.

Из теоремы Вариньона следует:

$$M_x(\bar{F}_\Sigma) = Gy_c = \sum_0^n q_k y_k; \quad y_c = \frac{\sum_0^n q_k y_k}{G};$$

$$M_y(\bar{F}_\Sigma) = Gx_c = \sum_0^n q_k x_k; \quad x_c = \frac{\sum_0^n q_k x_k}{G};$$

$$M_z(\bar{F}_\Sigma) = Gz_c = \sum_0^n q_k z_k; \quad z_c = \frac{\sum_0^n q_k z_k}{G};$$

В однородном теле сила тяжести пропорциональна объему V :

$$G = \gamma V,$$

где

γ - вес единицы объема.

Для однородных тел:

$$x_c = \frac{\sum_0^n V_k x_k}{V}; \quad y_c = \frac{\sum_0^n V_k y_k}{V}; \quad z_c = \frac{\sum_0^n V_k z_k}{V},$$

где

V – объем всего тела;

V_k – объем элемента тела.

Центр тяжести однородных плоских тел (плоских фигур)

Координаты центра тяжести плоских фигур определяем по формуле:

$$x_c = \frac{\sum_0^n A_k x_k}{A}; \quad y_c = \frac{\sum_0^n A_k y_k}{A}; \quad z_c = \frac{\sum_0^n A_k z_k}{A},$$

где

A_k – площадь части сечения;

x_k, y_k – координаты ЦТ (центра тяжести) частей сечения.

Координаты центра тяжести плоских фигур можно выразить через статический момент.

$$\sum_0^n A_k x_k = S_y; \quad x_c = \frac{S_y}{A}; \quad \sum_0^n A_k y_k = S_x; \quad y_c = \frac{S_x}{A}$$

Оси, проходящие через центр тяжести, называются центральными осями. Статический момент относительно центральной оси равен нулю.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое главный вектор и главный момент?
2. В каком случае главный вектор плоской системы сил является ее равнодействующей?
3. Как аналитически найти главный вектор и главный момент плоской системы сил?
4. Какие уравнения можно составить для уравновешенной произвольной плоской системы сил?
5. Центр системы параллельных сил, его координаты.
6. Сила тяжести. Центр тяжести тела. Определения.
7. Координаты центра тяжести тела, центра объемов.
8. Статический момент площади фигуры. Определение координат центра фигуры сложной формы.

Обратите особое внимание на решение задач по определению координат центра тяжести плоских сечений, составленных из простейших геометрических фигур и стандартных профилей (примеры рассмотрены в № 51 и № 54 из [1]) и примените знания на примерах решения подобных задач (№ 296 и № 301(а)). Ответьте на вопросы в №№ 286, 289, 296. Это поможет закрепить теоретические знания. При решении задач следует использовать понятие в статическом моменте площади сечения. Это пригодится при изучении темы «Изгиб» в сопротивлении материалов.

Тема 1.7 Основные понятия кинематики

Обучающийся должен

иметь представление:

- о пространстве, времени, траектории, пути, скорости, ускорении;

знать:

- способы задания движения точки: естественный и координатный;

- обозначение, размерности, взаимосвязи кинематических параметров движения;

уметь:

- определять траекторию движения точки.

Основные понятия кинематики. Основные характеристики движения: траектория, путь, время и скорость. Средняя скорость и скорость в данный момент. Ускоре-

ние полное, нормальное и касательное. Частные случаи движения точки. Кинематические графики.

Литература: [4, §59 - 61]; [6, § 9.3 – 9.12].

Методические указания

Существует три способа задания движения точки: естественный, координатный и векторный.

Естественный способ задания движения точки. Траектория и закон движения.

Линию, описываемую движущейся точкой относительно выбранной системы отсчета, называют траекторией точки. Форма траектории зависит от выбора системы отсчета.

Если траектория движения точки – прямая линия, то движения точки называют прямолинейным, если траектория движения точки – кривая линия, то движение точки называют криволинейным.

При естественном способе задают траекторию (графически или в виде уравнения) и закон движения точки по траектории:

$$S = f(t),$$

где

S – расстояние, пройденное точкой от начала отсчета.

Скорость.

Вектор V , характеризующий для каждого момента времени быстроту и направление движения точки, называют скоростью точки.

Вектор скорости всегда направлен вдоль касательной к траектории в сторону движения.

Модуль скорости определяется как производная от функции расстояния по времени, т. е.

$$v = \frac{ds}{dt} = f'(t), \quad \text{при } V > 0 \text{ движение происходит в сторону положительного от}$$

счета расстояний; движение происходит в сторону положительного отсчета расстояний, точка не движется; при $V < 0$, движение происходит в сторону отрицательного

отсчета расстояний. Размерность скорости: $\frac{м}{сек}$.

Ускорение.

Характеристикой быстроты изменения скорости по величине и направлению является вектор ускорения \bar{a}

Модуль касательного ускорения определяется второй производной расстояния по времени:

$$a_{\tau} = \frac{d^2 s}{dt^2} = \frac{d \vartheta}{dt} = f'' \left[\frac{m}{сек^2} \right],$$

Если $a_{\tau} > 0$ и $V > 0$ или $a_{\tau} < 0$ и $V < 0$, то движение ускоренное и вектор \bar{a}_{τ} направлен в сторону вектора скорости.

Если $a_{\tau} < 0$ и $V > 0$ или $a_{\tau} > 0$ и $V < 0$, то движение замедленное и вектор \bar{a}_{τ} направлен в сторону, противоположную вектору скорости.

Изменение скорости по направлению характеризуется *нормальным ускорением* \bar{a}_n

$$\bar{a}_n = \frac{\vartheta^2}{\rho} \left[\frac{m}{сек^2} \right]$$

Нормальное ускорение всегда положительно и направлено к центру кривизны движения материальной точки:

$$\bar{a} = \bar{a}_{\tau} + \bar{a}_n, \quad a = \sqrt{a_{\tau}^2 + a_n^2}.$$

Вопросы для самоконтроля

1. Как формулируется закон движения точки, и какими способами его можно задать?
2. Что называется скоростью равномерного движения точки? Что она характеризует?
3. Как направлен вектор скорости точки при криволинейном движении?
4. Как определить касательное и нормальное ускорение точки?

Тема 1.8 Простейшие движения твердого тела

Обучающийся должен

иметь представление:

- о поступательном движении, его особенностях и параметрах;
- о вращательном движении тела и его параметрах;

знать:

- формулы для определения параметров поступательного и вращательного движений тела;

- различные виды вращательного движения твердого тела;

уметь:

- определять кинематические параметры тела при поступательном и вращательном движении;

- определять параметры движения любой точки тела.

Простейшие движения твердого тела. Поступательное движение. Вращательное движение твердого тела вокруг неподвижной оси. Частные случаи вращательного движения. Линейные скорости и ускорения точек вращающегося тела.

Литература: [14 §64-65]; [16, §10.1-10.5]

Методические указания

В результате изучения темы необходимо знать такие понятия как: угол поворота (в радианах), угловое перемещение, число оборотов за промежуток времени, расчетные формулы и единицы измерений угловой скорости и углового ускорения, частоты вращения, частные случаи вращения, линейные скорости и ускорения точек вращающегося тела. Приобрести навыки применения этих понятий в решении задач.

Движение твердого тела называют вращательным, если в движущемся теле или вне его имеется ось вращения, которая при вращении остается неподвижной, а плоскость, проведенная через эту ось и произвольную точку тела, совершает поворот вокруг оси.

Вращательное движение твердого тела в зависимости от времени t характеризуют угловые величины: φ - угол поворота, в радианах; ω - угловая скорость в рад/сек; ε - угловое ускорение в рад/сек².

Закон вращательное движение твердого тела выражается уравнением:

$$\varphi = f(t).$$

Угловая скорость – величина, характеризующая быстроту вращения тела, определяется в общем случае как производная угла поворота по времени:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = f'(t).$$

Угловое ускорение – величина, характеризующая быстроту изменения угловой скорости, определяется как производная угловой скорости:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = f''(t).$$

Вопросы для самоконтроля

1. Определение вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси

2. Что называется угловым перемещением тела, угловой скоростью?
3. Какая связь между частотой вращения тела и угловой скоростью вращения?
4. Какое вращательное движение называется равномерным, а какое - равнопеременным?
5. Каковы зависимости между величинами $(\varphi, \omega, \varepsilon)$, характеризующими вращательное движение тела, и линейными величинами (s, v, a_n, a_τ, a) , характеризующими движение какой – либо точки этого тела?
6. Формула для перевода об/мин в рад/с.

Тема 1.9 Сложное движение точки и тела

Обучающийся должен:

иметь представление:

- о системах координат;
- об абсолютном, относительном и переносном движениях;
- о плоскопараллельном движении;
- о сложении двух вращательных движений;

знать:

- разложение сложного движения на относительное и переносное;
- теорему сложения скоростей;
- способы определения положения мгновенного центра скоростей;

уметь:

- определять параметры движения материальной точки при сложном движении.
- анализировать характер движения плоского механизма и его звеньев;
- определять скорость любой точки плоского механизма;

Сложное движение точки.

Переносное, относительное и абсолютное движение точки. Скорости этих движений. Теорема сложения скоростей.

Литература: [4, §67]; [6, § 12.1 -12.3].

Методические указания

Сложным называют движение, слагающееся из нескольких независимых движений.

Движение точки относительно неподвижной системы отсчета называют абсолютным.

Движение точки относительно подвижной системы отсчета называют относительным.

Движение подвижной системы относительно неподвижной системы отсчета называют переносным.

Траекторию, которую совершает точка относительно неподвижной системы отсчета, называют абсолютной.

Траекторию, которую совершает точка по отношению к подвижной системе отсчета, называют относительной.

Соответственно вводятся понятия абсолютных, переносных и относительных скоростей и ускорений точки.

При решении задач на сложное движение точки необходимо:

1. Выяснить, какое движение является абсолютным, какое относительным, какое переносным.
2. Направить векторы абсолютной, переносной и относительной скоростей.
3. Построить параллелограмм или треугольник скоростей и по ним найти неизвестные величины.

Сложное движение твердого тела.

Плоскопараллельное движение. Разложение плоскопараллельного движения на поступательное и вращательное. Определение абсолютной скорости любой точки тела. Мгновенный центр скоростей, способы его определения. Сложение двух вращательных движений.

Литература: [4, §67]; [6, § 12.1 -12.3]

Методические указания

Плоскопараллельным движением твердого тела называют такое движение, при котором все точки тела движутся в плоскостях, параллельной некоторой неподвижной плоскости.

Плоскопараллельное движение является сложным, состоящим из переносного поступательного движения вместе с выбранным полюсом и относительного вращательного движения вокруг полюса.

Отметим, что скорость поступательного движения зависит от выбора полюса, а угловая скорость вращательного движения не зависит от выбора полюса.

Применяют три способа определения скоростей точек плоской фигуры.

1-й способ. Скорость любой точки плоской фигуры равна геометрической сумме скорости полюса \bar{g}_a и скорости той же точки во вращательном движении данной фигуры относительно полюса \bar{g}_{BA} , т. е. $\bar{g}_B = g_A + g_{BA}$

При этом скорость полюса является переносной скоростью точки В, а скорость во вращательном движении вокруг полюса - относительной скоростью точки В.

Модуль относительной скорости равен:

$$g_{BA} = \omega l_{AB},$$

где

ω - угловая скорость плоской фигуры.

2-й способ. В любой момент времени в плоскости фигуры можно найти такую точку Р, абсолютная скорость которой равна нулю, т.е. $\bar{g}_P = 0$. Точку Р называют мгновенным центром скоростей плоской фигуры. Скорость любой другой точки этой плоскости фигуры относительной скорости мгновенным центром скоростей:

$$g_A = l_{PA} \omega, \quad g_B = l_{PB} \omega.$$

3-й способ. По теореме: проекции скоростей концов неизменяемого отрезка на направление этого отрезка равны между собой, т.е.:

$$g_A \cos \alpha = g_B \cos \beta,$$

где

α и β - углы, которые векторы \bar{g}_A и \bar{g}_B составляют соответственно с отрезком АВ.

Вопросы для самоконтроля

1. Какое движение твердого тела называются плоскопараллельным?
2. Может ли у какой – либо точки тела, находящегося в плоскопараллельном движении, абсолютная скорость равняться нулю?

Тема 1.10 Основы гидравлики и термодинамики

Обучающийся должен:

иметь представление:

- о науках термодинамика, теплопередача, гидравлика
- о первом законе термодинамики;

знать:

- основные термодинамические параметры состояния рабочего тела;

Науки - термодинамика, теплопередача, гидравлика. Термодинамические параметры состояния рабочего тела. Понятие о тепле, работе, внутренней энергии.

Литература: [10, с.5-29].

Методические указания

Термодинамика - наука о закономерностях превращения энергии в различных физических, химических и других процессах, рассматриваемых на микроуровне.

Теплопередача – наука, изучающая закономерности самопроизвольных необратимых процессов переноса теплоты в пространстве.

Гидравлика – наука, изучающая законы равновесия и движения жидкостей.

Основные термодинамические параметры: удельный объем, абсолютное давление, абсолютная температура.

Первый закон термодинамики: вся теплота, подведенная к телу, расходуется на изменение внутренней энергии и на совершение внешней работы.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое термодинамический процесс?
2. Что понимается под внутренней энергией?

Тема 1.11 Основные понятия и аксиомы динамики

Обучающийся должен:

иметь представление:

- о массе тела, об ускорении свободного падения;
- о связи между силовыми и кинематическими параметрами движения;
- о двух основных задачах динамики;

знать:

- аксиомы динамики;
- математическое выражение основного закона динамики.

Закон инерции. Основной закон динамики. Масса материальной точки. Закон независимости действия сил. Закон действия и противодействия. Две основные задачи динамики.

Литература: [4, §68]; [6, § 13.1-13.2].

Методические указания

В динамике изучают движение материальной точки и механической системы материальных точек в связи действующими на них силами.

Динамика основывается на ряде положений, которые являются аксиомами и называются законами динамики.

Первый закон динамики, называемый законом инерции или первым законом Ньютона, формулируется в применении к материальной точке так: изолированная материальная точка либо находится в покое, либо движется прямолинейно и равномерно.

Второй закон динамики или второй закон Ньютона: ускорение, сообщаемое материальной точке силой, имеет направление силы и пропорционально ее модулю.

Второй закон Ньютона выражается равенством $\vec{F} = m\vec{a}$, которое называется основным уравнением динамики и читается так: сила есть вектор, равный произведению массы точки на ее ускорение. Так как масса – величина скалярная, то вектор силы направлен в ту же сторону, что и вектор ускорения.

В применении к свободному падению второй закон Ньютона имеет вид:

$$\vec{G} = m\vec{g},$$

где

\vec{g} - ускорение свободного падения.

Третий закон динамики или третий закон Ньютона: силы взаимодействия двух материальных точек по модулю равны между собой и направлены в противоположные стороны.

Четвертая аксиома – закон независимости действия сил – если на материальную точку действует несколько сил одновременно, то точка имеет такое же ускорение, какое она получит от равнодействующей этой системы.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется массой материальной точки?
2. Сформулируйте аксиомы динамики.

Тема 1.12 Метод кинетостатики

Обучающийся должен:

иметь представление:

- о свободной и несвободной материальных точках;
- о силах инерции;

- об использовании силы инерции для решения технических задач;

знать:

- формулы для расчета силы инерции при поступательном и вращательном движениях;

- принцип Д'Аламбера

уметь:

- определять параметры движения материальной точки с использованием законов динамики и методов кинестатики.

Свободная и несвободная материальные точки. Сила инерции при прямолинейном и криволинейном движениях. Принцип Д'Аламбера. Понятие о неуравновешенных силах инерции и их влиянии на работу машин.

Литература: [4, §68, 69]; [6, § 14.1-14.2]

Методические указания

В динамике изучают движение материальной точки и механической системы материальных точек в связи действующими на них силами.

Динамика основывается на ряде положений, которые являются аксиомами и называются законами динамики.

Первый закон динамики, называемый законом инерции или первым законом Ньютона, формулируется в применении к материальной точке так: изолированная материальная точка либо находится в покое, либо движется прямолинейно и равномерно.

Второй закон динамики или второй закон Ньютона: ускорение, сообщаемое материальной точке силой, имеет направление силы и пропорционально ее модулю.

Второй закон Ньютона выражается равенством $\vec{F} = m\vec{a}$, которое называется основным уравнением динамики и читается так: сила есть вектор, равный произведению массы точки на ее ускорение. Так как масса – величина скалярная, то вектор силы направлен в ту же сторону, что и вектор ускорения.

В применении к свободному падению второй закон Ньютона имеет вид:

$$\vec{G} = m\vec{g},$$

где

\vec{g} - ускорение свободного падения.

Третий закон динамики или третий закон Ньютона: силы взаимодействия двух материальных точек по модулю равны между собой и направлены в противоположные стороны.

Четвертая аксиома – закон независимости действия сил – если на материальную точку действует несколько сил одновременно, то точка имеет такое же ускорение, какое она получит от равнодействующей этой системы.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется массой материальной точки?
2. Сила инерции. Принцип Д'Аламбера.
3. Метод кинетостатики.
4. Системы единиц.
5. Алгоритм решения задач, используя принцип Д'Аламбера.

Тема 1.13 Работа и мощность

Обучающийся должен

иметь представление:

- о работе силы при прямолинейном и криволинейном перемещении;
- о трении, силе трения, коэффициенте трения;
- о мощности полезной и затраченной, о коэффициенте полезного действия;

знать:

- формулы расчета работы и мощности, их единицы измерения, КПД;

уметь:

- рассчитывать работу и мощность при поступательном и вращательном движениях.

Виды трения. Законы трения Работа постоянной силы. Работа равнодействующей. Работа силы тяжести. Работа при вращательном движении. Мощность. Коэффициент полезного действия.

Литература: [4, §70-75]; [6, § 6.1-6.5].

Методические указания

Изучая равновесие тела при наличии трения, необходимо обратить внимание на следующее:

1. Возникновение трения скольжения объясняется, во-первых, шероховатостью поверхности трущихся тел, и, во – вторых, проявление молекулярных сил взаимодействия между этими телами.
2. Законы трения получены на основании опытов и являются приближенными законами.

Трение – явление сопротивления относительно перемещению, возникающего между двумя телами в зонах соприкосновения поверхностей по касательной к ней.

Классификация трения:

Трение	Трение покоя Трение движения
--------	---------------------------------

Трение движения	Трение скольжения Трение качения Трение качения с проскальзыванием
-----------------	--

Трением покоя называется трение двух тел при предварительном смещении, т.е. при малом относительном перемещении тел до перехода от покоя к относительному движению.

Трением движения называется трение двух тел, находящихся в относительном движении.

Трением скольжения называется трение движения, при котором скорости соприкасающихся тел в точках касания различны.

Вопросы для самоконтроля

1. Работа постоянной силы при прямолинейном перемещении тела. Единицы измерения работы. Работа равнодействующей и силы тяжести.
2. Мощность. Расчетные формулы. Единицы измерения. КПД.
3. Работа и мощность при вращательном движении тела. Вращающий момент. Окружная сила.

Тема 1.14 Теоремы динамики

Обучающийся должен

иметь представление:

- о понятиях «импульс силы», «количество движения», «кинетическая энергия»;
- о системе материальных точек, внутренних и внешних силах системы;
- о моменте инерции тела;

знать:

- основные теоремы динамики;
- основные уравнения поступательного и вращательного движения тела;
- формулы для расчета моментов инерции некоторых однородных твердых тел;

уметь:

- определять параметры движения с помощью теорем динамики.

Импульс силы. Общие теоремы динамики. Количество движения. Теорема о количестве движения точки. Теорема о кинетической энергии точки. Основные уравнения динамики при вращательном движении твердого тела.

Литература: [I, §79 -81]; [II, § 17.1-17.4]

Методические указания

Произведение массы точки m на скорость V , которой она обладает в данный момент, называют количеством движения материальной точки $m \cdot V$.

Произведение силы \bar{F} на время Δt , в течение которого она действует, называют импульсом силы $\bar{F} \Delta t$. Количество движения и импульс силы – векторы.

Теорема об изменении количества движения точки

Изменение количества движения материальной точки под действием системы постоянных сил равно импульсу равнодействующей этих сил за этот же промежуток времени:

$$m\bar{g}_k - m\bar{g}_0 = \bar{F} \Delta t.$$

Изменение проекции количества движения точки на неподвижную ось равно проекции на ту же ось импульса силы, действующей на точку.

$$m g_{kx} - m g_{0x} = \sum X \Delta t \quad m g_{ky} - m g_{0y} = \sum Y \Delta t \quad m g_{kz} - m g_{0z} = \sum Z \Delta t$$

Теорема о кинетической энергии материальной точки

Изменение кинетической энергии материальной точки за некоторый промежуток времени равно сумме работ приложенных к ней сил на соответствующем перемещении, т.е.:

$$\frac{m g_k^2}{2} - \frac{m g_0^2}{2} = \sum A$$

Кинетическая энергия, как и работа, - скалярная величина.

Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела.

Произведение момента инерции J_z тела относительно некоторой оси z на угловое ускорение ε равно алгебраической сумме моментов всех внешних сил $\sum M_z$, действующих на тело относительно этой же оси:

$$J \varepsilon = \sum M_z .$$

Вопросы для самоконтроля

1. Как определяется работа силы на прямолинейном пути?
2. Что называется мощностью?

3. Что называется импульсом силы и количеством движения материальной точки?
4. Сформулируйте закон количества движения.
5. Основные уравнения динамики вращающегося тела. Момент инерции тела.
6. Сформулируйте теорему о кинетической энергии материальной точки.

РАЗДЕЛ 2 СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Тема 2.1 Основные понятия и положения

Обучающийся должен

иметь представление:

- о видах расчетов в сопротивлении материалов;
- о классификации нагрузок;
- о внутренних силовых факторах и деформациях;
- о механических напряжениях;

знать:

- основные понятия, гипотезы и допущения сопротивления материалов;
- метод сечений;
- внутренние силовые факторы;
- составляющие вектора напряжения;

уметь:

- определять виды нагружения и внутренние силовые факторы в поперечных сечениях.

Основные задачи сопротивления материалов. Деформации упругие и пластические. Основные гипотезы и допущения. Классификация нагрузок и элементов конструкций. Силы внешние и внутренние. Метод сечений. Напряжение полное, нормальное, касательное.

Литература: [4, § 28-31]; [6, §18.1-18.4]

Методические указания

Сопротивление материалов – это раздел технической механики, в котором излагаются теоретико-экспериментальные основы и методы расчета элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость.

В отличие от теоретической механики, где изучается равновесие и движение материальных точек, а также абсолютно твердых тел, в сопротивлении материалов учитываются механические свойства реальных материалов. Их характерной особен-

ностью является способность деформироваться и при определенных условиях - разрушаться.

Расчеты сопротивления материалов являются базовыми для обеспечения основных требований к деталям и конструкциям.

Виды расчетов

Расчет на прочность – это гарантия против разрушения и против появления больших остаточных деформаций в конструкциях и ее элементах.

Расчет на жесткость обеспечивает деформации конструкции под нагрузкой в пределах допустимых норм.

Расчет на выносливость обеспечивает необходимую долговечность элементов конструкции.

Расчет на устойчивость обеспечивает сохранение прямолинейной формы равновесия и предотвращает внезапное искривление длинных стержней.

Элементы конструкции при работе испытывают внешнее воздействие, которое оценивается величиной внешней силы. К внешним силам относятся активные силы и реакции опор.

Под действием внешних сил в детали возникают внутренние силы упругости, стремящиеся вернуть телу первоначальную форму и размеры.

Внешние силы должны быть определены методами теоретической механики, а внутренние определяются основным методом сопротивления материалов – методом сечений.

В сопротивлении материалов тела рассматриваются в равновесии. Для решения задач используют уравнения равновесия, полученные в теоретической механике для тела в пространстве.

Метод сечений.

Метод сечений заключается в мысленном рассечении тела плоскостью и рассмотрении в равновесии любой из отсеченных частей.

Если все тело находится в равновесии, то и каждая его часть находится в равновесии под действием внешних и внутренних сил.

Внутренние силы определяются из уравнений равновесия, составленных для рассматриваемой части тела.

$$\bar{R}_0 = \bar{N}_z + \bar{Q}_x + \bar{Q}_y ,$$

где

\bar{R}_0 - главный вектор;

\bar{N}_z - продольная сила;

\bar{Q}_x - поперечная сила по оси x;

\bar{Q}_y - продольная сила по оси y;

Главный момент $M_0 = M_z + M_x + M_y$

Величина внутренних силовых факторов:

$$N_z = \sum_0^n F_{kz};$$

$$Q_x = \sum_0^n F_{kx};$$

$$Q_y = \sum_0^n F_{ky};$$

$$M_z = \sum_0^n m_z(F_{kz});$$

$$M_x = \sum_0^n m_x(F_{kx});$$

$$M_y = \sum_0^n m_y(F_{ky}),$$

где

N_z – продольная сила, равная алгебраической сумме проекций на ось Oz внешних сил, действующих на отсеченную часть бруса; вызывает растяжение или сжатие.

Q_x - поперечная сила, равная алгебраической сумме проекций на ось Ox внешних сил, действующих на отсеченную часть бруса;

Q_y - поперечная сила, равная алгебраической сумме проекций на ось Oy внешних сил, действующих на отсеченную часть бруса;

силы Q_x ; Q_y вызывают сдвиг сечения;

M_z – крутящий момент, равный алгебраической сумме моментов внешних сил относительно оси Oz;

M_x – изгибающий момент, равный алгебраической сумме моментов внешних сил относительно оси Ox;

M_y - изгибающий момент, равный алгебраической сумме моментов внешних сил относительно оси Oy;

моменты M_x и M_y вызывают изгиб бруса в соответствующей плоскости.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется прочностью, жесткостью и устойчивостью элементов конструкции?

2. С какой целью применяется метод сечения? Внутренние силовые факторы.
3. Полное, касательное и нормальное напряжение в данной точке сечения.
4. Единицы измерения напряжения.
5. Какие силы в сопротивлении материалов считают внешними? Какие силы являются внутренними?
6. Сформулируйте метод сечений.

Тема 2.2 Растяжение и сжатие

Обучающийся должен

иметь представление:

- о продольных силах;
- о нормальных напряжениях в поперечных сечениях;
- о продольных и поперечных деформациях и их связи;
- о жесткости сечения;
- о предельных и допускаемых напряжениях, о коэффициенте запаса прочности;
- о статически непреодолимых системах с элементами, работающими на растяжение или сжатие.

знать:

- правила построения эпюр продольных сил и нормальных напряжений;
- закон распределения нормальных напряжений в поперечном сечении бруса;
- закон Гука;
- зависимости и формулы для расчета напряжений и перемещений;
- диаграммы растяжения и сжатия пластичных и хрупких материалов;
- порядок расчетов на прочность при растяжении и сжатии;
- условие прочности;

уметь:

- проводить расчеты на прочность и жесткость статически определенных брусьев при растяжении и сжатии;
- строить эпюры продольных сил и нормальных напряжений;
- пользоваться справочной литературой для определения предельных напряжений.

Внутренние силовые факторы при растяжении и сжатии. Эпюры продольных сил. Нормальное напряжение. Эпюры нормальных напряжений. Продольные и поперечные деформации. Закон Гука. Коэффициент Пуассона.

Определение осевых перемещений поперечных сечений бруса. Испытания материалов на растяжение и сжатие при статическом нагружении. Диаграммы растяжения и сжатия пластичных и хрупких материалов. Механические характеристики материалов. Напряжения предельные, допускаемые и расчетные. Коэффициент запаса прочности.

Условие прочности, расчеты на прочность.

Литература: [4, § 32-36]; [И6 §19.1-19.6]

Методические указания

Растяжение и сжатие называют вид нагружения, при котором в поперечном сечении бруса возникает только один внутренний силовой фактор – продольная сила.

Если продольная сила направлена от сечения, то брус растянут.

Растяжение считают положительной деформацией.

Если продольная сила направлена к сечению, то брус сжат.

Сжатие считают отрицательной деформацией.

При растяжении и сжатии в сечении действует только нормальное напряжение.

Напряжения в поперечных сечениях могут рассматриваться как силы, приходящиеся на единицу площади.

Направление и знак напряжения в сечении совпадают с направлением и знаком силы в сечении.

Величина напряжения прямо пропорциональна продольной силе и обратно пропорциональна площади поперечного сечения.

Нормальные напряжения σ действуют при растяжении от сечения, а при сжатии к сечению.

Нормальные напряжения рассчитывают по формуле:

$$\sigma = \frac{N}{A},$$

где

N – продольная сила в сечении;

A – площадь поперечного сечения.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие внутренние силовые факторы возникают при растяжении и сжатии?
2. Продольная сила, величина, направление, знак; эпюра продольных сил.

3. Что называют механическим напряжением?

4. Напряжения предельные и допускаемые. Условие прочности. Три типа задач расчетов на прочность при растяжении (сжатии).

Тема 2.3 Практические расчеты на срез и смятие

Обучающийся должен

иметь представление:

- об основных предпосылках и условностях расчётов;
- о деталях, работающих на срез и смятие;

знать:

- внутренние силовые факторы, напряжение и деформации при сдвиге и смятии;
- условия прочности;

уметь:

- проводить расчёты на прочность при срезе и смятии.

Срез, основные расчётные предпосылки, расчётные формулы, условия прочности.

Смятие, условности расчёта, расчётные формулы, условие прочности. Допускаемые напряжения.

Литература: [2, §§ 4.1, 4.2]; [2, примеры №№ 4.2, 4.4, 4.5].

Методические указания

Знать о действии внешних сил, о внутреннем силовом факторе, о возникающих деформациях, о напряжениях среза и смятия (без указания конкретной детали, без использования закона Гука для сдвига). Иметь представление об основных предпосылках и условностях расчета. Изучить практические расчеты на срез и смятие соединений, в указанных выше примерах из учебника.

Вопросы для самоконтроля

1. Внешние силы при сдвиге, деформации. Модуль сдвига.
2. Срез. Допущения при расчетах на срез. Условные прочности.
3. Смятие. На каких допущениях основаны расчеты на смятие?
4. Практические расчеты на срез и смятие заклепочных и шпоночных соединений.

Тема 2.4 Кручение

Обучающийся должен

иметь представление:

- о деформациях при кручении;
- о внутренних силовых факторах и напряжениях в сечении;
- о жёсткости сечения;
- о моменте сопротивления при кручении;
- о рациональных формах поперечного сечения и рациональном расположении колес на валу;

знать:

- формулы для расчёта напряжений в точке поперечного сечения бруса;
- условия прочности и жесткости;
- закон Гука при сдвиге;

уметь:

- выполнять проектировочные и проверочные расчёты круглого бруса для статически определимых систем;
- проводить проверку на жёсткость;
- строить эпюры крутящих моментов.

Кручение. Чистый сдвиг. Закон Гука при сдвиге. Модуль сдвига. Внутренние силовые факторы при кручении. Эпюры крутящих моментов. Кручение бруса круглого поперечного сечения. Основные гипотезы. Напряжения в точках поперечного сечения. Угол закручивания.

Расчеты на прочность и жёсткость при кручении. Рациональное расположение колёс на валу.

Литература: [2, §§ 3.3, 3.4, 5.1-5.4]; [2, примеры №№ 5.2, 5.3].
[4, § 39 -42]; [6, §22.1-22.4].

Методические указания

Обратить внимание на то, что изучение темы начинается с вопроса о чистом сдвиге, деформации сдвига, закона Гука для сдвига. Важно уяснить понятие о модуле сдвига, как механической характеристике и его связи с модулем продольной упругости (Юнга). Получить представление о внешних нагрузках при кручении. Знать и уметь определять ординаты крутящих моментов и строить эпюры, определять опасное сечение. Знать расчетные формулы и уметь определять угол закручивания поперечного сечения (в радианах и градусах), касательное напряжение в любой точке

и максимальное значение в опасной точке опасного сечения, формулы и понятие полярного момента сопротивления сечения для круглого и кольцевого сечения прямого бруса. Уметь выполнять проектировочные и проверочные расчеты на прочность и жесткость (изучите указанные выше примеры из учебника).

Кручением называют нагружения, при котором в поперечном сечении бруса возникает только один внутренний силовой фактор – крутящий момент.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие деформации возникают при кручении?
2. Какие внутренние силовые факторы возникают при кручении?
3. Внешние нагрузки при кручении прямого бруса. Крутящий момент, его величина, правило знаков, эпюра.
4. Касательные напряжения в точках поперечного сечения. Максимальное напряжение, полярный момент инерции и полярный момент сопротивления сечения.
5. Расчеты на прочность и жесткость.

Тема 2.5 Изгиб

Обучающийся должен

иметь представление:

- о видах изгиба и внутренних силовых факторах;
- о дифференциальных зависимостях при изгибе;
- о касательных напряжениях при изгибе;

знать:

- порядок построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов;
- распределение нормальных напряжений по сечению при чистом изгибе и расчётные формулы;

- условия прочности и жёсткости;

уметь:

- выполнять проектировочные и проверочные расчёты на прочность;
- проводить проверку бруса на жёсткость при изгибе;
- строить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.

Изгиб. Основные понятия и определения. Классификация видов изгиба. Внутренние силовые факторы при прямом изгибе. Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. Нормальные напряжения при изгибе.

Дифференциальные зависимости между изгибающим моментом, поперечной силой и интенсивностью распределённой нагрузки. Расчёты на прочность при изги-

бе. Рациональные формы поперечных сечений балок из пластинчатых и хрупких материалов. Понятие о касательных напряжениях при изгибе. Линейные и угловые перемещения при изгибе, их определение.

Литература: [I, § 43-48]; [II, §23.1-23.6].

Методические указания

Изгибом называют такой вид нагружения, при котором в поперечном сечении бруса возникает только один внутренний силовой фактор – изгибающий момент.

Брус, работающий на изгиб, называют балкой.

При поперечном изгибе в сечении балки возникают изгибающий момент и поперечная сила.

При чистом изгибе в поперечном сечении балки возникает только изгибающий момент, постоянный по величине.

Изгибающий момент в произвольном сечении балки численно равен алгебраической сумме моментов всех внешних сил, приложенных к отсеченной части, относительно рассматриваемого сечения.

Поперечная сила в произвольном сечении балки численно равна алгебраической сумме проекций всех внешних сил, действующих на отсеченной части на соответствующую ось.

При чистом изгибе выполняются гипотезы плоских сечений и ненадавливаемости слоев:

Сечения бруса, плоские и перпендикулярные продольной оси, после деформации остаются плоскими и перпендикулярными продольной оси.

Продольные волокна не давят друг на друга, поэтому слоя испытывают простое растяжение и сжатие.

Действуют только нормальные напряжения.

Поперечные размеры сечений не меняются

Продольная ось бруса после деформации изгиба искривляется.

Материал подчиняется закону Гука: $\sigma = E \varepsilon$

Нейтральный слой проходит через центр тяжести сечения.

Условие прочности при изгибе:

Условие прочности для балок с сечениями, симметричными относительно нейтральной оси, имеет вид:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{x \max}}{W_x} \leq [\sigma],$$

где

W_x – осевой момент сопротивления сечения.

Для подбора сечения балки (проектного расчета) из условия прочности определяют необходимое значение осевого момента сопротивления: $W_x \geq \frac{M_{x \max}}{[\sigma]}$

По найденному моменту сопротивления W_x подбирают соответствующее сечение.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие силовые факторы возникают в сечении балки при чистом изгибе?
2. Какие силовые факторы возникают в сечении при поперечном изгибе?
3. Как определяются поперечная сила и изгибающий момент в поперечном сечении балки?
4. Поперечная сила и изгибающий момент: величина; правило знаков; определение их ординат в любом сечении; эпюры.
5. Нормальное напряжение в точке поперечного сечения при прямом изгибе балки. Максимальное напряжение. Осевой момент сопротивления сечения.
6. Расчеты на прочность при изгибе.

Тема 2.6 Сложное сопротивление. Гипотезы прочности

Обучающийся должен

иметь представление:

- о напряжённом состоянии в точке упругого тела;
- о теории предельных напряжённых состояний, об эквивалентном напряжённом состоянии;
- о гипотезах прочности;

знать:

- формулы для эквивалентных напряжений по гипотезам наибольших касательных напряжений и энергии формоизменения;

уметь:

- рассчитывать брус круглого поперечного сечения на прочность при изгибе с кручением и в общем случае нагружения.

Обобщение понятия о напряжённом состоянии в точке упругого тела. Главные напряжения.

Максимальные касательные напряжения.

Упрощённое плоское напряжённое состояние.

Назначение гипотез прочности. Эквивалентное напряжение. Гипотезы наибольших касательных напряжений и энергии формоизменения (без вывода).

Литература: [2, §§ 9.1, 9.4]; [2, примеры №№ 9.2, 9.3].

Методические указания

Проследите логическую цепочку перехода от одних понятий к другим по учебнику, усвойте понятие эквивалентного напряжения для напряженного состояния в точке тела, формулы для них (без вывода). Выводом после этого является значение гипотез прочности в практических расчетах. Изучение примеров из учебника научит последовательности расчета прямого бруса (вала) на прочность при изгибе с кручением, что будет использовано в разделе 3.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое гипотезы прочности, и в каких случаях возникает необходимость их применения?
2. Что такое эквивалентное напряжение, и какой вид имеет его выражение при совместном действии изгиба и кручения по третьей и пятой гипотезам прочности?
3. Порядок расчета валов на прочность при совместном действии изгиба с кручением?

Тема 2.7 Устойчивость сжатых стержней

Обучающийся должен

иметь представление:

- об устойчивых и неустойчивых формах равновесия, критической силе, коэффициенте запаса устойчивости;
- о критическом напряжении, гибкости стержня, о предельной гибкости;

знать:

- условия устойчивости сжатых стержней;
- формулу Эйлера и эмпирические формулы для расчёта критической силы и критических напряжений;

уметь:

- выполнять проверочные расчёты на устойчивость сжатых стержней.

Устойчивость сжатых стержней.

Критическая сила, критическое напряжение, гибкость. Формула Эйлера (без вывода). Формула Ясинского. Категории стержней в зависимости от их гибкости. Расчёты на устойчивость сжатых стержней.

Литература: [2, §§ 12.1-12.3]; [2, примеры №№ 12.1, 12.2].

Методические указания

При изучении темы вывод формулы Эйлера для определения критической силы сжатых стержней не требуется. Проследите связь темы с темой 2.2.

Необходимо знать понятие о предельной гибкости как механической характеристике материала стержня в отличие от геометрической характеристики – гибкость стержня. Усвоить связь между ними в пределах применимости. Знать формулу для контактного напряжения и связь с пределом пропорциональности. Изучить расчеты на устойчивость сжатых стержней по указанным примерам из учебника. Иметь представление о расчетах с использованием эмпирических формул для критических напряжений.

Вопросы для самоконтроля

1. Устойчивость. Понятие о продольном изгибе и критической силе. Формула Эйлера для критической силы.
2. Критическое напряжение. Гибкость стержня. Предельная гибкость.
3. Расчеты сжатых стержней на устойчивость.

РАЗДЕЛ 3 ДЕТАЛИ МАШИН

Тема 3.1 Общие сведения о передачах

Обучающийся должен

иметь представление:

- о критериях работоспособности деталей машин;
- о назначении и классификации передач;
- о передачах, используемых в технологическом оборудовании;

знать:

- классификацию машин по назначению;
- кинематические и силовые соотношения в передаточных механизмах;
- формулы для определения передаточного соотношения и коэффициента полезного действия многоступенчатой передачи;

уметь:

- выбрать тип механической передачи для преобразования одного вида движения в другой;
- анализировать и классифицировать элементы механизмов и машин общего применения;

- производить кинематические и силовые расчеты многоступенчатого привода, оперируя понятиями «передаточное отношение», «КПД».

Цели и задачи изучения раздела “Детали машин”. Механизм, машина, деталь, сборочная единица. Требования, предъявляемые к машинам, деталям и сборочным единицам. Критерии работоспособности и расчета деталей машин.

Назначение механических передач и их классификация по принципу действия. Передаточное отношение и передаточное число. Основные кинематические и силовые соотношения в передачах. Расчет многоступенчатого привода.

Достоинства передач вращательного движения и их назначение. Определение КПД одно- и многоступенчатой передачи.

Литература: [2, §§ 10.1, 10.2, 11.1, 11.2]; [3, с.5-17]; [6, §§ 3.1];
[2, примеры №№ 10.2, 11.1], [3, § 1-12], [3, § 6.1, 6, главы 7 - 21]

Методические указания

Третий раздел предмета Техническая механика - «Детали машин» посвящен рассмотрению основ расчета и конструирования деталей и узлов общего назначения, встречающихся в различных механизмах и машинах.

Механизмом называют систему тел, предназначенную для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемые движения других тел.

Машиной называют механизм или сочетание механизмов, которые служат для облегчения или замены физического или умственного труда человека и повышения его производительности.

Различают два вида машин:

1. Энергетические машины, преобразующие любой вид энергии в механическую и наоборот (двигатели, компрессоры и др.)

2. Рабочие машины, в том числе:

- технологические, изменяющие свойства, форму и размеры тел (станки, прессы);

- транспортные, перемещающие тела (транспортёры, краны);

- ЭВМ.

Все машины состоят из деталей, которые объединены в узлы.

Деталью называют часть машины, изготовленную без сборочных операций (шпонка, болт, зубчатое колесо).

Узел – крупная сборочная единица (коробка передач, муфта, редуктор), являющаяся составной частью изделия (привода, машины).

Различают детали и узлы общего и специального назначения.

Все детали общего назначения делятся на три основные группы:

1. Соединительные детали и соединения, которые могут быть неразъемные (заклепочные, сварные) и разъемные (шпоночные, резьбовые).
2. Передачи вращательного движения (зубчатые, червячные, ременные).
3. Детали и узлы, обслуживающие передачи (валы, подшипники, муфты).

Целью курса является изучение основ расчета и конструирования деталей и узлов общего назначения с учетом режима работы и срока службы машин. При этом рассматриваются выбор материала, его термообработка, рациональные формы деталей, их технологичность и точность изготовления.

Требования к машинам и деталям:

- высокая производительность; экономичность;
- равномерность хода, высокий КПД;
- автоматизация рабочих циклов;
- компактность, надежность и долговечность;
- удобство и безопасность обслуживания;
- транспортабельность.

Общие сведения о передачах.

Механическими передачами, или просто передачами, называют механизмы, передающие работу двигателя исполнительному органу машины.

Передачи могут одновременно выполнять следующие функции:

1. Понижать и повышать угловые скорости
2. Преобразовывать один вид движения в другой
3. Регулировать угловые скорости рабочего органа машины, реверсировать движение
4. Распределять работу двигателя между несколькими исполнительными органами машины.

Классификация передач.

В зависимости от принципа действия передачи делятся на две группы:

1. Передачи зацеплением - зубчатые, червячные, цепные;
2. Передачи трением – фрикционные и ременные

В зависимости от способа соединения ведущего и ведомого звеньев бывают:

- передачи непосредственного контакта – фрикционные, зубчатые, червячные;
- передачи гибкой связью – ременные, цепные.

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы задачи раздела «Детали машин»?
2. Какая разница между машиной и механизмом?
3. Какие требования предъявляются к машинам?
4. Как классифицируют механические передачи по принципу действия?
5. Каково назначение механических передач?
6. Кинематические параметры передач.
7. Чтение кинематических передач по условно-графическим обозначениям.

Тема 3.2 Зубчатые передачи. Редуктора

Обучающийся должен:

иметь представление:

- об основах теории зубчатого зацепления, образовании эвольвентного зацепления;

- об изготовлении зубчатых колёс;
- о зубчатом зацеплении со смещением;
- о конструкциях зубчатых колёс;
- о видах разрушений и критериях работоспособности;
- о материалах и допускаемых напряжениях;
- о планетарных и волновых передачах;
- о типоразмерах и исполнениях редукторов;
- о компоновках редукторов;

знать:

- устройство, принцип работы, классификацию и сравнительную оценку зубчатых передач;

- основные характеристики зубчатого зацепления;

- основные характеристики, геометрические, кинематические и силовые соотношения в цилиндрических и конических зубчатых передачах;

- усилия в зацеплении;
- основные расчёты на контактную прочность и изгиб;
- назначение, основные параметры, достоинства и недостатки редукторов основных типов;

уметь:

- выполнять кинематические, геометрические, силовые расчёты зубчатых передач, расчёты на контактную прочность и изгиб.

- выполнить проектировочный и проверочный расчет передачи редуктора

Зубчатые передачи. Характеристики, классификация и область применения зубчатых передач. Основы теории зубчатого зацепления. Краткие сведения об изготовлении зубчатых колёс.

Виды разрушений зубчатых колёс. Основные критерии работоспособности и расчёта. Материалы и допускаемые напряжения.

Прямозубые цилиндрические передачи. Геометрические соотношения. Силы, действующие в зацеплении колёс. Расчёт на контактную прочность и изгиб.

Косозубые и шевронные цилиндрические передачи. Особенности геометрии и расчёта на прочность.

Конические прямозубые передачи. Основные геометрические соотношения. Силы, действующие в зацеплении колёс. Расчёты конических передач. Планетарные и волновые передачи. Принцип работы, устройство.

Общие сведения о редукторах. Назначение, устройство, классификация. Конструкции одно- и двухступенчатых редукторов. Проектировочные и проверочные расчеты передачи редуктора.

Литература: [3, с.69-83, с.86-89, с.90-98, с.113-116, с.121-127, с.138-145];
[5, §7.6 примеры №№ 1, 3],
[3, с.181-184]; [6, гл.2, 12, примеры из гл.12].

Методические указания

Обратить внимание на то, что все термины, определения должны соответствовать действующим стандартам. Необходимо добиться полного понимания основной теоремы эвольвентного зацепления колес. Уметь различать понятия начальной и делительной окружности, знать понятие модуля зацепления. Уметь решать задачи на определение геометрических размеров цилиндрических и конических прямозубых колес, знать какие силы действуют в зацеплении этих колес в передачах.

Проектировочные и проверочные расчеты уметь выполнять, используя какой-то один из учебников в указанной последовательности. Уметь выбирать необходимые параметры в справочной литературе. Иметь представление о планетарных и волновых зубчатых передачах.

Обратить внимание на то, какие механизмы называют редукторами, на их применение. Знать: кинематические схемы редукторов и их конструктивное исполнение, виды редукторов (по типу передач, по числу ступеней, по расположению валов и колес), характерные особенности зубчатых и червячных редукторов, сведения об их

корпусах, о смазке передач редукторов и подшипников. Уметь изобразить и охарактеризовать кинематическую схему редуктора.

Вопросы для самоконтроля

1. Зубчатые передачи. Классификация. Достоинства и недостатки (цилиндрические и конические).
2. Геометрические размеры цилиндрических и конических зубчатых колес.
3. Силы (усилия) в зацеплении цилиндрических и конических передач. Сведения о порядке расчетов этих передач.
4. Какой механизм называют редуктором?
5. Какие виды редукторов различают по типу передачи и по числу ступеней? Их характеристики.
6. Кинематические схемы редукторов.

Тема 3.3 Червячные передачи

Обучающийся должен

иметь представление:

- об особенностях червячных передач и применении их в технологическом оборудовании;

- о факторах, влияющих на КПД червячной передачи;

- о материалах червяка и колеса;

- о тепловом расчёте червячной передачи;

знать:

- принцип работы, устройство, геометрические и кинематические соотношения;

- формулы для расчёта сил, действующих в зацеплении;

- основы расчёта на контактную прочность и изгиб;

уметь:

- выполнять проектировочный и проверочный расчёты червячной передачи.

Общие сведения о червячных передачах. Червячная передача с Архимедовым червяком. Геометрические соотношения, передаточное число, КПД. Силы, действующие в зацеплении. Виды разрушения зубьев червячных колёс. Материалы червячной пары.

Расчёт передачи на контактную прочность и изгиб. Тепловой расчёт передачи. Передачи глобоидные червячные. Примеры проектировочных расчётов червячных передач редуктора.

Литература: [3, с.155-170]; [5, §8.4, пример № 2]; [6, гл.12].

Методические указания

При изучении червячных передач все термины должны соответствовать ГОСТ 2144-76 «Передачи цилиндрические винтовые». Необходимо усвоить классификацию червячных передач, иметь в виду, что расчет червячной передачи ведется по вращающему моменту на червячном колесе, усвоить методику выбора числа витков червяка и число зубьев колеса в зависимости от передаточного числа. Надо знать принцип работы, устройство, геометрические и кинематические зависимости, силы в зацеплении червячной пары. Уметь выполнять проектировочный и проверочный расчеты, используя в учебниках последовательность расчетов. При этом необходимо уметь выбирать необходимые для расчета коэффициенты, входящие в расчетные формулы.

Вопросы для самоконтроля

1. Общие сведения о передаче. Достоинства и недостатки. Классификация червячных передач.
2. Основные геометрические соотношения в червячной передаче. КПД. Силы в зацеплении.
3. Материалы червячной пары, допускаемые напряжения.
4. Сведения о проектировочном и проверочных расчетах передачи, о тепловом расчете.

Тема 3.4 Фрикционные передачи

Тема 3.5 Ременные передачи

*Обучающийся должен
иметь представление:*

- о принципе работы, классификации, достоинствах и недостатках фрикционных передач;
- о передаточном отношении фрикционной передачи и коэффициенте скольжения;
- о диапазоне регулирования;
- о конструкциях вариаторов;
- о принципе работы, назначении и классификации ременных передач;
- о видах приводных ремней, шкивов и натяжных устройств;
- об усилиях и напряжениях в ремне;
- об упругом скольжении ремня;

*Документ управляется программными средствами 1С: Колледж
Проверь актуальность версии по оригиналу, хранящемуся в 1С: Колледж*

- о критериях работоспособности ремённых передач;

знать:

- устройство и материалы фрикционных передач;

- формулы для кинематического и силового расчётов и расчётов на прочность;

- порядок проектировочного расчёта цилиндрических фрикционных передач.

- геометрические зависимости ремённых передач;

- формулы для расчёта передаточного отношения ремённой передачи;

- основы, расчёт ремённой передачи по тяговой способности и на долговечность;

уметь:

- выполнять кинематический, силовой и геометрический расчёт ремённых передач;

- проводить расчёт по тяговой способности.

Фрикционные передачи. Принцип работы фрикционных передач с нерегулируемым передаточным числом. Цилиндрическая фрикционная передача. Передача с бесступенчатым регулированием передаточного числа – вариаторы. Область применения, определение диапазона регулирования.

Литература: [3, с.58-68]; [3, примеры №№ 10, 11]; [5, §5.7, пример № 1].

Методические указания

Необходимо иметь представление о принципе работы, классификации, достоинствах и недостатках фрикционной передачи. Знать устройства и материалы фрикционных передач, формулу для передаточного отношения, формулы для кинематического и силового расчёта.

Иметь представление о передачах с нерегулируемым передаточным числом. Обратит внимание на коэффициент скольжения. Более подробно следует изучить кинематические схемы вариаторов (лобового, торового и клиноременного).

Ознакомиться с расчётами фрикционных передач на примерах задач, указанных выше.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие основные виды фрикционных передач различают? Достоинства и недостатки. КПД. Применение.

2. Материалы поверхностей фрикционных катков. Передаточное отношение. Силы в передаче.

3. Вариаторы, область применения, диапазоны регулирования.

*Документ управляется программными средствами 1С: Колледж
Проверь актуальность версии по оригиналу, хранящемуся в 1С: Колледж*

4. Расчет на прочность фрикционных передач. Рекомендации по конструированию.

Ременные передачи

Общие сведения о ремённых передачах. Детали ремённых передач. Основные геометрические соотношения. Силы и напряжения в ветвях ремня. Передаточное число. Расчёт передачи по тяговой способности.

Литература: [3, с.185-211]; [3, пример № 34]; [5, §6.4, примеры №№ 1, 2].

Методические указания

Обратить внимание на то, что все термины, определения, значения расчетных параметров и коэффициентов должны соответствовать стандартным.

Знать и уметь давать сравнительную характеристику плоских приводных ремней, клиновых, поликлиновых и зубчатых. Знать формулы для расчета по тяговой способности и на долговечность, в чем их различие. Изучить последовательность расчета на указанных выше примерах, чтобы применять в самостоятельных расчетах.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие типы ременных передач применяют в машиностроении? Виды плоских и клиновых ремней.
2. Основные геометрические соотношения в открытых ременных передачах. Силы в ветвях ремня, напряжение. КПД.
3. Как рассчитывают плоские и клиновые ремни по тяговой способности?
4. Последовательность расчета плоскоремных и клиноремных передач.

Тема 3.6 Цепные передачи

Обучающийся должен иметь представление:

- о принципе работы, назначении и классификации цепных передач;
- о видах приводных цепей, звёздочек, натяжных устройствах;
- о причинах выхода из строя цепных передач;

знать:

- основные параметры, кинематику и геометрию цепных передач;
- основы расчёта на износостойкость шарниров;

уметь:

- производить подбор приводных роликовых цепей и выполнять проверочный расчёт.

Общие сведения о цепных передачах, классификация, детали передач. Геометрические соотношения.

Критерии работоспособности. Проектировочный и проверочный расчёты передач.

Литература: [3, с.212-224]; [3, пример № 36]; [5, §10.3, пример № 2].

Методические указания

В результате изучения темы обратить внимание на то, что основным критерием работоспособности передач является долговечность работы цепи, определяемая износом шарниров и поэтому расчет на износостойкость шарниров звеньев роликовой и втулочной цепи выполняют как проверочный по среднему давлению в шарнире. Иметь представление о видах приводных цепей, звездочек, натяжных устройствах. Знать кинематику и геометрию цепных передач. Используя последовательность расчета цепных передач в указанных выше примерах, научиться самостоятельно выполнять расчеты.

Вопросы для самоконтроля

1. Общие сведения о цепных передачах. Достоинства. Недостатки. Применение. Детали цепных передач. Шаг цепи. Передаточное отношение.
2. Основные геометрические соотношения в цепных передачах. Силы в ветвях цепи. КПД. Смазка.
3. Последовательность расчета цепных передач.

Тема 3.7 Оси, валы, шпоночные, резьбовые соединения

Оси и валы

Обучающийся должен:

иметь представление:

- о назначении, классификации и элементах конструкции валов и осей;
- о материалах валов и осей;

знать:

- расчётные формулы для проведения проектировочного и проверочного расчётов валов и осей;

уметь:

- составлять расчётную схему, выполнять расчёт прямых валов на прочность.

Валы и оси, их назначение, классификация. Элементы конструкций, материалы валов и осей.

Проектировочный и проверочный расчёты валов.

Литература: [3, с.225-240]; [5, §11.7, пример № 1 (1.1-1.6)]; [3, пример № 38].

Методические указания

В результате изучения темы иметь представление о назначении, классификации и элементах конструкции валов и осей, в чем различие валов и осей, о материалах валов и осей. Уметь сформулировать цели проектировочных и проверочных расчетов валов, последовательность расчетов. Уметь составлять расчетную схему вала; различать проверочные расчеты на усталостную и статическую прочность.

Примечание: Понятие о коэффициентах запаса выносливости известны из темы 3.1. Формулы эквивалентных напряжений даны в теме 2.8. Можно ознакомиться с примером расчета вала червяка на жесткость.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое вал и ось? Разновидности валов и осей.
2. Конструктивные элементы валов и осей, материалы. Критерии работоспособности.
3. Проектный расчет валов, его цель.
4. Последовательность проверочного расчета валов на усталостную прочность и статическую прочность.
5. Сведения о расчете осей.

Муфты

Обучающийся должен

иметь представление:

- о типах муфт и сравнительной характеристике их;
- о подборе муфт по ГОСТ;

знать:

- устройство и принцип действия основных типов соединительных муфт;

уметь:

- выбирать необходимый тип муфт по заданному моменту и диаметру вала.

Муфты. Назначение и классификация. Устройство и принцип действия основных типов муфт. Методика подбора стандартных и нормализованных муфт.

Литература: [3, с.283-292]; [3, пример № 48]; [5, §13.2, пример № 1].

Методические указания

Обратить внимание на типы муфт и их сравнительную характеристику. Подробнее изучить муфты, применяемые в той отрасли промышленности, которая соответствует будущей специальности. Уметь выбирать необходимый тип муфты по расчетному моменту, определять диаметр вала под муфту, длины ступиц и полуступицы.

Последовательность расчета некоторых муфт можно изучить по учебнику и рассмотреть указанные выше примеры расчетов.

Вопросы для самоконтроля

1. Назначение муфт, классификация.
2. Основная характеристика муфты. Как производится выбор муфты?
3. Краткая характеристика различных видов муфт, область их применения, принцип действия.

Шпоночные, шлицевые соединения

Обучающийся должен

иметь представление:

- о типах и сравнительной характеристике шпоночных соединений;
- о типах шлицевых соединений;

знать:

- типовые соединения стандартными шпонками;
- порядок подбора по ГОСТ шпонок и шлицевых соединений;

уметь:

- подбирать шпонки и шлицевые соединения и производить их проверочный расчёт.

Разъемные соединения. Шпоночные соединения. Классификация, сравнительная характеристика. Проверочные расчёты шпоночных соединений.

Литература: [3, с.240-253]; [6, §8.4]; [5, §4.8, примеры № 1, 2]; [3, пример № 40].

Методические указания

Принять к сведению понятия напряженных и ненапряженных соединений и указывать, какими шпонками создается соответствующее соединение. Уметь подбирать шпонки, производить проверочные расчеты шпонок на срез и шпоночных соединений на смятие. Иметь представление о типах шлицевых соединений, их достоинствах и недостатках, о последовательности проверочного расчета.

Вопросы для самоконтроля

1. Назначение шпоночных соединений, их разновидности, достоинства и недостатки, выбор.
2. Проверочные расчеты шпонок и шпоночных соединений.
3. По каким признакам подразделяют шлицевые соединения? Последовательность проверочного расчета.

Резьбовые соединения

Обучающийся должен:

иметь представление:

- о геометрических параметрах резьб;
- о классификации и стандартизации резьб;
- о способах стопорения крепёжных соединений;

знать:

- виды резьбовых соединений и крепёжных деталей;
- основы расчёта на прочность при постоянной нагрузке;
- силовые соотношения в силовой паре;

уметь:

- определять момент в резьбе и момент торцевого трения, КПД винтовой пары;
- выполнять расчёты одиночного болта при постоянной нагрузке.

Разъемные соединения. Резьбовые соединения. Основные типы резьб. Силовые соотношения в винтовой паре. Самоторможение. КПД винтовой пары.

Литература: [3, с.27-42]; [3, примеры №№ 4, 5, 6]; [5, §3.5, примеры №№ 1, 2].

Методические указания

Обратить внимание на сведения об образовании резьбы, ее классификации, на вывод силовых соотношений в винтовой паре, сделать анализ достижения надежности резьбового соединения, о самоторможении винтовой пары. Из анализа по-

лученных знаний в дисциплине «Инженерная графика» рассмотреть (вспомнить) конструктивные элементы резьбовых соединений. Знать геометрические и силовые соотношения в винтовой паре; различия между болтом, винтом и шпилькой. Уметь определять момент в резьбе и момент торцевого трения, КПД винтовой пары, выполнять расчеты одиночных болтов при постоянной нагрузке.

Вопросы для самоконтроля

1. Назначение резьбовых соединений. Винтовая поверхность.
2. Классификация резьб. Геометрические и силовые соотношения в винтовой паре. Материалы резьбовых деталей.
3. Стандартные крепежные детали. Примеры расчета болтов.

Передача винт-гайка

Обучающийся должен

иметь представление:

- о назначении передачи;
- о передаче трением скольжения и передаче трением качения;
- о материалах деталей передачи;
- о факторах, влияющих на КПД передачи;

знать:

- формулы для кинематического, геометрического и силового расчёта передачи винт-гайка.

Передача винт-гайка. Винтовая передача. Передачи с трением скольжения и трением качения. Принцип работы, устройство, область применения. КПД и передаточное число передачи. Виды разрушения. Материалы винтовой пары. Краткие сведения о проектировочном и проверочном расчёте передачи с трением скольжения.

Литература: [3, с.145-148]; [5, §9.4, пример № 1].

Методические указания

В результате изучения материала темы иметь представление: о назначении передачи; о передачах трением скольжения и трением качения; о материалах деталей передачи; о факторах, влияющих на КПД передачи. Уметь использовать формулы для кинематического, геометрического и силового расчета передачи, применяя последовательность расчета, данную в учебнике.

Вопросы для самоконтроля

1. Назначение передачи, применение. Разновидности винтов передачи.
2. КПД и передаточное отношение. Виды разрушения. Материалы винтовой пары.
3. Что принимают за основной критерий работоспособности и расчета передачи?
4. В чем заключается проверка винта на устойчивость?

Тема 3.8 Подшипники

Обучающийся должен:

иметь представление:

- об особенностях рабочего процесса подшипников скольжения и качения;
- об основных типах подшипников качения, устройстве и условных обозначениях;

о конструировании опор валов;

о долговечности подшипников качения;

знать:

- факторы, влияющие на выбор подшипников;
- порядок выбора подшипников качения;
- определение понятия долговечности подшипника;
- определение понятия динамической грузоподъемности подшипника, приведённой нагрузки для разных типов подшипников;

уметь:

- конструировать опоры с применением подшипников качения;
- определять типоразмер подшипника с учётом исходных параметров;
- рассчитывать необходимую динамическую грузоподъемность подшипников;
- определять номинальную долговечность подшипников качения различных типов.

Подшипники. Общие сведения. Подшипники скольжения: конструкции, область применения, материалы, смазка. Виды разрушения.

Подшипники качения: устройство, классификация, условные обозначения и основные типы.

Виды разрушения, материалы, область применения. Смазка и уплотнения, подбор подшипников качения по их динамической грузоподъемности.

Проверочный расчёт долговечности подшипников.

Литература: [3, с.253-258, 264-274]; [5, §12.9, примеры № 1, 2]; [3, пример № 47].

Методические указания

Принять к сведению особенности рабочего процесса подшипников скольжения и качения, о применении подшипников скольжения, их конструкции, смазка и материалы, об износостойкости и теплостойкости.

Более подробно изучить подшипники качения. Уметь подбирать, знать условные обозначения, уметь рассчитывать долговечность по динамической грузоподъемности.

При рассмотрении радиально-упорных подшипников знать, как определить точку приложения радиальной нагрузки подшипника, формулы определения осевой составляющей радиальной нагрузки и суммарной осевой нагрузки в подшипнике и эквивалентной нагрузки.

Изучить последовательность расчета долговечности подшипников на примерах, указанных задач в учебнике [3] и задачнике [5].

Вопросы для самоконтроля

1. Подшипники скольжения, их типы по конструкции, устройство. Условный расчет подшипников скольжения. Смазка.
2. Подшипники качения. Их детали. Достоинства и недостатки. Классификация. Маркировка. Выбор типа подшипника.
3. Статическая и динамическая грузоподъемность подшипников. Последовательность расчета.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Задачи для домашней контрольной работы составлены по многовариантной системе. В каждом варианте даны схемы, рисунки и таблицы необходимых числовых данных, номер задачи.

Выполнению контрольной работы предшествует изучение теоретического материала по выбранным учебникам в соответствии с программой. Рекомендуется ведение конспекта (без вывода формул).

Номер варианта контрольной работы определяется по двум последним цифрам шифра (номера зачетной книжки или личного дела). Например, шифру 5537 соответствует вариант 37, шифру 5603 – вариант 03, шифру 5500 – вариант 00 и т.д. Выбор исходных данных смотрите в приложении № 1.

Домашняя контрольная работа выполняется в отдельной ученической тетради в клеточку. На обложку тетради наклеиваются и полностью заполняются листки по определенной форме, выдаваемые учебным заведением. Работу надо выполнять аккуратным почерком, обязательно шариковой ручкой (или чернилами) с интервалами между строчками. Для замечаний преподавателя следует оставлять поля, а в конце тетради несколько страниц для рецензии и для выполнения работы над ошибками. Каждую задачу желательно начинать с новой страницы. Обязательно переписывать тексты условий задач. Рисунки к задачам выполнять только карандашом. За полным условием задачи необходимо записать краткое условие: «Дано», «Определить». Для обозначения основных общетехнических дисциплин использовать только стандартные символы (обозначения). При решении задач применять Международную систему единиц.

Решение задачи делится на пункты, каждый из которых имеет подзаголовок с указанием, что определяется в данном пункте, по каким формулам или на основе какого теоретического материала.

Порядок подстановок числовых данных должен соответствовать порядку расположения буквенных обозначений этих величин в формуле. Вычисления производить с точностью до трех значащих цифр. При необходимости надо выполнить проверку решения задачи. Необходимо обращать внимание на соблюдение правильности размерностей, подставляемых в формулу значений величин. В рекомендованных учебниках и руководствах курсанты найдут достаточное количество примеров задач, подобных тем, которые включены в контрольную работу.

Приложение № 1 к выбору исходных данных по номеру варианта в соответствующей ему строке.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	01	03	06	10	02	08	05	04	09	07
1	02	05	09	01	07	04	03	08	06	10
2	04	08	10	06	03	02	07	05	01	09
3	07	09	05	02	10	06	04	01	03	08
4	08	04	01	09	05	03	10	06	02	07
5	03	10	08	04	09	07	01	02	05	06
6	09	07	02	08	06	01	03	10	04	05
7	06	01	07	05	08	10	02	03	09	04
8	05	06	04	07	01	02	08	09	10	03
9	10	02	03	05	04	08	06	07	09	01

В вертикальной графе слева находите первую цифру варианта, в горизонтальной графе вторую цифру варианта. На их пересечении указан номер строки, в которой записаны исходные данные к задаче (в таблицах).

Например: шифр 5235, вариант 35, номер строки 06.

В задаче № 1 (таблица 1): $F = 260 \text{ Н}$, $\alpha = 45^\circ$, $\beta = 60^\circ$, $\gamma = 90^\circ$.

Раздел 1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

СТАТИКА

Тема: «Плоская система сходящихся сил»

Задача 1

Определить реакции стержней, удерживающих грузы F_1 и F_2 . Массой стержней пренебречь. Схему своего варианта см. на рисунке – 1. Числовые данные своего варианта взять из таблицы – 1.

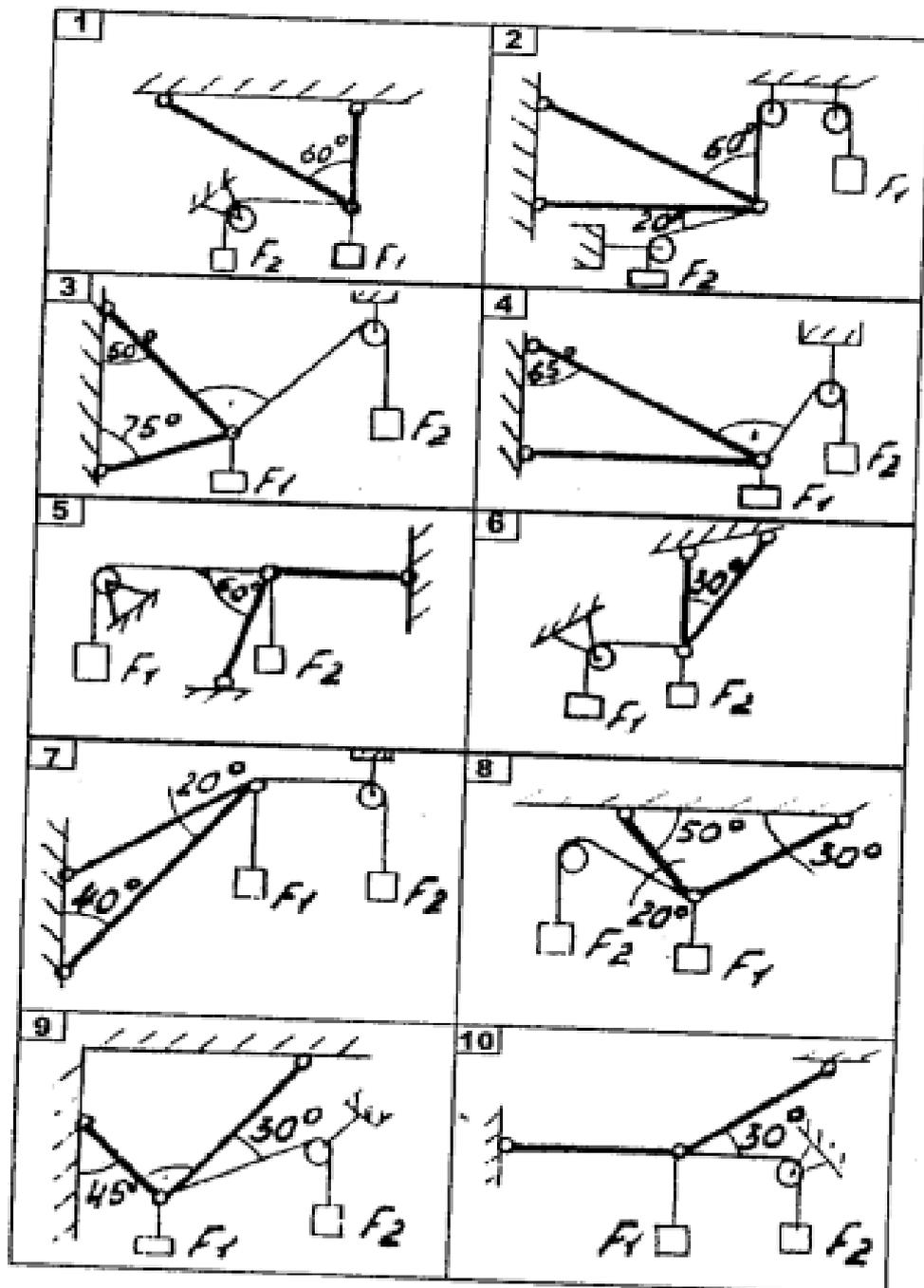


Рисунок – 1

Таблица – 1

№ строчки	№ схемы	F ₁	F ₂
		кН	кН
01	3	7	3
02	4	8	5
03	5	5	2
04	6	10	4
05	7	12	6
06	8	18	4
07	9	5	2
08	10	6	1
09	1	16	7
10	2	20	8

Тема «Центр тяжести»

Задача №2

Для заданных сечений, состоящих из прокатных профилей и полосы $b \times h$, определить положение центра тяжести (рисунок – 2, таблица – 2).

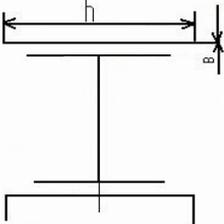
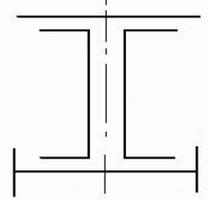
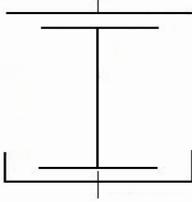
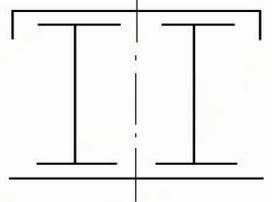
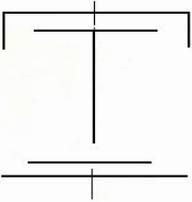
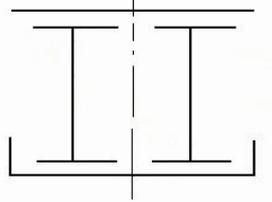
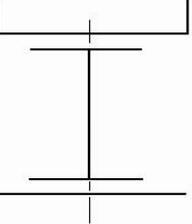
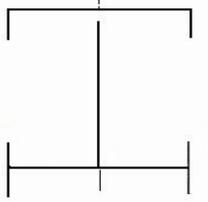
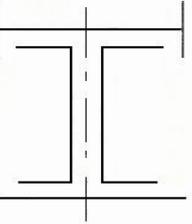
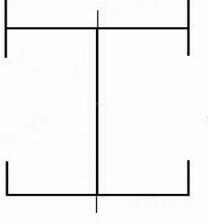
<p>1</p> 	<p>6</p> 
<p>2</p> 	<p>7</p> 
<p>3</p> 	<p>8</p> 
<p>4</p> 	<p>9</p> 
<p>5</p> 	<p>10</p> 

Рисунок - 2

Таблица - 2

№ строчки	№ схемы	Двутавр	b, см	h, м	Швеллер
01	2	12	20,0	1,2	14
02	4	14	18,0	1,5	16
03	5	16	24,0	1,8	20
04	3	18	28,0	2,0	18а
05	1	20	24,0	1,8	22а
06	8	22	20,0	1,5	24а
07	6	24	15,0	1,2	30
08	10	24а	12,0	1,0	33
09	9	18а	24,0	2,0	22
10	7	22а	21,0	2,4	24

ДИНАМИКА

Задача № 3

Груз массой m , двигаясь по наклонной плоскости (рисунок - 3, схема I) или по горизонтальной плоскости (рисунок - 3, схема II), под действием силы F проходит путь S за время t . Считая движение груза равноускоренным с начальной скоростью $V_0 = 0$ м/с, определить величину силы F , если коэффициент трения равен f . Исходные данные для своего варианта взять из таблицы - 3.

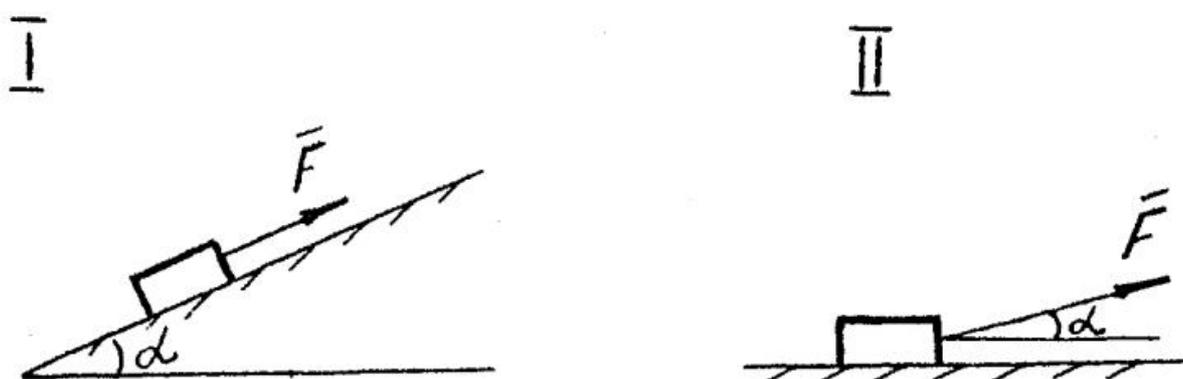


Рисунок – 3 Расчетные схемы

Таблица – 3

№ строчки	Исходные данные					
	№ схемы	m, кг	S, м	α , град	f	t, с
01	1	20	10	15	0,25	1,5
02	2	30	15	25	0,35	2,5
03	1	25	12	20	0,30	2,0
04	2	35	18	30	0,40	3,0
05	1	40	20	35	0,35	2,5
06	2	45	20	30	0,30	2,0
07	1	50	18	25	0,25	1,5
08	2	55	15	20	0,20	2,5
09	1	60	12	15	0,30	2,0
10	2	65	10	10	0,35	2,0

Раздел 2 СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Тема: «Растяжение и сжатие»

Задача № 4

Двухступенчатый стальной брус, длины ступеней которого указаны на рисунке - 4 (схемы 31-40) нагружен силами F_1 и F_2 . Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений по длине бруса. Определить перемещение Δl свободного конца бруса, приняв $E = 2 \cdot 10^5$ МПа. Проверить прочность бруса и указать, насколько (в процентах) брус недогружен или перегружен. Принять $[\sigma] = 160$ МПа.

Исходные данные для своего варианта взять из таблицы - 4.

Таблица – 4

№ строчки	№ схемы	F_1	F_2	A^1	A^2
		кН	кН	см ²	см ²
01	31	12	30	0,8	1,5
02	32	22	4	1,4	1,2
03	33	20	3	1,65	1,4
04	34	11	29	0,9	1,2
05	35	19	43	1,55	1,9
06	36	26	46	2,2	1,7
07	37	23	4	1,3	1,9
08	38	15	35	1,4	1,5
09	39	19	36	1,6	1,7
10	40	35	10	2,4	2,1

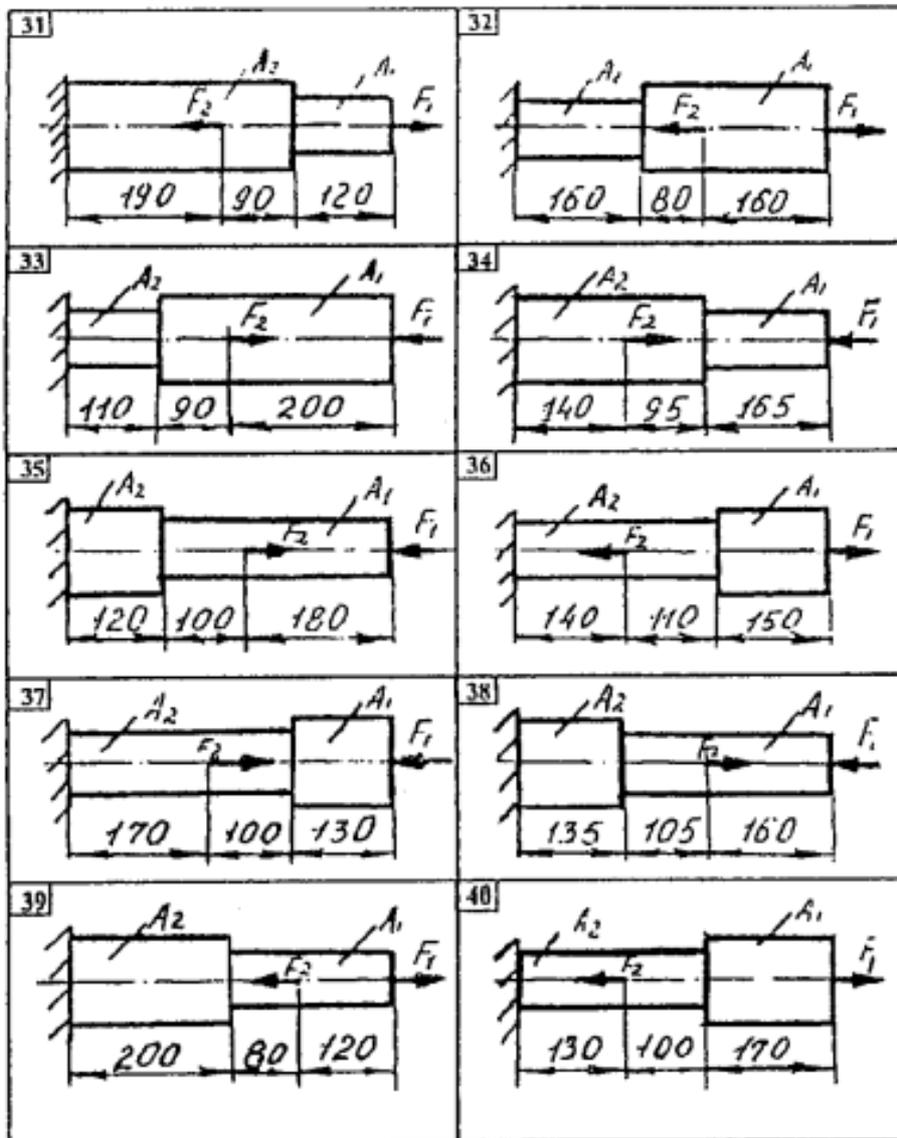


Рисунок – 4

Тема «Изгиб»

Задача № 5

Для заданной двухопорной балки (рисунок 5) определить реакции опор, построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. Подобрать сечения в виде прямоугольника и круга, приняв для прямоугольника $h = 4$ в. Проверить прочность балки при выбранных сечениях соответственно. Сечения выбирать по наибольшему изгибающему моменту. Считать $[\sigma] = 160$ МПа. Номер задачи, номер схемы и числовые данные своего варианта взять из таблицы 5.

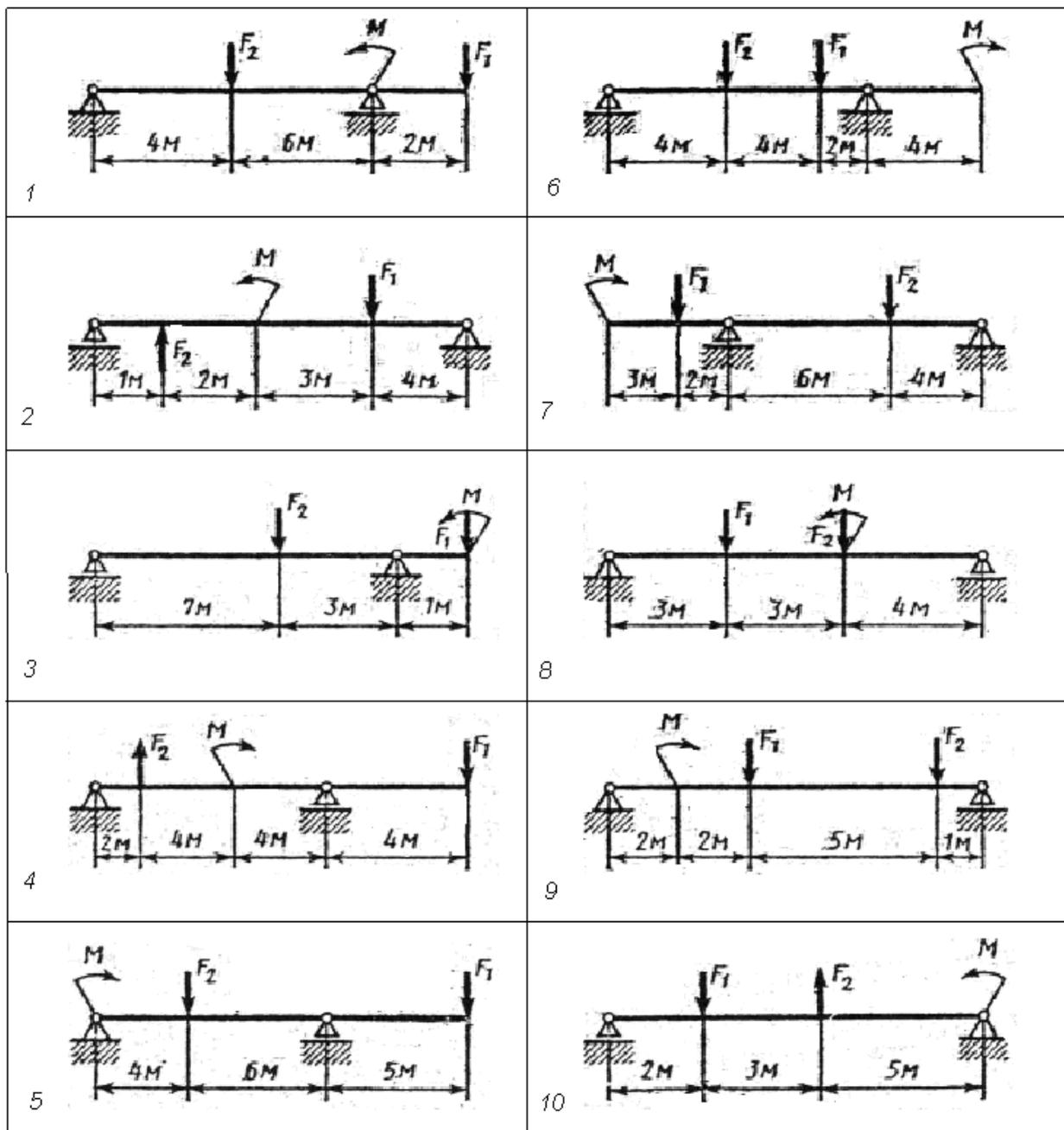


Рисунок - 5

Таблица – 5

№ строчки	№схемы	F1	F2	M
		кН		кН· М
01	3	5	2	6
02	10	8	1	4
03	7	10	2	5
04	8	12	3	8
05	6	6	1	3
06	2	4	3	10
07	5	3	2	8
08	4	8	4	12
09	1	2	3	7
10	9	9	5	11

ДЕТАЛИ МАШИН

Задача № 6

Привод состоит из электродвигателя мощностью $P_{дв}$ с частотой вращения вала $n_{дв}$ и двухступенчатой передачи, включающей редуктор и открытую передачу, характеристики звеньев которой (d или z) заданы. Дайте характеристику привода и его отдельных передач (рисунок – 6, таблица 6). Определите: а) общие КПД и передаточное отношение привода; б) мощности, угловые скорости и вращающие моменты для всех валов. Выполните геометрический расчет передачи редуктора. Тип передачи (червячная, цилиндрическая прямо- или косозубая). При расчете цилиндрических передач принять следующие значения относительной ширины колеса φ :

$\varphi = 0,4$ для прямозубой передачи и $\varphi = 0,5$ для косозубой передачи.

КПД передач смотрите в приложении.

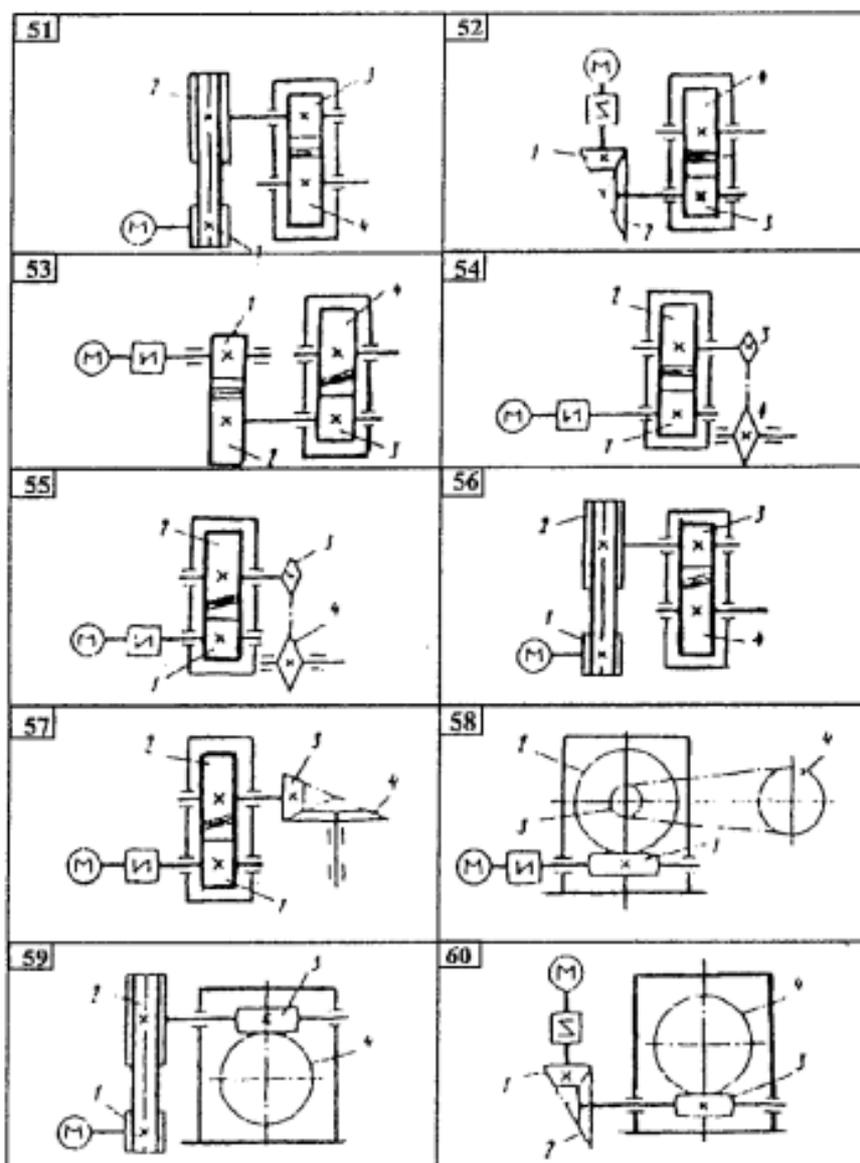


Рисунок – 6

Таблица – 6

№ строчки	№ схемы	P _{дв} кВт	n _{дв} об/мин	u _{ред}	d ₁	d ₂	z ₁	z ₂	z ₃	z ₄	U _{ред.}	a _w
01	51	3	1435	3,15	120	360	-	-	-	-	3,15	112
02	52	2,2	950	4	-	-	20	50	-	-	4	125
03	53	4	1430	2,5	-	-	18	36	-	-	2,5	90
04	54	1,5	935	5	-	-	-	-	20	60	5	180
05	55	4	950	3,15	-	-	-	-	16	40	3,15	100
06	56	5,5	1445	4	120	360	-	-	-	-	4	112
07	57	4	1430	2,5	-	-	-	-	21	63	2,5	80
08	58	7,5	1455	20	-	-	-	-	18	54	20	160
09	59	4	950	22	80	160	-	-	-	-	22	180
10	60	5,5	950	18	-	-	20	60	-	-	18	220

Методические указания к выполнению контрольной работы

Статика

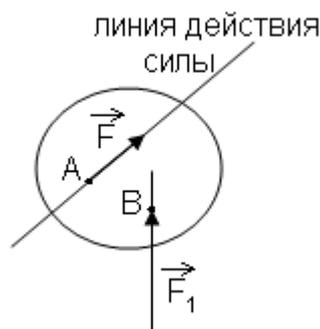
Тема «Плоская система сходящихся сил»

В теоретической механике вместо реальных тел изучают их абстрактные модели: абсолютно твердое тело и материальную точку.

В статике изучают силы, их свойства и равновесие (покой) тела в системе отсчета, принятой за неподвижную.

1. Сила – это мера механического взаимодействия тел.

Сила – величина векторная, т.е. имеет точку приложения, направление ее действия и величину (модуль или численное значение).



\vec{F} – вектор силы;

$|\vec{F}|$ или F – величина силы;

Во многих учебниках над силой не ставят вектор, а выделяют их жирным шрифтом.

2. $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_k, \dots, \vec{F}_n)$ – система сил, индекс $k = 1, 2, 3, \dots, n$;
3. $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n) \sim (\vec{F}'_1, \vec{F}'_2, \dots, \vec{F}'_n)$ – эквивалентные системы сил;
4. $(\vec{R}) \sim (\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n)$ – определение равнодействующей;
5. $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n) \sim 0$ – уравновешенная система сил (тело в равновесии);
6. \vec{F}_y – уравновешивающая сила.

Если $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3) \approx 0$ (неуравновешенная)

Добавим \vec{F}_y , получили $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_y) \sim 0$.

В статике изучают несвободные тела.

Связи – это ограничения на свободные перемещения тела в пространстве.

Применяют принцип освобождаемости от связей.

Силы реакций связей – силы, с которыми связи действуют на тело.

В любом учебнике рассмотрены связи и силы реакций связей подробно.

Единицы измерения силы.

1. Техническая система (мкГсс)

$$1\text{кГс} = 10^3 \text{ Гс}$$

Длина	Сила	Время
М	кГс	С

(кГ) в старых учебниках

$$[\text{Масса}] = \frac{[\text{сила}]}{[\text{ускорение}]}$$

$$1 \frac{\text{кГс} \cdot \text{с}^2}{\text{м}} = 1 \text{ т.е.м. (техническая единица массы)}$$

2. СИ

Длина	Сила	Время
М	кГ	С

(кг) в старых учебниках

$$F = m \cdot a$$

$$[\text{Сила}] = [\text{масса}] \cdot [\text{ускорение}]$$

$$1 \frac{\text{кГ} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} = 1 \text{ Н. (Ньютон)}$$

$$1\text{кН} = 10^3 \text{ Н}; \quad 1\text{МН} = 10^6 \text{ Н}$$

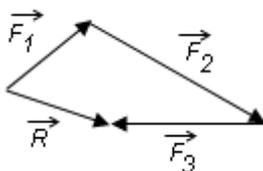
(килоньютон) (меганьютон)

Связь $1\text{кГс} = 1\text{кГ} \cdot 9,81\text{м/с}^2 = 9,81 \text{ Н}$ или $1\text{кГс} \approx 10\text{Н}$.
(сила тяжести $G = mg$)

$$1\text{т} = 10^3 \text{ кГс} = 10^4 \text{ Н} = 10 \text{ кН}.$$

Система сходящихся сил – это система сил, линии, действия которых пересекаются в одной точке.

Так как сила – скользящий вектор, то силу можно переносить вдоль линии ее действия из одной точки в другую. Применяя последовательно правило параллелограмма или правило треугольника, такую систему сил можно заменить одной силой – равнодействующей.



$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$$

\vec{R} – замыкающий вектор силового многоугольника.

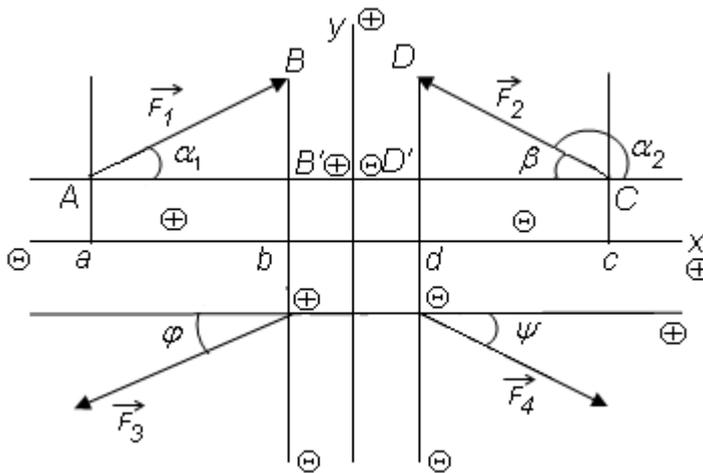
Для системы n сил $\vec{R} = \sum_{k=1}^{k=n} \vec{F}_k$ - геометрическая сумма сил.

Такой метод определения равнодействующей называют графическим. Его применяют для проверки правильности решения задачи.

Решают задачу аналитическим методом – методом проекций сил на оси координат.

Обозначения проекций:

1) $\text{пр}_x \vec{F}$, $\text{пр}_y \vec{F}$; 2) x ; y ; 3) \vec{F}_x \vec{F}_y .



$$F_{1x} = \oplus ab$$

$$F_{2x} = \ominus cd$$

$$F_{1x} = F_1 \cdot \cos \alpha_1$$

$$F_{2x} = -F_2 \cdot \cos \beta$$

$$F_{3x} = -F_3 \cdot \cos \varphi$$

$$F_{4x} = F_4 \cdot \cos \psi$$

$$F_{1y} = F_1 \cdot \cos (90 - \alpha)$$

$$F_{2y} = F_2 \cdot \cos (90 - \beta)$$

$$F_{3y} = -F_3 \cdot \cos (90 - \varphi)$$

$$F_{4y} = -F_4 \cdot \cos (90 - \psi)$$

или

$$F_{1y} = F_1 \cdot \sin \alpha_1$$

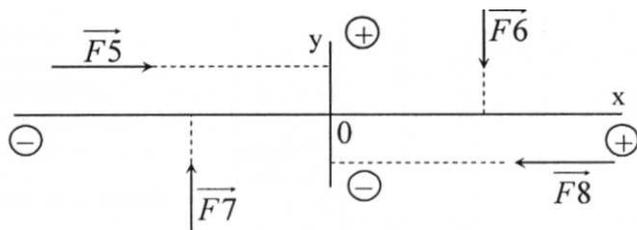
$$F_{2y} = F_2 \cdot \sin \beta$$

$$F_{3y} = -F_3 \cdot \sin \varphi$$

$$F_{4y} = -F_4 \cdot \sin \psi$$

Определение: Проекция вектора силы на ось равна произведению модуля силы на косинус острого угла между силой и осью, взятому со знаком плюс, если острый угол образован силой с положительным направлением оси, и со знаком минус, если острый угол образован силой с отрицательным направлением оси.

Частные случаи проекций сил.



$$F_{5x} = F_5 \quad F_{5y} = 0$$

$$F_{6x} = 0 \quad F_{6y} = -F_6$$

$$F_{7x} = 0 \quad F_{7y} = F_7$$

$$F_{8x} = -F_8 \quad F_{8y} = 0$$

Условие и уравнения равновесия плоской системы сходящихся сил.

1. Условие: $\vec{R} = 0$, то есть силовой многоугольник замкнут.

2. Если $\vec{R} = 0$, то $R_x = 0, R_y = 0$ так как $\vec{R} = \sum \vec{F}_k$, то

$$R_x = \sum F_{kx} = F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx}$$

$$R_y = \sum F_{ky} = F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny}$$

тогда $\begin{cases} \sum F_{kx} = 0 \\ \sum F_{ky} = 0 \end{cases}$ - это уравнение равновесия.

Задача 1. Невесомые твёрдые стержни соединены между собой в точке А и С вертикальной стеной в точках В и С. На шарнирный болт А действует сила \vec{F} .

Определить реакции стержней 1 и 2, если $F = 10$ кН (рисунок 7).

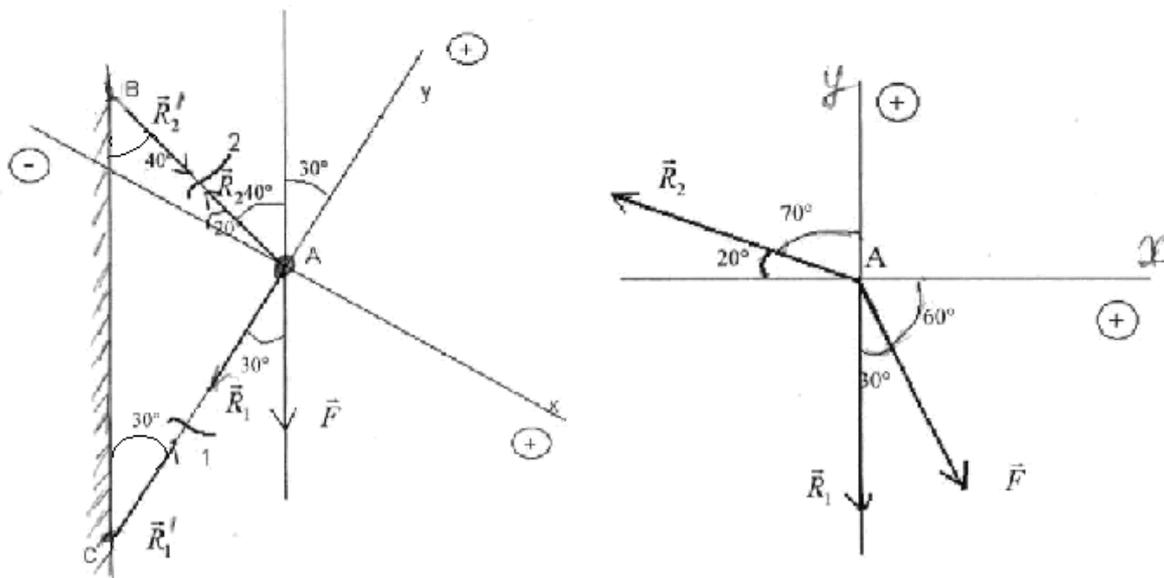


Рисунок 7 Расчетная схема сил

Дано: $F = 10 \text{ кН}$

Найти: R_1, R_2

Решение:

1. В равновесии шарнир (узел) А
2. Связи: твёрдые стержни 1 и 2
3. Силы реакций связей \vec{R}_1 и \vec{R}_2 . Предполагаем, что стержни растянуты.
4. Изображаем расчётную схему сил и оси координат. Одна из осей направлена по стержню 1.
5. $(\vec{F}, \vec{R}_1, \vec{R}_2) \sim 0$ Аналитический метод. Плоская система сходящихся сил.

Уравнения равновесия.

$$\sum F_{\text{хх}} = 0$$

$$+F \cdot \cos 60^\circ - R_2 \cdot \cos 20^\circ = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_{\text{yy}} = 0$$

$$R_2 \cdot \cos 70^\circ - F \cdot \cos 30^\circ - R_1 = 0 \quad (2)$$

Решаем уравнения.

$$(1) \quad 10 \cdot 0,5 - R_2 \cdot 0,94 = 0, \quad R_2 \cdot 0,94 = 5, \quad R_2 = 5/0,94 = 5,32 \text{ кН}$$

$$(2) \quad 5,32 \cdot 0,342 - 10 \cdot 0,866 - R_1 = 0, \quad R_1 = -6,84 \text{ кН}$$

Знаки указывают на то, что стержень 1 сжат, стержень 2 растянут. При проверке графическим методом надо выбрать масштаб и построить замкнутый силовой треугольник.

Ответ: $R_1 = -6,84 \text{ кН}; R_2 = 5,32 \text{ кН}$.

Пример 2. Определить аналитическим и графическим способами усилия в стержнях АВ и ВС заданной стержневой системы (рисунок 8).

Дано: $F_1 = 28 \text{ кН}; F_2 = 42 \text{ кН}; \alpha_1 = 45^\circ; \alpha_2 = 60^\circ; \alpha_3 = 30^\circ$.

Определить: усилия \bar{S}_A и \bar{S}_C

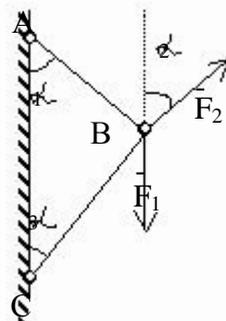


Рисунок -8

Аналитическое решение

1. Рассматриваем равновесие точки В, в которой сходятся все стержни и внешние силы (рисунок 8).

2. Отбрасываем связи АВ и ВС, заменяя их усилиями в стержнях \bar{S}_A и \bar{S}_C . Направления усилий примем от угла В, предполагая стержни растянутыми. Выполним на отдельном чертеже схему действия сил в точке В (рисунок 9).

3. Выбираем систему координат таким образом, чтобы одна из осей совпадала с неизвестным усилием, например, с \bar{S}_A . Обозначаем на схеме углы, образованные действующими силами с осью X и составляем уравнения равновесия плоской системы сходящихся сил:

$$\Sigma F_{RX} = 0; \quad F_2 \cos 75^\circ + F_1 \cos 45^\circ + S_c \cos 75^\circ - S_A = 0 \quad (1);$$

$$\Sigma F_{RY} = 0; \quad F_2 \cos 15^\circ - F_1 \cos 45^\circ - S_c \cos 15^\circ = 0 \quad (2).$$

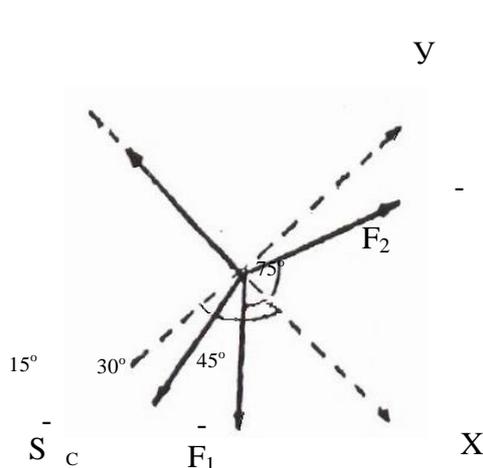


Рисунок - 9

Из уравнения (2) находим усилие S_c :

$$S_c = \frac{F_2 \cos 15^\circ - F_1 \cos 45^\circ}{\cos 15^\circ}$$

Подставляем числовые значения:

$$S_c = \frac{42 * 0.966 - 28 * 0.707}{0.966} \approx 21.51 \text{ кН}$$

Найденное значение S_c подставляем в уравнение (1) и находим из него значение S_A :

$$S_A = F_2 \cos 75^\circ + F_1 \cos 45^\circ + S_c \cos 75^\circ \text{ или} \\ S_A = 42 * 0.259 + 28 * 0.707 + 21.51 * 0.259 = 36.24 \text{ кН.}$$

Окончательно $S_A = 36,24$ кН, $S_C = 21,51$ кН; знаки указывают, что оба стержня растянуты.

Графическое решение

Выбираем масштаб сил $m = 10 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$, тогда силы \bar{F}_1 и \bar{F}_2 будут откладываться отрезками $F_1^m = \frac{F_1}{m} = \frac{28}{10} = 2,8$ см; $F_2^m = \frac{F_2}{m} = \frac{42}{10} = 4,2$ см.

Из произвольно выбранной точки 0 откладываем отрезок, соответствующий величине и направлению силы \bar{F}_1 . Из конца этого отрезка откладываем отрезок F_2^m . Так как условием равновесия сходящейся системы сил является замкнутость силового многоугольника, то из начала отрезка F_1^m откладываем линию, параллельную вектору \bar{S}_c , а из конца отрезка F_2^m откладываем линию, параллельную вектору \bar{S}_A . Точка их пересечения является вершиной силового многоугольника (рисунок 10).

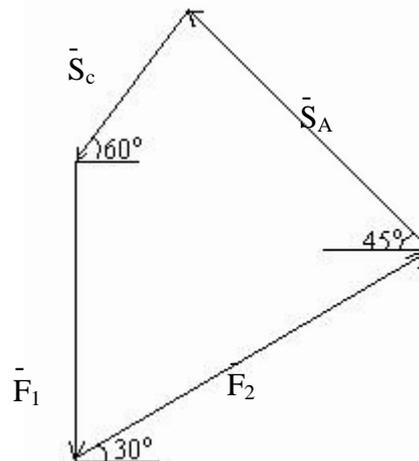


Рисунок - 10

Измеряя отрезки S_A^m и S_C^m и, умножая их на масштаб находим значения S_A и

S_C :

$$S_A = S_A^m * m = 3,65 * 10 = 36,5 \text{ кН};$$

$$S_C = S_C^m * m = 2,15 * 10 = 21,5 \text{ кН}.$$

Вычислим допущенную при графическом способе решения ошибку:

$$S_A = \frac{36,5 - 36,24}{36,24} * 100\% \approx 0,72\%;$$

$$S_C = \frac{21,51 - 21,5}{21,51} * 100\% \approx 0,05\%.$$

(Ошибка находится в пределах 2%).

Ответ:

а) аналитическое решение:

$$S_A = 36.24 \text{ кН}; S_C = 21,51 \text{ кН}$$

б) графическое решение:

$$S_A = 36.5 \text{ кН}; S_c = 21.5 \text{ кН}.$$

Тема «Центр тяжести»

Пример 1. Определить координаты центра тяжести сечения. Сечение состоит из двутавра № 18, швеллера № 18 и пластины 200*60 (рисунок-11)

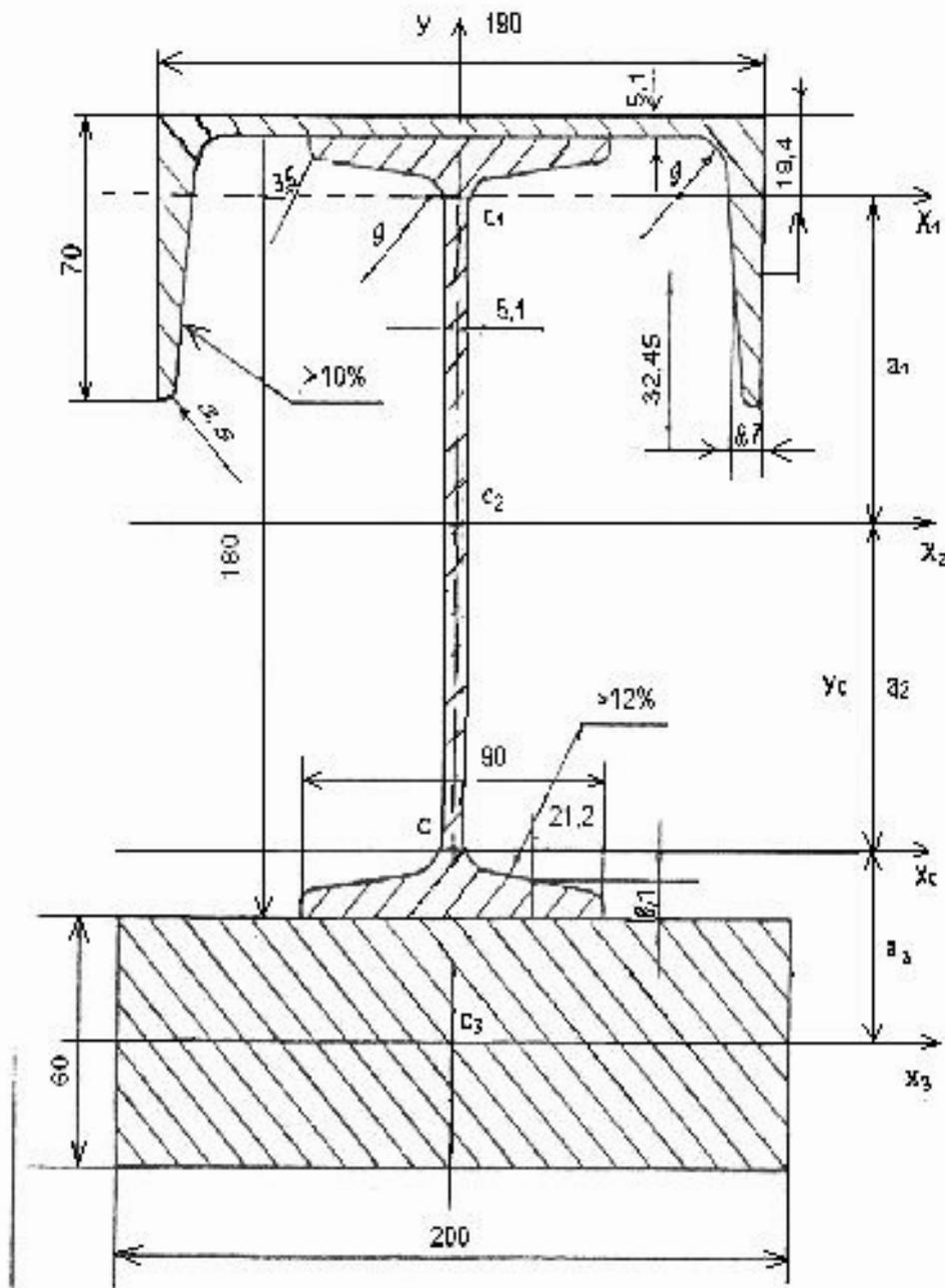


Рисунок - 11

Решение:

1 Разбиваем сечение на профили проката. Оно состоит из двутавра № 18, швеллера № 18 и пластины 200*60. обозначим их 1, 2, 3.

2 Указываем центры тяжести каждого профиля, используя таблицу приложения, и обозначаем их C_1, C_2, C_3 , проводим через них оси X_1, X_2, X_3 .

3 Выбираем систему координатных осей. Ось Y совмещаем с осью симметрии, а ось X проводим через центр тяжести двутавра.

4 Определяем центр тяжести всего сечения. Так как ось Y совпадает с осью симметрии, то она проходит через центр тяжести сечения, потому $X_c=0$. Координату Y_c определяем по формуле:

$$Y_c = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2 + A_3 y_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

5 Пользуясь таблицами ГОСТ 8239-89, ГОСТ 8240-89, ГОСТ 8510-86, ГОСТ 8509-86, определяем координаты центров тяжести (приложение).

$$A_1 = 20,7 \text{ см}^2 \quad y_1 = \left(\frac{h_2}{2} + d_1 - z_0 \right) = \frac{18}{2} + 0,51 - 1,94 = 7,57 \text{ см}$$

$$A_2 = 23,4 \text{ см}^2 \quad y_2 = 0$$

$$A_3 = 20 \cdot 6 = 120 \text{ см}^2 \quad y_3 = - \left(\frac{h_2}{2} + \frac{h_3}{2} \right) = - \left(\frac{18}{2} + \frac{6}{2} \right) = -12 \text{ см}$$

Координата y_2 равна нулю, так как ось X проходит через центр тяжести двутавра. Подставляем полученные значения в формулу для определения y_c :

$$y_c = \frac{20,7 \cdot 7,57 + 23,4 \cdot 0 + 120 \cdot (-12)}{20,7 + 23,4 + 120} = -7,82 \text{ см}$$

6. Указываем центр тяжести сечения на рисунке и обозначаем его буквой C .

Показываем расстояние $y_c = -7,82$ см от оси X до точки C .

7. Определяем расстояние между точками C и C_1 , C и C_2 , C и C_3 , обозначаем их a_1, a_2, a_3 :

$$a_1 = y_1 + y_c = 7,57 + 7,82 = 15,39 \text{ см}$$

$$a_2 = y_c = 7,82 \text{ см}$$

$$a_3 = y_3 - y_c = 12 - 7,82 = 4,18 \text{ см}$$

8. Выполняем проверку. Для этого ось X проводим по нижнему краю пластины. Ось Y оставляем, как в первом решении. Формулы для определения x_c и y_c не изменятся:

$$x_c = 0, \quad y_c = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2 + A_3 y_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

Площади профилей останутся такими же, а координаты центров тяжести двутавра, швеллера и пластины изменятся.

$$A_1 = 20,7 \text{ см}^2 \quad y_1 = (h_3 + h_2 + d_1 - z_0) = 6 + 18 + 0,51 - 1,94 = 22,57 \text{ см}$$

$$A_2 = 23,4 \text{ см}^2 \quad y_2 = h_3 + \frac{h_2}{2} = 6 + \frac{18}{2} = 15 \text{ см}$$

$$A_3 = 20 \cdot 6 = 120 \text{ см}^2 \quad y_3 = \frac{h_3}{2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ см}$$

Находим координату центра тяжести:

$$y_c = \frac{20,7 \cdot 22,57 + 23,4 \cdot 15 + 120 \cdot 3}{20,7 + 23,4 + 120} = 7,18 \text{ см}$$

По найденным координатам x_c и y_c наносим на рисунок точку С. Найденное двумя способами положение центра тяжести находится в одной и той же точке.

Сумма координат y_c , найденных при первом и втором решении: $7,82 + 7,18 = 15 \text{ см}$

Это равно расстоянию между осями Х при первом и втором решении:

$$18/2 + 6 = 15 \text{ см.}$$

Ответ: $x_c = 0$; $y_c = 7,18 \text{ см}$;

Пример 2. Для заданного плоского симметричного сечения составленного из профилей стандартного проката определить положение центра тяжести (рисунок 12).

ДАНО: полоса 120×10 (ГОСТ 103-76);

двутавр № 12 (ГОСТ 8239-89); швеллер № 14 (ГОСТ 8240-89).

НАЙТИ: $C(x_c; y_c)$.

РЕШЕНИЕ I:

1) Разбиваем сложное сечение на 3 простых сечения:

1 – полоса; 2 – двутавр; 3 – швеллер.

2) Выписываем из таблиц ГОСТа (приложение) и определяем необходимые данные для простых сечений:

Полоса 120×10 ; $A_1 = 120 \cdot 10 = 1200 \text{ мм}^2 = 12 \text{ см}^2$; $C_1 (0; 0,5)$

Двутавр № 12; $A_2 = 14,7 \text{ см}^2$; $C_2 (0; 7)$

Швеллер № 14; $A_3 = 15,6 \text{ см}^2$; $C_3 (0; 14,67)$

3) Находим статические моменты площади относительно оси 0х:

$$S_{x1} = A_1 \cdot y_1 = 12 \cdot 0,5 = 6 \text{ см}^3; \quad S_{x2} = A_2 \cdot y_2 = 14,7 \cdot 7 = 102,9 \text{ см}^3;$$

$$S_{x3} = A_3 \cdot y_3 = 15,6 \cdot 14,67 = 228,9 \text{ см}^3;$$

$$\sum S_x = S_{x1} + S_{x2} + S_{x3} = 6 + 102,9 + 228,9 = 337,8 \text{ см}^3.$$

4) Определяем сумму площадей простых сечений:

$$\sum A_k = A_1 + A_2 + A_3 = 12 + 14,7 + 15,6 = 42,3 \text{ см}^2.$$

5) Определяем положение центра тяжести сложного сечения:

$$x_C = \frac{\sum S_y}{\sum A_k}; \quad x_C = 0 \text{ см};$$

$$y_C = \frac{\sum S_x}{\sum A_k}; \quad y_C = \frac{337,8}{42,3} = 8 \text{ см}.$$

ОТВЕТ: центр тяжести сложного сечения находится в точке **C** (0; 8).

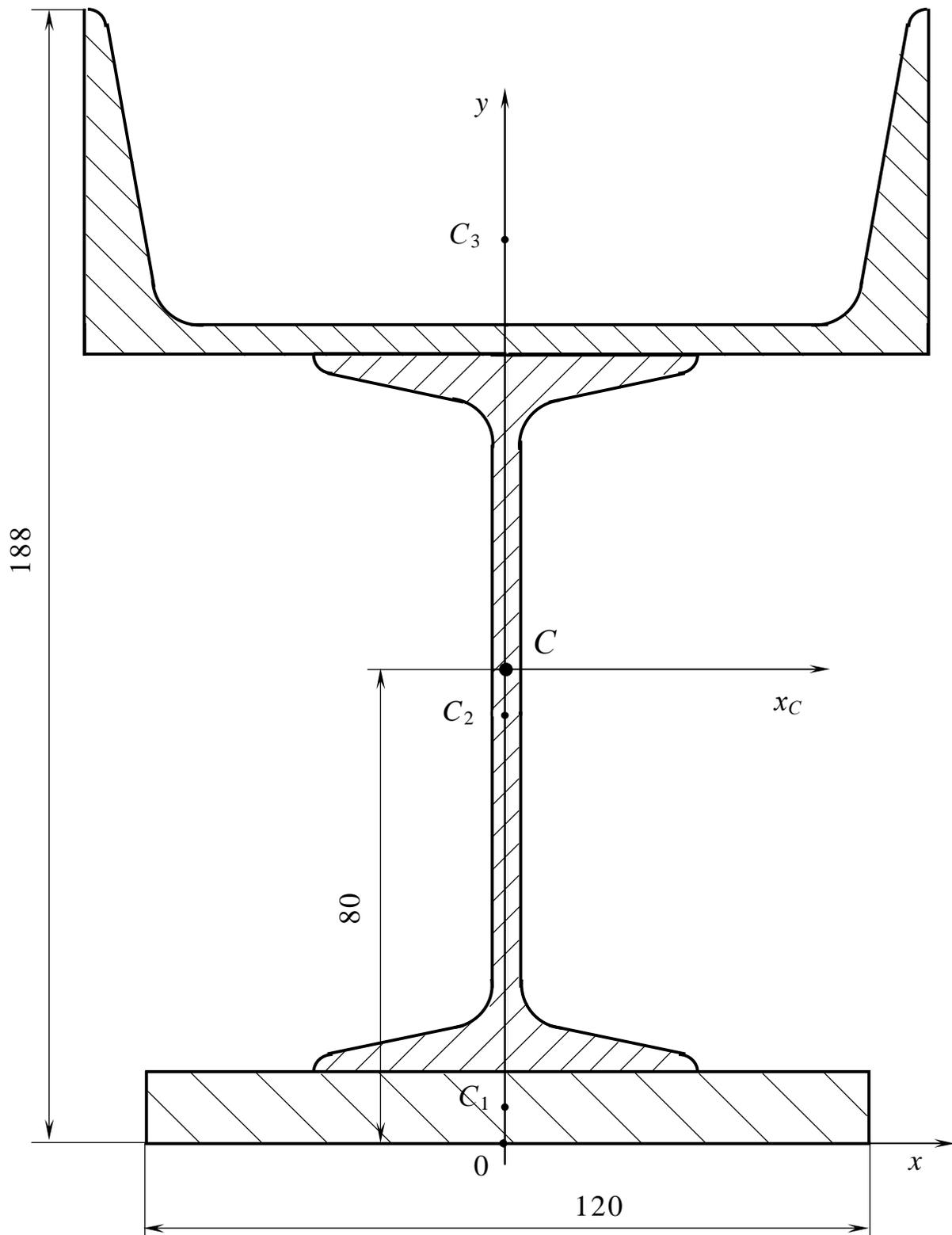


Рисунок 12

Динамика

Пример. Тело весом 3500 Н движется вверх по наклонной плоскости согласно уравнению $S = 0,16t^2$ (рис.13). Определить величину движущей силы, если коэффициент трения тела о плоскость $f = 0,15$.

1. Составляем расчетную схему, выбираем систему координат с осью Ox вдоль наклонной плоскости.

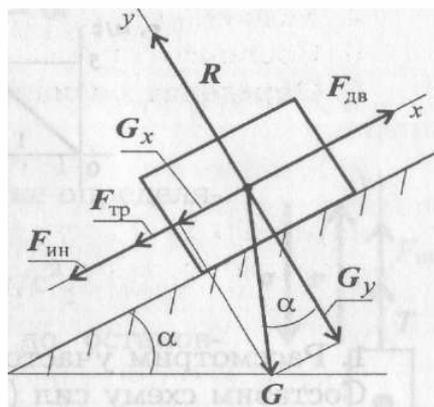


Рисунок 13

Активные силы: движущая, сила трения, сила тяжести. Наносим реакцию в опоре перпендикулярно плоскости. Чтобы верно направить силу инерции, необходимо знать направление ускорения, определить это можно по уравнению движения.

При $a > 0$ движение равноускоренное.

2. Определяем ускорение движения:

$$a = v' = S''; v = S' = 0,32t; a = v' = 0,32 \text{ м/с}^2 > 0.$$

Силу $F_{ин}$ направляем в обратную от ускорения сторону.

3. По принципу Даламбера составляем уравнения равновесия:

$$\sum_0^n F_{kx} = 0; \quad F_{дв} - G_x - F_{тр} - F_{ин} = 0; \quad G_x = G \sin 30^\circ.$$

$$\sum_0^n F_{ky} = 0; \quad R - G_y = 0; \quad G_y = G \cos 30^\circ; \quad R = G_y.$$

4. Подставляем все известные величины в уравнения равновесия:

$$F_{тр} = fR; \quad F_{тр} = fG_y = fG \cos 30^\circ;$$

$$F_{ин} = ma = \frac{G}{g}a;$$

$$F_{дв} - G \sin 30^\circ - fG \cos 30^\circ - \frac{G}{g}a = 0.$$

Выражаем неизвестную силу и решаем уравнение:

$$F_{дв} = 3500 \cdot 0,5 + 0,15 \cdot 3500 \cdot 0,866 + 3500 \cdot 0,32 / 9,81 = 2318,8 \text{ Н.}$$

Ответ: $F_{дв} = 2318,8 \text{ Н}$

Сопротивление материалов

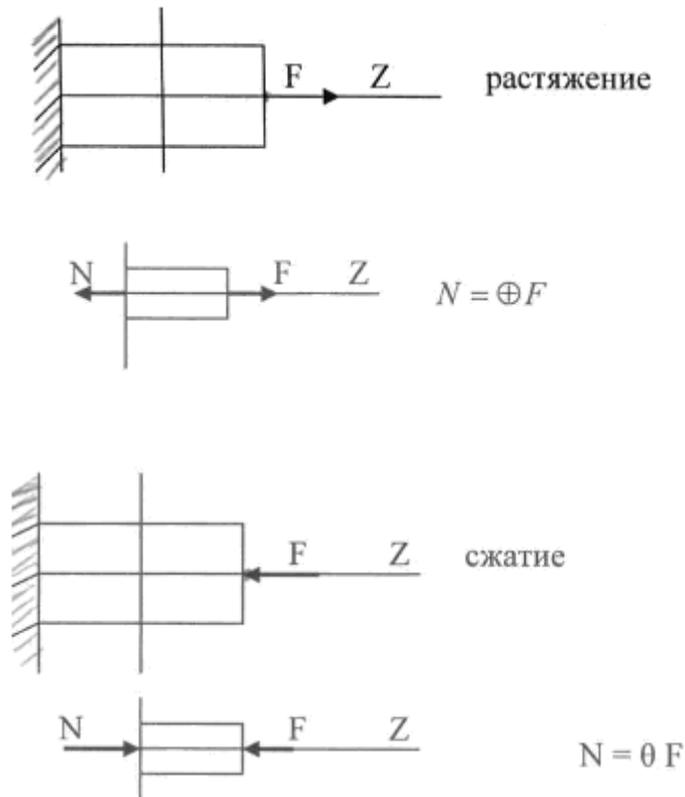
$\sigma = \frac{N}{A}$ - нормальные напряжения при растяжении (сжатии);

$\tau_{cp} = \frac{Q}{A}$ - касательные напряжения среза.

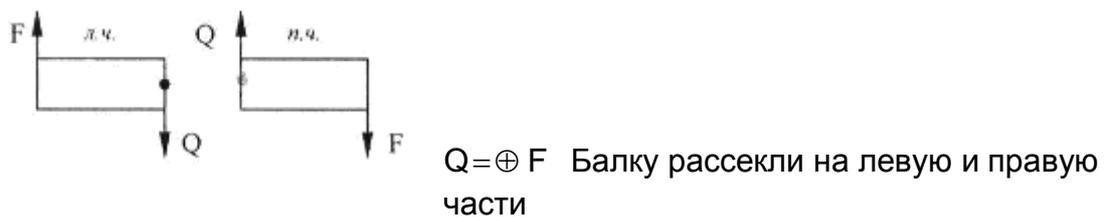
Внешние силы действуют вдоль продольной оси бруса.

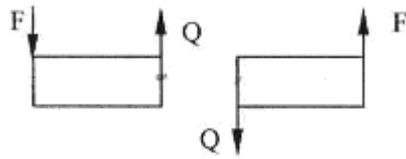
Внутренний силовой фактор - продольная сила N , $N = \sum F_k$, при этом следующую силу учитываем только тогда, когда переходим через точку её приложения.

Правило знаков для растяжения(сжатия):



Правило знаков для изгиба



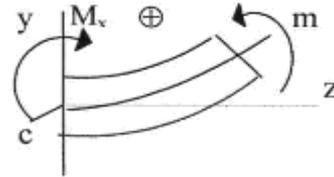


$$Q = \ominus F$$



Балка изгибается
выпуклостью вверх

$$M_x = \ominus m$$



Балка изгибается
выпуклостью вниз

$$M_x = \oplus m$$

В расчетах на прочность определяют те точки опасных сечений, в которых напряжения принимают максимальные значения:

- при изгибе $\sigma_{\max} = \frac{M_{x\max}}{W_x}$ или $\sigma_{\max} = \frac{M_{y\max}}{W_y}$

(в зависимости от того, относительно какой оси поворачивается сечение), W_x и W_y геометрические характеристики прочности сечений, которые называют осевыми моментами сопротивления сечения изгибу.

- при кручении $\tau_{\max} = \frac{T_{\max}}{W_p}$,

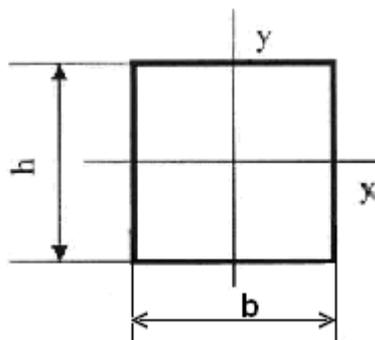
где W_p называют полярным моментом сопротивления сечения кручению (при кручении сечение поворачивается относительно центра сечения - полюса).

Для круглого сечения диаметра d

$$W_p \approx 0,2 d^3; W_x = W_y = 0,1 d^3$$

Для прямоугольника

$$W_x = \frac{bh^2}{6}; W_y = \frac{hb^2}{6}$$



Критерием, гарантирующим надежность работы детали, является допускаемые напряжения $[\sigma]$ или $[\tau]$.

Эти напряжения рассчитывают через предельные напряжения, которые получают при испытании образцов из различных материалов в лабораторных условиях.

В основном, это два напряжения: предел прочности (или временное сопротивление) $\sigma_{пр}$ (σ_b), $\tau_{пр}$ (τ_b) и предел текучести σ_T или τ_T .

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{пред}}{[S]}, [\tau] = \frac{\tau_{пред}}{[S]},$$

где $[S]$ - требуемый (или допускаемый) коэффициент запаса прочности.

Условие прочности материалов: $\sigma_{max} \leq [\sigma]$; $\tau_{max} \leq [\tau]$.

При растяжении (сжатии) $\sigma_{max} = \frac{N}{A} \leq [\sigma]$;

При срезе $\tau_{cp} = \frac{Q}{A} \leq [\tau_{cp}]$;

При изгибе $\sigma_{max} = \frac{M_{x max}}{W_x} \leq [\sigma]$ или $\sigma_{max} = \frac{M_{y max}}{W_y} \leq [\sigma]$;

При кручении $\tau_{k max} = \frac{T_{k max}}{W_p} \leq [\tau]$.

Для определения максимальных внутренних силовых факторов (в опасных сечениях) строят графики их изменения по длине бруса, которые называют эпюрами.

При растяжении (сжатии) строят эпюру σ - нормальных напряжений для определения σ_{max} .

Исходя из условия прочности, можно решить три типа задач:

- 1) проверка прочности;
- 2) подбор сечения (проектный расчет);
- 3) определение допускаемой нагрузки.

Пример 1. Защемленный в стене двухступенчатый брус нагружен осевыми силами.

1). Определить нормальные силы и напряжения в поперечных сечениях по всей длине бруса;

2). Построить эпюры нормальных сил и напряжений по длине бруса;

3). Определить перемещение свободного конца бруса, если $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

ДАНО: $F_1 = 30$ кН; $F_2 = 38$ кН; $F_3 = 42$ кН; $A_1 = 1,9$ см²; $A_2 = 3,1$ см²;

$a = 0,2$ м; $b = 0,1$ м; $c = 0,5$ м.

НАЙТИ: N_i ; σ_i ; Δl .

РЕШЕНИЕ:

1. Разбиваем брус на участки: AB ; BC ; CD .

2. Определяем значения нормальной силы N на участках бруса:

Участок AB , сечение I-I, $N_1 = F_1 = 30$ кН;

Участок BC , сечение II-II, $N_2 = F_1 + F_2 = 30 + 38 = 68$ кН;

Участок CD , сечение III-III, $N_3 = F_1 + F_2 - F_3 = 30 + 38 - 42 = 26$ кН.

Строим эпюру нормальных сил.

3. Вычисляем значения нормальных напряжений на участках бруса:

Участок AB , сечение I-I, $\sigma_1 = N_1/A_1 = \frac{30 \cdot 10^3}{1,9 \cdot 10^2} = 158$ Н/мм²; $\sigma_1 = 158$ МПа;

Участок BC , сечение II-II, $\sigma_2 = N_2/A_1 = \frac{68 \cdot 10^3}{3,1 \cdot 10^2} = 219,4$ Н/мм²; $\sigma_2 = 219,4$ МПа;

Участок CD , сечение III-III, $\sigma_3 = N_3/A_1 = \frac{26 \cdot 10^3}{3,1 \cdot 10^2} = 84$ Н/мм²; $\sigma_3 = 84$ МПа.

Строим эпюру нормальных напряжений.

4. Определяем продольную деформацию бруса:

Участок AB , сечение I-I,

$$\Delta l_1 = N_1 \cdot l_1 / A_1 \cdot E = 30 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 10^3 / 1,9 \cdot 10^2 \cdot 2 \cdot 10^5 = 4 \cdot 10^{-1} \text{ мм}; \Delta l_1 = 0,4 \text{ мм};$$

Участок BC , сечение II-II,

$$\Delta l_2 = N_2 \cdot l_2 / A_2 \cdot E = 68 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 10^3 / 3,1 \cdot 10^2 \cdot 2 \cdot 10^5 = 1 \cdot 10^{-1} \text{ мм}; \Delta l_2 = 0,1 \text{ мм};$$

Участок CD , сечение III-III,

$$\Delta l_3 = N_3 \cdot l_3 / A_2 \cdot E = 26 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 10^3 / 3,1 \cdot 10^2 \cdot 2 \cdot 10^5 = 0,8 \cdot 10^{-1} \text{ мм}; \Delta l_3 = 0,08 \text{ мм};$$

$$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 = 0,4 + 0,1 + 0,08 = 0,58 \text{ мм}.$$

ОТВЕТ: $\Delta l = 0,58$ мм. Стержень растянут.

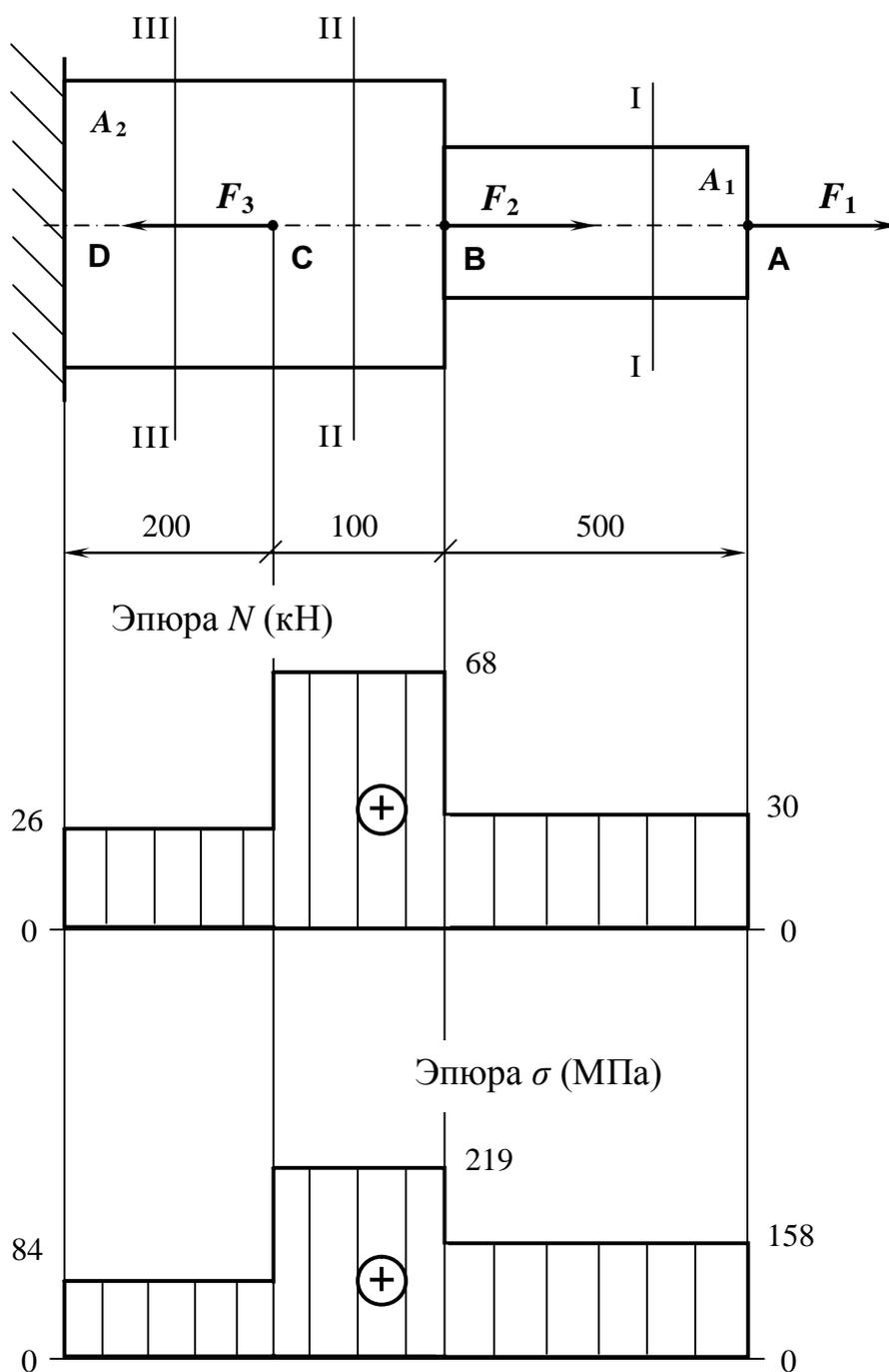


Рисунок - 14

Пример 2. Для заданной двухопорной балки

- 1) определить реакции опор;
- 2) построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов;

3) подобрать сечение круг или прямоугольник, приняв для него $h=3b$.

Считать $[\sigma] = 140 \text{ МПа}$, $F_1 = 1 \text{ кН}$, $F_2 = 2 \text{ кН}$, $m = 14 \text{ кН м}$ (рисунок 15).

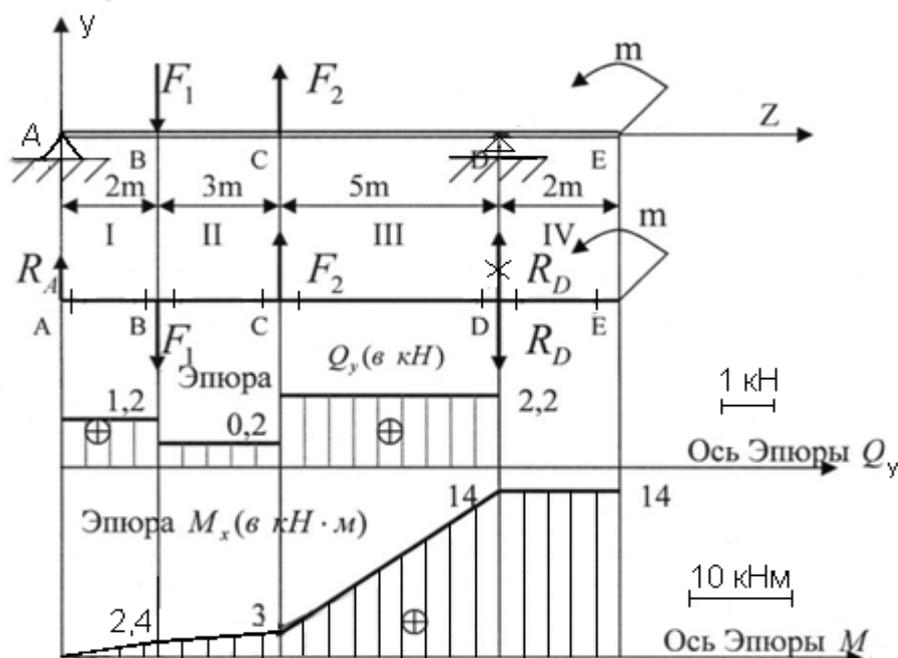


Рисунок - 15

Решение

1. Определяем опорные реакции и проверяем их найденные значения.

Строим расчетную схему сил, освободив балку от связей: в точке А – шарнирно-неподвижной опоры, в точке В – шарнирно-подвижной опоры. Заменяем связи их силами реакций. Так как нет наклонных к балке сил, то $R_{AZ} = 0$.

Составляем два уравнения равновесия для плоской системы параллельных сил.

$$(1) \sum M_A = 0;$$

$$- F_1 \cdot 2 + F_2 \cdot 5 + R_D \cdot 10 + m = 0;$$

$$(2) \sum M_D = 0;$$

$$F_1 \cdot 8 - F_2 \cdot 5 - R_D \cdot 10 + m = 0;$$

Решаем уравнения:

$$(1) \quad 1 \cdot 2 + 2 \cdot 5 + R_D \cdot 10 + 14 = 0$$

$$R_D \cdot 10 = -22, R_D = -2,2 \text{ кН}.$$

Так как реакция получилась со знаком минус, то изменяем ее направление на противоположное.

$$(2) \quad 2 \cdot 5 + 1 \cdot 8 - R_A \cdot 10 + 14 = 0;$$

$$- R_A \cdot 10 + 12 = 0;$$

$$R_A = 1,2 \text{ кН.}$$

$$\text{Проверка: } \sum F_{ky} = 0;$$

$$R_A - F_1 + F_2 - R_D = 0;$$

$$1,2 - 1 + 2 - 2,2 = 0;$$

$$0 \equiv 0.$$

2. Делим балку на участки по характерным точкам А,В,С,Д,Е.

3. Определяем ординаты и строим эпюру Q слева направо.

$$Q_{yA} = R_A; \quad Q_{yA} = 1,2 \text{ кН};$$

$$Q_{yB}^I = 1,2 \text{ кН}; \quad Q_{yB}^{II} = Q_{yB}^I - F_1; \quad Q_{yB}^{II} = 1,2 - 1 = 0,2 \text{ кН};$$

$$Q_{yC}^{II} = 0,2 \text{ кН}; \quad Q_{yC}^{III} = Q_{yC}^{II} + F_2; \quad Q_{yC}^{III} = 0,2 + 2 = 2,2 \text{ кН};$$

$$Q_{yD}^{III} = 2,2 \text{ кН}; \quad Q_{yD}^{IV} = Q_{yD}^{III} - R_D; \quad Q_{yD}^{IV} = 2,2 - 2,2 = 0;$$

$$Q_{yE} = 0.$$

4. Вычисляем ординаты и строим эпюру M_x .

$$M_{xA} = 0; \quad M_{xB} = R_A \cdot 2; \quad M_{xB} = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad M_{xC} = R_A \cdot 5 - F_1 \cdot 3;$$

$$M_{xC} = 1,2 \cdot 5 - 1 \cdot 3 = 3 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad M_{xD} = R_A \cdot 10 - F_1 \cdot 8 + F_2 \cdot 5;$$

$$M_{xD} = 1,2 \cdot 10 - 1 \cdot 8 + 2 \cdot 5 = 14 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad M_{xE} = R_A \cdot 12 - F_1 \cdot 10 + F_2 \cdot 7 - R_D \cdot 2;$$

$$M_{xE} = 1,2 \cdot 12 - 1 \cdot 10 + 2 \cdot 7 - 2,2 \cdot 2 = 14 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad M_{xE} = m = 14 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{x\max} = 14 \text{ кН} \cdot \text{м} = 14 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

5. Вычисляем размеры сечения данной балки из условия прочности на изгиб.

5.1 Определяем осевой момент сопротивления сечения изгибу.

$$W_x \geq \frac{M_{x\max}}{[\sigma]}; \quad W_x \geq \frac{14 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}}{140 \text{ Н/мм}^2} = 10^5 \text{ мм}^3;$$

5.2 Сечение – круг.

$$W_x \approx 0,1 d^3; \quad d \geq \sqrt[3]{\frac{W_x}{0,1}}; \quad d \geq \sqrt[3]{\frac{10^5}{0,1}} = 100 \text{ мм}$$

Принимаем $D = 100 \text{ мм}$.

5.3 Сечение – прямоугольник со сторонами $h = 3b$.

$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{\sigma} = \frac{b \cdot 9b^2}{\sigma} = \frac{3 \cdot b^3}{2};$$

$$\frac{3 b^3}{2} \geq 10^5;$$

$$e \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 10^5}{3}} = 40,52 \text{ мм} ;$$

Принимаем $v = 41 \text{ мм}$; $h = 123 \text{ мм}$.

Пример 3. Определить реакции опор двухопорной балки (рисунок - 16).

Построить эпюры поперечных сил Q_y и изгибающих моментов M_x . Подобрать сечение в виде стального двутавра, приняв $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$. Проверить прочность.

Дано: $F_1=24 \text{ кН}$; $F_2=36 \text{ кН}$; $m_1=18 \text{ кНм}$; $m_2=24 \text{ кНм}$; $l_1=2,0 \text{ м}$; $l_2=3,0 \text{ м}$; $l_3=3,0 \text{ м}$

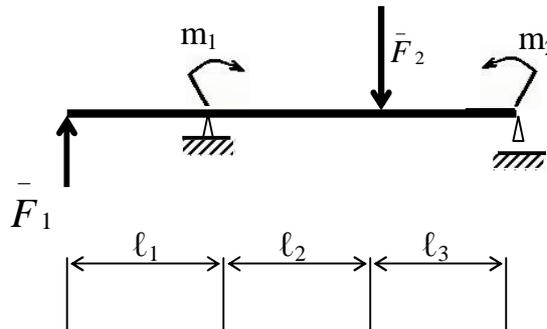


Рисунок - 16

Решение:

1. Обозначаем опоры буквами А и В. Отбрасываем связи (опоры А и В), заменяем их действие реакциями. Так как задана параллельная система сил, то реакции в опорах будут только вертикальные А и В. Выбираем систему координат ХУ с началом в левой опоре и чертим расчетную схему балки (рисунок 17).

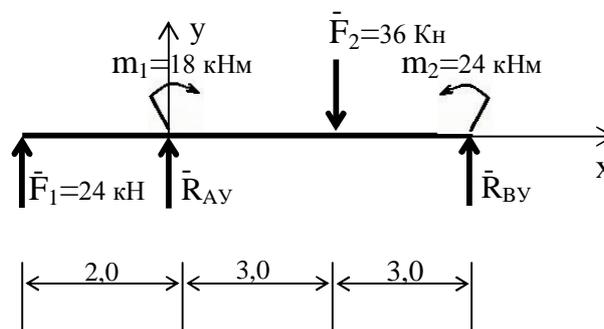


Рисунок - 17

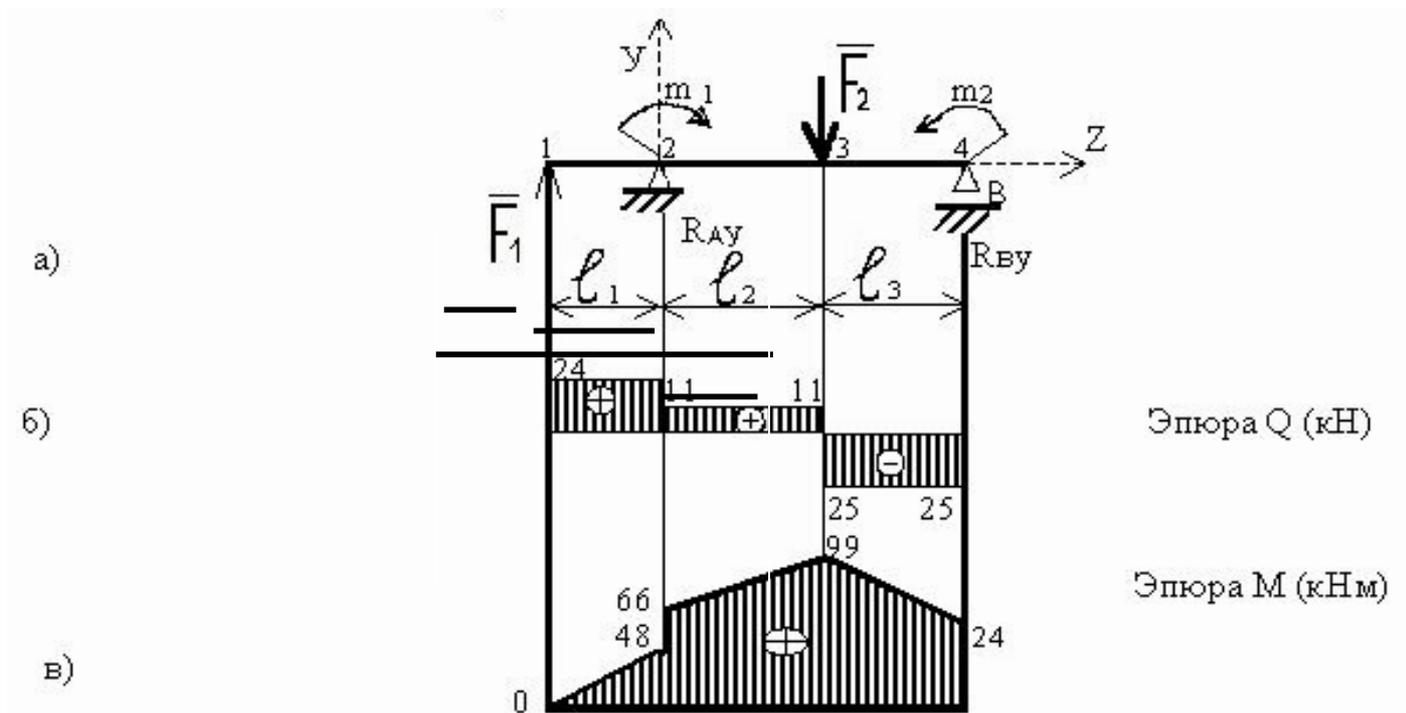


Рисунок - 18

2. Составляем уравнение равновесия параллельной системы сил, из которых определяем опорные реакции балки:

$$\sum M_A(\bar{F}_R) = F_1 * 2.0 + m_1 + F_2 * 3.0 - m_2 - R_{By} * 6.0 = 0; \quad (1)$$

$$\sum M_B(\bar{F}_R) = F_1 * 8.0 + m_1 + R_{Ay} * 6.0 - F_2 * 3.0 - m_2 = 0 \quad (2)$$

Из уравнения (2) находим R_{Ay} :

$$R_{Ay} = \frac{-F_1 * 8.0 - m_1 + F_2 * 3.0 + m_2}{6.0} = \frac{-192 - 18 + 108 + 24}{6.0} = -\frac{78}{6} = -13 \text{ kH}$$

Из уравнения (1) находим B:

$$R_{By} = \frac{F_1 * 2.0 + m_1 + F_2 * 3.0 - m_2}{6.0} = \frac{48 + 18 + 108 - 24}{6.0} = \frac{150}{6} = 25 \text{ kH}$$

Проверяем правильность определения опорных реакций, составляя сумму проекций всех сил на ось Y:

$$\sum F_{RY} = F_1 + R_{Ay} - F_2 + R_{By} = 24 - 13 - 36 + 25 = 49 - 49 = 0,$$

то есть реакции определены верно.

3. Определяем значения поперечной силы Q в характерных сечениях балки, которые обозначим цифрами 1, 2, 3, 4 (рисунок 18 а)

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= Q_2^{\text{лев}} = F_1 = 24 \text{ кН}; \\
 Q_2^{\text{прав}} &= Q_3^{\text{лев}} = F_1 + R_{AY} = 24 - 13 = 11 \text{ кН}; \\
 Q_3^{2\text{прав}} &= Q_4 = F_1 + R_{AY} - F_2 = -R_{BY} = -25 \text{ кН}.
 \end{aligned}$$

По найденным значениям строим эпюру, поперечных сил Q (рисунок 18 б).

4. Аналогично определяем значения изгибающего момента M в характерных сечениях балки:

$$\begin{aligned}
 M_1 &= 0; \\
 M_2^{\text{лев}} &= F_1 * 2.0 = 48 \text{ кНм} \\
 M_2^{\text{прав}} &= M_2^{\text{лев}} + m_1 = 48 + 18 = 66 \text{ кНм}; \\
 M_3 &= F_1 * 5.0 + m_1 + R_{AY} * 3.0 = 120 + 18 - 39 = 99 \text{ кНм}; \\
 M_4 &= m_2 = 24 \text{ кНм}.
 \end{aligned}$$

По найденным значениям строим эпюру изгибающих моментов M (рисунок 18 в).

5. По эпюре изгибающих моментов определяем положение опасного сечения балки (сечение, в котором изгибающий момент имеет наибольшее по абсолютной величине значение). В нашем случае – это сечение 3, где $M_3 = M_{\text{max}} = 99 \text{ кНм}$. Из условия прочности балки на изгиб $\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{W_x} \leq [\sigma_u]$ вычисляем необходимый осевой момент сопротивления:

$$W_x = \frac{M_{\text{max}}}{[\sigma_u]} = \frac{99 * 10^6 \text{ Н} * \text{мм}}{160 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}} = 0,619 * 10^6 \text{ мм}^3 = 619 \text{ см}^2.$$

В соответствии с ГОСТ 8239-89 принимаем сечение из стального двутавра №33

с $W_x = 597 \text{ см}^3$. Проверяем прочность балки:

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{W_x} = \frac{99 * 10^6 \text{ Н} * \text{мм}}{597 * 10^3 \text{ мм}^3} = 165,8 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \frac{\sigma_{\text{max}} - [\sigma_u]}{[\sigma_u]} = \frac{165,8 - 160}{160} * 100\% = 3,6\% < 5\%$$

что находится в разрешенных пределах (менее 5%).

Ответ: выбрано сечение балки в виде двутавра № 33.

Детали машин

Пример решения задачи. Привод состоит из электродвигателя мощностью $P_{\text{дв}}$, = 17 кВт с угловой скоростью вала $\omega_{\text{дв}} = 144 \text{ рад/с}$ и многоступенчатой передачи (рисунок 12). Требуется определить: а) общие КПД и передаточное отношение передачи, б) мощности, вращающие моменты и угловые скорости для всех валов.

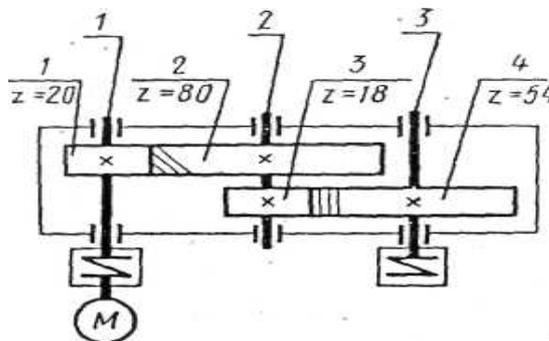


Рисунок 19

Решение.

1. Кинематическая и конструктивная характеристики привода: передача двухступенчатая (1—2—первая ступень, 2—3 — вторая ступень), понижающая (т.е. уменьшающая угловую скорость, так как в каждой ступени диаметр выходного звена больше, чем входного). Первая ступень передачи — цилиндрическая косозубая, вторая — цилиндрическая прямозубая. Передача закрытая, т.е. в корпусе. Передача называется *редуктором* (так как понижающая закрытая). Для подсоединения к входному и выходному валам редуктора предусмотрены упругие муфты.

2. КПД отдельных передач: $\eta_{1-2} = 0,97$; $\eta_{2-3} = 0,97$ (см. рекомендации). Общий КПД передачи $\eta = \eta_{1-2} \eta_{2-3} = 0,97 \cdot 0,97 = 0,94$.

3. Мощности на валах: $P_1 = P_{дв} = 17$ кВт; $P_2 = P_1 \cdot \eta_{1-2} = 17 \cdot 0,97 = 16,5$ кВт; $P_3 = P_2 \cdot \eta_{2-3} = 16,5 \cdot 0,97 = 16$ кВт. Мощность на третьем (выходном) валу можно было определить и иначе: $P_3 = P_1 \cdot \eta_{1-3} = P_1 \cdot \eta = 17 \cdot 0,94 = 16$ кВт.

4. Передаточные числа отдельных передач: $u_{1-2} = Z_2/Z_1 = 80/20 = 4$; $u_{2-3} = Z_4/Z_3 = 54/18 = 3$. Передаточные отношения равны передаточным числам. Общее передаточное отношение передачи $u = u_{1-2} \cdot u_{2-3} = 4 \cdot 3 = 12$.

5. Угловые скорости валов: $\omega_1 = \omega_{дв} = 144$ рад/с; $u_{1-2} = \omega_1/\omega_2$, отсюда $\omega_2 = \omega_1/u_{1-2} = 144/4 = 36$ рад/с. Угловую скорость третьего (выходного) вала можно было определить и иначе: $u = u_{1-3} = \omega_1/\omega_3$, отсюда $\omega_3 = \omega_1/u = 144/12 = 12$ рад/с.

6. Вращающие моменты на валах: $M_1 = P_1/\omega_1 = 17 \cdot 10^3/144 = 118$ Н*м; $M_2 = P_2/\omega_2 = 16,5 \cdot 10^3/36 = 458$ Н*м; $M_3 = P_3/\omega_3 = 16 \cdot 10^3/12 = 1330$ Н*м. Здесь мощность взята, в ваттах, например $P_1 = 17$ кВт = $17 \cdot 10^3$ Вт.

Методика геометрического расчета зубчатых цилиндрических передач. Исходные данные: передаточное число u , межосевое расстояние a и относительная ширина колеса (коэффициент ширины венца колеса) ψ .

1. Выбираем модуль m по рекомендации: $m = (0,01 \dots 0,02)a$, принимая стандартное значение (мм) из ряда: 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20.

2. Определяем число зубьев шестерни Z_1 из формулы $a = (d_1 + d_2)/2 = mz_1(u+1)/(2\cos\beta)$, где β — угол наклона линии зуба. Для прямозубых передач $\beta = 0^\circ$ и $\cos\beta = 1$, для косозубых передач $\beta = 8 \dots 15^\circ$. Полученное значение z_1 округляем до ближайшего целого числа, но не менее 17.'

3. Из формулы $u = z_1/z_2$ определяем число зубьев колеса z_2 , округляя полученное значение до ближайшего целого числа. Уточняем значение передаточного числа u .

4. Определяем основные геометрические параметры зацепления:

а) шаг $p = \pi m$;

б) высота головки зуба $h_a = m$, высота ножки зуба $h_f = 1,25m$.

5. Определяем основные геометрические размеры колес:

а) делительные диаметры $d_1 = mz/\cos\beta$ и $d_2 = mz_2/\cos\beta$;

б) диаметры вершин зубьев $d_{a1} = d_1 + 2h_a$ и $d_{a2} = d_2 + 2h_a$;

в) диаметры впадин $d_{f1} = d_1 - 2h_f$ и $d_{f2} = d_2 - 2h_f$,

г) уточненное межосевое расстояние $a = (d_1 + d_2)/2$;

д) из формулы $\psi = b/a$ находим ширину зубчатого венца b .

В п. 4 и 5 вычисления следует вести с точностью до второго знака после запятой, за исключением размера b , который округляют до ближайшего целого числа.

Пример решения. Исходные данные: передача цилиндрическая косозубая, $a = 340$ мм, $u = 4,5$, $\psi = 0,4$.

Решение. 1. $m = (0,01 \dots 0,02)340 = 3,4 \dots 6,8$ мм, принимаем $m = 5$ мм.

2. Принимаем $\beta = 10^\circ$, $\cos\beta = 0,985$, $z_1 = 2 \cdot 340 \cdot 0,985 / (5(4,5 + 1)) = 24,4$, принимаем $z_1 = 24$.

3. $z_2 = 24 \cdot 4,5 = 108$.

4. $p = 3,14 \cdot 5 = 15,7$ мм; $h_a = 5$ мм; $h_f = 1,25 \cdot 5 = 6,25$ мм.

5. $d_1 = 5 \cdot 24 / 0,985 = 121,83$ мм; $d_2 = 5 \cdot 108 / 0,985 = 548,22$ мм;

$d_{a1} = 121,83 + 2 \cdot 5 = 131,83$ мм; $d_{a2} = 548,22 + 2 \cdot 5 = 558,22$ мм;

$d_{f1} = 121,83 - 2 \cdot 6,25 = 109,33$ мм; $d_{f2} = 548,22 - 2 \cdot 6,25 = 535,72$ мм;

$a = (121,83 + 548,22) / 2 = 335,03$ мм;

$b = 0,4 \cdot 335,03 = 134$ мм.

Методика геометрического расчета червячных передач.

Исходные данные: передаточное число u , межосевое расстояние a .

1. Число витков (заходов) червяка z_1 определяем в зависимости от u по рекомендации:

$u \dots 8 \dots 16 \quad 16 \dots 32 \quad 32 \dots 80$

$Z_1 \dots \dots 4 \quad 2 \quad 1$

2. Из формулы $u = z_1 / z_2$ определяем число зубьев червячного колеса z_2 , округляя полученное значение до ближайшего целого числа. Уточняем значение передаточного числа u .

3. Выбираем коэффициент диаметра червяка q по рекомендации: $q = 0,25z_2$, принимая ближайшее целое число из ряда 8...20.

4. Определяем модуль m из формулы $a = (d_1 + d_2)/2 = m\{q + z_2\}/2$. Принимаем для модуля стандартное значение (мм) из ряда: 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20.

5. Определяем основные геометрические параметры зацепления; а) осевой шаг червяка и окружной шаг колеса $p = \pi m$; б) высота головки витка червяка и зуба колеса $h_a = m$; в) высота ножки витка червяка и зуба колеса ; $h_f = 1,2m$.

6. Определяем основные геометрические размеры червяка: а)- делительный диаметр $d_1 = mq$; б) диаметр вершин витков $d_{a1} = d_1 + 2 h_a$; в) диаметр впадин; $d_{f1} = d_1 - 2h_f$

г) угол подъема линии витка $\text{tg } \gamma = z_1/q$; д) длина нарезанной части червяка $b_1 = m(11 + 0,06 z_2)$.

7. Определяем основные геометрические размеры червячного колеса: а) делительный диаметр $d_2 = mz_2$; б) диаметр вершин зубьев $d_{a2} = d_2 + 2h_a$; в) диаметр впадин $d_{f2} = d_2 -$

$2 h_f$; г) наружный диаметр колеса $d_{ae2} = d_{a2} + 6m/(z_1 + 2)$; д) -ширина зубчатого венца колеса $b_2 = 0,75d_{a1}$.

8. Уточняем межосевое расстояние: $a = \{d_1 + d_2\}/2$.

В п. 5, 6, 7 и 8 вычисления следует вести с точностью до второго знака после запятой, за исключением размеров b_1 , b_2 и d_{ae2} , которые округляют до ближайшего целого числа.

Пример решения. Исходные данные: $a = 220$ мм, $u = 30$.

Решение.

1. $Z_1 = 2$.

2. $z_2 = 2 \cdot 30 = 60$.

3. $q = 0,25 \cdot 60 = 15$.

4. $m = 2 \cdot 220 / (15 + 60) = 5,87$ мм, принимаем $m = 6,3$ мм.

5. $p = 3,14 \cdot 6,3 = 19,78$ мм; $h_a = 6,3$ мм; $h_f = 1,2 \cdot 6,3 = 7,56$ мм.

6. $d_1 = 6,3 \cdot 15 = 94,5$ мм; $d_{a1} = 94,5 + 2 \cdot 6,3 = 107,1$ мм;

$$d_{f1} = 94,5 - 2 \cdot 7,56 = 79,38 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} \gamma = 2/15 = 0,133, \text{ отсюда } \gamma = 7^{\circ}35'41'';$$

$$b_1 = 6,3(11 + 0,06 \cdot 60) = 91,98 \text{ мм, принимаем } b_1 = 92 \text{ мм.}$$

$$7. d_2 = 6,3 \cdot 60 = 378 \text{ мм; } d_{a2} = 378 + 2 \cdot 6,3 = 390,6 \text{ мм}$$

$$d_{f2} = 378 - 2 \cdot 7,56 = 362,88 \text{ мм; } d_{ae2} = 390,6 + 6 \cdot 6,3 / (2 + 2) = 400,05 \text{ мм,}$$

$$\text{принимаем } d_{ae2} = 400 \text{ мм;}$$

$$b_2 = 0,75 \cdot 107,1 = 80,3 \text{ мм, принимаем } b_2 = 80 \text{ мм.}$$

$$8. a = (94,5 + 378) / 2 = 236,25 \text{ мм.}$$

Перечень экзаменационных вопросов

Раздел 1 Теоретическая механика

Статика

1. Основные задачи статики.
2. Сила, система сил.
3. Равнодействующая и уравнивающая силы.
4. Свободное и несвободное тело.
5. Связи и реакции связей.
6. Аксиомы статики.
7. Система сходящихся сил. Условия равновесия плоской системы сходящихся сил в векторной и в аналитической форме.
8. Проекция силы на ось, правило знаков.
9. Пара сил. Момент пары. Эквивалентные пары.
10. Условия равновесия системы пар сил.
11. Момент силы относительно точки, правило знаков.
12. Приведение силы к центру.
13. Плоская система произвольно расположенных сил.
14. Приведение плоской системы произвольно расположенных сил к заданному центру.
15. Главный вектор и главный момент системы сил.
16. Теорема Вариньона.
17. Условия равновесия плоской системы произвольно расположенных сил в векторной и в аналитической форме.
18. Три вида уравнений равновесия.
19. Балочные системы. Классификация нагрузок. Виды опор балочных систем.
20. Определение опорных реакций.
21. Определение центра тяжести составных плоских фигур.

Кинематика

22. Основные понятия кинематики: траектория, путь, время, скорость, ускорение.
23. Кинематика точки. Скорость точки, ускорение полное, нормальное и касательное.
24. Частные случаи движения точки.
25. Вращательное движение твердого тела вокруг неподвижной оси. Угол поворота, угловая скорость, угловое ускорение, частота вращения.
26. Частные случаи вращательного движения.

27. Линейная скорость и ускорение точек вращающегося тела.

28. Сложное движение точки: переносное, относительное и абсолютное движение точки. Скорости этих движений.

Динамика

29. Аксиомы динамики.

30. Две основные задачи динамики.

31. Метод кинетостатики. Сила инерции при прямолинейном и криволинейном движениях. Принцип Д'Аламбера.

32. Виды трения.

33. Законы трения. Коэффициент трения.

34. Работа при поступательном и вращательном движении твердого тела.

35. Работа при вращательном движении твердого тела.

36. Мощность при поступательном движении твердого тела.

37. Мощность при вращательном движении твердого тела.

38. Общие теоремы динамики.

Раздел 2 Сопротивление материалов

39. Основные задачи сопротивления материалов.

40. Метод сечения. Внутренние силовые факторы в сечениях стержня.

41. Напряжения. Закон Гука при деформации растяжения и сжатия.

42. Внутренние силовые факторы в поперечных сечениях бруса при растяжении и сжатии. Эпюры продольных сил и нормальных напряжений.

43. Диаграмма растяжения пластичных материалов.

44. Механические характеристики материалов.

45. Расчеты на прочность при деформации растяжения и сжатия.

46. Три вида задач, вытекающих из расчета на прочность при деформации растяжения и сжатия.

47. Закон Гука при сдвиге.

48. Внутренние силовые факторы в сечениях бруса при кручении. Эпюры крутящих моментов.

49. Расчеты на прочность при кручении.

50. Три вида задач, вытекающих из расчета на прочность при кручении.

51. Изгиб. Классификация видов изгиба.

52. Внутренние силовые факторы в поперечных сечениях балки при прямом изгибе. Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов при изгибе.

53. Нормальные напряжения при чистом изгибе. Расчеты на прочность при изгибе.

54. Три вида задач, вытекающих из расчета на прочность при изгибе.
55. Проектный и проверочный расчеты при изгибе.
56. Рациональные формы поперечных сечений балок.

Раздел 3 Детали машин

57. Общие сведения о передачах.
58. Зубчатые передачи.
59. Червячные передачи
60. Решенные передачи.
61. Цепные передачи.
62. Разъемные соединения.
63. Неразъемные соединения.
64. Подшипники.

Перечень практических занятий

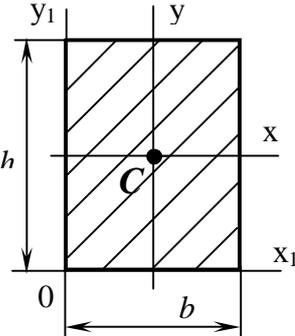
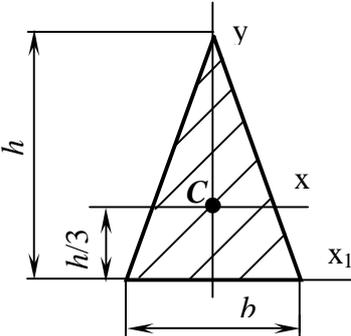
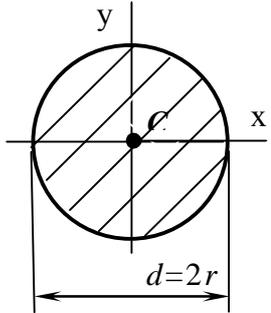
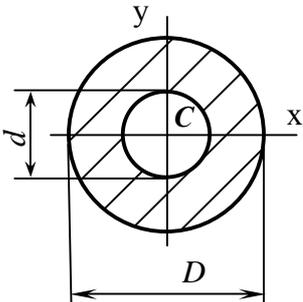
Номер темы	Номер практического занятия	Наименование практического занятия
1.1,1.2	1	Решение задач по темам 1.1,1.2
2.7	2	Решение задачи по определению прочности бруса круглого поперечного сечения
3.1	3	Определение кинематических параметров многоступенчатой передачи

ПРИЛОЖЕНИЯ

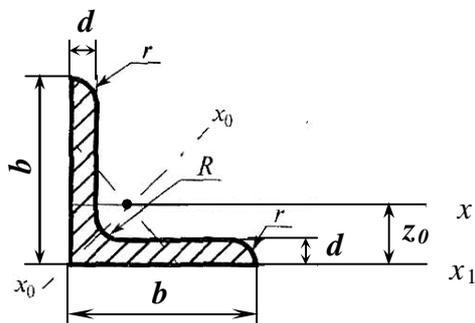
Значения тригонометрических функций некоторых углов

α°	sin	cos	tg	ctg
0	0,0000	1,0000	0,0000	343,8
5	0,0872	0,9962	0,0875	11,43
10	0,1736	0,9848	0,1763	5,671
12	0,2079	0,9781	0,2126	4,7046
14	0,2419	0,9703	0,2493	4,0108
15	0,2588	0,9659	0,2679	3,7321
16	0,2756	0,9613	0,2868	3,4874
18	0,3090	0,9511	0,3249	3,0777
20	0,3420	0,9397	0,3640	2,7475
22	0,3746	0,9272	0,4040	2,4750
24	0,4067	0,9135	0,4452	2,2460
25	0,4226	0,9063	0,4663	2,1445
26	0,4384	0,8988	0,4877	2,0503
28	0,4695	0,8830	0,5317	1,8807
30	0,5000	0,8660	0,5774	1,7321
32	0,5299	0,8481	0,6249	1,6003
35	0,5736	0,8192	0,7002	1,4282
36	0,5878	0,8090	0,7265	1,3764
38	0,6157	0,7880	0,7813	1,2799
40	0,6428	0,7660	0,8391	1,1918
42	0,6691	0,7431	0,9004	1,1106
45	0,7071	0,7071	1,0000	1,0000
48	0,7431	0,6691	1,1106	0,9004
50	0,7660	0,6428	1,1918	0,8391
52	0,7880	0,6157	1,2799	0,7813
54	0,8090	0,5878	1,3764	0,7265
55	0,8192	0,5736	1,4281	0,7002
60	0,8660	0,5000	1,7321	0,5774
62	0,8830	0,4695	1,8807	0,5317
65	0,9063	0,4226	2,1445	0,4663
70	0,9397	0,3420	2,7475	0,3640
75	0,9659	0,2588	3,7321	0,2679
80	0,9848	0,1736	5,671	0,1763
85	0,9962	0,0872	11,43	0,0875
90	1,0000	0,0000	343,8	0,0000

Геометрические характеристики плоских сечений

Форма поперечного сечения	Осевой момент инерции - J =[см ⁴]	Момент сопротивления - W =[см ³]
<p>ПРЯМОУГОЛЬНИК</p> 	$J_x = \frac{bh^3}{12}, J_y = \frac{hb^3}{12};$ $J_{x1} = \frac{bh^3}{3}, J_{y1} = \frac{b^3h}{3}$	$W_x = \frac{bh^2}{6};$ $W_y = \frac{hb^2}{6}$
<p>РАВНОБЕДРЕННЫЙ ТРЕУГОЛЬНИК</p> 	$J_x = \frac{bh^3}{36}; J_y = \frac{hb^3}{48};$ $J_{x1} = \frac{bh^3}{12}$	$W_x = \frac{bh^2}{24};$ $W_y = \frac{hb^2}{12}$
<p>КРУГ Г</p> 	$J_x = J_y = \frac{\pi d^4}{64};$ $J_\rho = 2J_x = \frac{\pi d^4}{32}$	$W_x = W_y = \frac{\pi d^3}{32};$ $W_\rho = \frac{\pi d^3}{16}$
<p>КОЛЬЦО</p> 	$J_x = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$ $J_\rho = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4)$	$W_x = \frac{\pi}{32} (D^3 - d^3);$ $W_\rho = \frac{\pi}{16} (D^3 - d^3)$

**Сталь прокатная угловая равнополочная.
ГОСТ 8509-86**

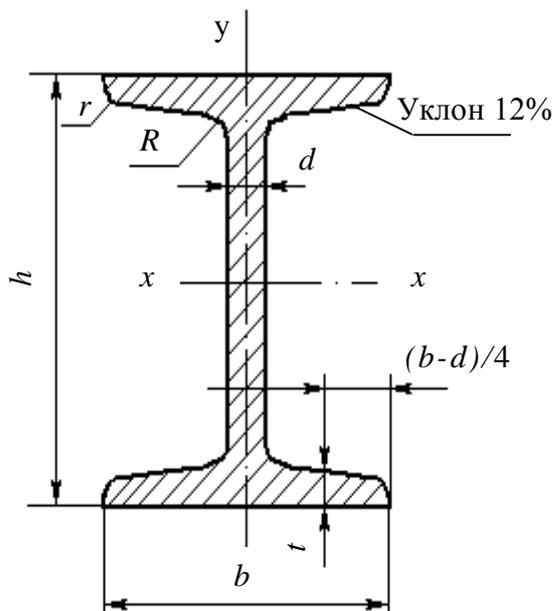


Обозначения:

b – ширина полки; **d** – толщина полки;
J – момент инерции; **i** – радиус инерции;
W – момент сопротивления;
z₀ – расстояние от центра тяжести до наруж-
ной грани полки; **A** – площадь уголка

Номер уголка	Размеры		Площадь профиля A	Справочные величины для осей								
	b	d		x — x			x₀ — x₀		y₀ - y₀			z₀
			J_x	W_x	i_x	J_{x0}	i_{x0}	J_{y0}	W_{y0}	i_{y0}		
	мм	мм	см ²	см ⁴	см ⁴	см	см ⁴	см ⁴	см ⁴	см ³	см	см
2,5	25	3	1,43	0,81	0,46	0,75	1,29	0,95	0,34	0,33	0,49	0,73
		4	1,86	1,03	0,59	0,74	1,62	0,93	0,44	0,41	0,48	0,76
3,0	30	3	1,74	1,45	0,67	0,91	2,30	1,15	0,60	0,53	0,59	0,85
		4	2,27	1,84	0,37	0,80	2,92	1,13	0,77	0,61	0,58	0,89
3,2	32	3	1,86	1,77	0,77	0,97	2,80	1,23	0,74	0,59	0,63	0,89
		4	2,43	2,26	1,00	0,96	3,58	1,21	0,94	0,71	0,62	0,94
3,5	35	3	2,04	2,35	0,93	1,07	3,72	1,35	0,97	0,71	0,69	0,97
		4	2,17	3,01	1,21	1,06	4,76	1,33	1,25	0,88	0,68	1,01
		5	3,28	3,61	1,47	1,05	5,71	1,32	1,52	1,02	0,68	1,05
4,0	40	3	2,35	3,55	1,22	1,23	5,63	1,55	1,47	0,95	0,79	1,09
		4	3,08	4,58	1,60	1,22	7,26	1,53	1,90	1,19	0,78	1,13
		5	3,79	5,53	1,95	1,21	8,75	1,52	2,30	1,39	0,78	1,17
4,5	45	3	2,65	5,13	1,56	1,39	8,13	1,75	2,12	1,24	0,89	1,21
		4	3,48	6,63	2,04	1,38	10,5	1,74	2,74	1,54	0,89	1,26
		5	4,29	8,03	2,51	1,37	12,7	1,72	3,33	1,81	0,88	1,30
5,0	50	3	2,96	7,11	1,94	1,55	11,2	1,95	2,95	1,57	1,00	1,33
		4	3,89	9,21	2,54	1,54	14,6	1,94	3,80	1,95	0,99	1,38
		5	4,80	11,20	3,13	1,53	17,7	1,92	4,63	2,30	0,98	1,42
		6	5,69	13,07	3,69	1,52	20,7	1,91	5,43	2,63	0,98	1,46
5,6	56	4	4,38	13,10	3,21	1,73	20,7	2,18	5,41	2,52	1,11	1,52
		5	5,41	15,97	3,96	1,72	25,3	2,16	6,59	2,97	1,10	1,57
6,0	60	4	4,72	16,21	3,70	1,85	25,6	2,33	6,72	2,93	1,19	1,62
		5	5,83	19,79	4,56	1,84	31,4	2,32	8,18	3,49	1,18	1,66
		6	6,92	23,21	5,40	1,83	36,8	2,31	9,60	3,99	1,18	1,70
		8	9,40	29,55	7,00	1,81	46,7	2,27	12,3	4,90	1,17	1,78
		10	11,08	35,32	8,52	1,79	55,6	2,24	15,0	5,70	1,16	1,85
6,3	63	4	4,69	18,86	4,09	1,95	29,0	2,45	7,81	3,26	1,25	1,69
		5	6,13	23,10	5,05	1,94	36,8	2,44	9,52	3,87	1,25	1,74
		6	7,28	27,06	5,98	1,93	42,9	2,43	11,1	4,44	1,24	1,78

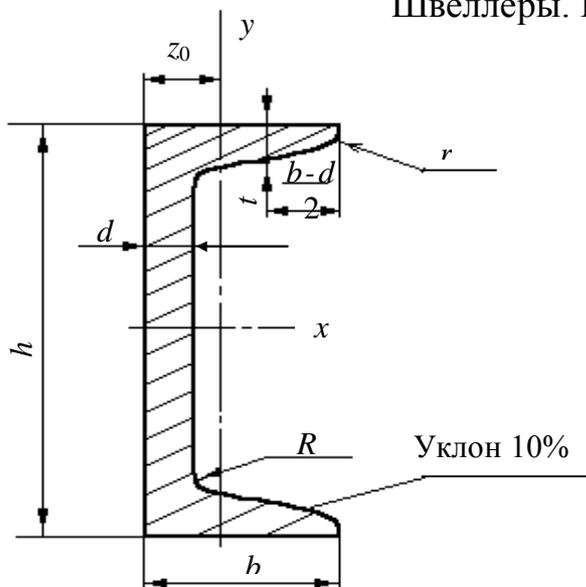
Балки двутавровые. ГОСТ 8239-89



Номер балки	h	b	d	t	R	r	Площадь сечения, А	Справочные величины для осей				
								x-x			y-y	
								J_x	W_x	S_x	J_y	W_y
мм							см ²	см ⁴	см ³	см ³	см ⁴	см ³
14	140	73	4,9	7,5	8,0	3,0	17,4	572	81,7	46,8	41,9	11,5
16	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5	20,2	873	109	58,6	58,6	14,5
18	180	90	5,1	8,1	9,0	3,5	23,4	1290	143	81,6	82,6	18,4
20	200	100	5,2	8,4	9,5	4,0	26,8	1840	184	104	115	23,1
22	220	110	5,4	8,7	10,0	4,0	30,6	2550	232	131	157	28,6
24	240	115	5,6	9,5	10,5	4,0	34,8	3460	289	163	198	34,5
27	270	125	6,0	9,8	11,0	4,5	40,2	5010	371	210	260	41,5
30	300	135	6,5	10,2	12,0	5,0	46,5	7080	472	268	337	49,9
33	330	140	7,0	11,2	13,0	5,0	53,8	9840	597	339	419	59,9
36	360	145	7,5	12,3	14,0	6,0	61,9	13380	743	423	516	71,1
40	400	155	8,3	13,0	15,0	6,0	72,6	19062	953	545	667	86,1
45	450	160	9,0	14,2	16,0	7,0	84,7	27696	1231	708	808	101
50	600	190	12,0	17,8	20,0	8,0	138,0	76806	2560	919	1725	182

Обозначения: h — высота балки; b — ширина полки; d — толщина стенки; J — момент инерции; W — момент сопротивления; A — площадь сечения; S_x — статический момент полусечения

Швеллеры. ГОСТ 8240-89



Номер балки	h	b	d	t	R	r	Площадь сечения, А	Справочные величины для осей				
								x-x		y-y		z ₀
								J _x	W _x	J _y	W _y	
								см ⁴	см ³	см ⁴	см ³	см
мм							см ²	см ⁴	см ³	см ⁴	см ³	см
8	80	40	4,5	7,4	6,5	2,5	8,98	89,4	22,4	12,8	4,75	1,31
10	100	46	4,5	7,6	7	3	10,9	174	34,8	20,4	6,46	1,44
12	120	52	4,8	7,8	7,5	3,0	13,3	304	50,6	31,2	8,52	1,54
14	140	58	4,9	8,1	8,0	3,0	15,6	491	70,2	45,4	11,0	1,67
16	160	64	5,0	8,4	8,5	3,5	18,1	547	93,4	63,3	13,8	1,80
18	180	70	5,1	8,7	9,0	3,5	20,7	1090	121	86,0	17,0	1,94
20	200	76	5,2	9,0	9,5	4,0	23,4	1520	152	113	20,5	2,07
22	220	82	5,4	9,5	10,0	4,0	26,7	2110	192	151	25,1	2,21
24	240	90	5,6	10,0	10,5	4,0	30,6	2900	242	208	31,6	2,42
27	270	95	6,0	10,5	11,0	4,5	35,2	4160	308	262	37,3	2,47
30	300	100	6,5	11,0	12,0	5,0	40,5	5810	387	327	43,6	2,52
33	330	105	7,0	11,7	13,0	5,0	46,5	7980	484	410	51,8	2,59
36	360	110	7,5	12,6	14	6,0	53,4	10820	601	513	61,7	2,68
40	400	115	8,0	13,5	15,0	6,0	61,5	15220	761	642	73,4	2,75

Обозначения:

h — высота швеллера; **b** — ширина полки; **d** — толщина стенки;
J - момент инерции; **W** - момент сопротивления; **A** — площадь сечения;
z₀ — расстояние от оси **y**- **y** до наружной грани стенки

Таблица средних значений КПД передач

Тип передачи	Закрытая	Открытая	
Зубчатая цилиндрическая	0,96...0,98	0,9...0,95	
Зубчатая коническая	0,95...0,97	0,91...0,94	
Цепная		0,95...0,97	
Клиноременная		0,94...0,96	
Червячная при числе заходов червяка:			
$Z_1 = 1$	0,70... 0,80	0,40...0,45	
$Z_1 = 2$	0,75. ..0,85		
$Z_1 = 4$	0,82... 0,90		
Пара подшипников качения			0,99...0,995
Пара подшипников скольжения			0,98...0,99
Муфты			0,98...0,99

Рекомендуемая литература

1. Никитин Е.М. Теоретическая механика для техникумов. М., Наука, 1988
2. Ицкович Г.М. Сопротивление материалов. М., Высшая школа, 1988
3. Куклин Н. Г., Куклина Г. С. Детали машин. М., Высшая школа, 1991
4. Мовнин М. С. Основы технической механики. - Л.: Судостроение, 1990.
5. Эрдеди А. А., Эрдеди Н. А. Техническая механика. Теоретическая механика. Сопротивление материалов. - М.: Высшая школа, академия, 1991.
6. Эрдеди А. А., Эрдеди Н. А. Техническая механика. Детали машин. М.: Высшая школа, академия, 1991
7. Файн А.М. Сборник задач по теоретической механике. М., Высшая школа, 1987
8. Романов Н.Я., Константинов В.А., Покровский Н.А. Сборник задач по деталям машин. М., Машиностроение, 1991
9. Чернавский С.А. и др. Курсовое проектирование деталей машин. М., Машиностроение, 1987
10. Лашутина Н.Г., Макашова О.В., Медведев Р.М. Техническая термодинамика с основами теплопередачи и гидравлики. Л., Машиностроение, 1988