

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Колледж Агробизнеса Забайкальского аграрного института – филиала ФГБОУ ВО
«Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского»**



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

**Методические указания и контрольные задания для обучающихся на заочном
отделении по специальности: 35.02.07 Механизация сельского хозяйства**

Чита 2015

ББК 30.12
С – 42
УДК 513.8

Ответственный за выпуск: Е.Г. Ёлгина – методист Колледжа Агробизнеса ЗабАИ
Скажепова И.Т.

Техническая механика

Методические указания и контрольные задания для обучающихся на заочном отделении по специальности 35.02.07 Механизация сельского хозяйства / Скажепова И.Т. – г. Чита, Колледж Агробизнеса Забайкальского аграрного института, 2015. с – 48.

Методические указания и контрольные задания для обучающихся на заочном отделении разработаны на основе Федерального государственного образовательного стандарта и примерной программы учебной дисциплины «техническая механика» по специальности 35.02.07 Механизация сельского хозяйства содержат методические указания к выполнению контрольных работ, учебные задания определяют объем изучаемого материала.

Рассмотрено на заседании цикловой комиссии общепрофессиональных дисциплин

(Протокол № от «__» _____ 2015)

СОДЕРЖАНИЕ

Общие методические указания	4
Литература	5
Содержание учебной дисциплины	5
Раздел 1. Теоретическая механика	6
Раздел 2. Сопротивление материала	8
Раздел 3. Детали машин	10
Учебное задание 1.	13
Учебное задание 2.	27
Приложение	41

Общие методические указания

Дисциплина «Техническая механика» - важный общетехнический предмет, назначение которого - дать будущим техникам основные сведения о законах равновесия и движения материальных тел; о методах расчета элементов машин и сооружений на прочность, жесткость и устойчивость; об устройстве, области применения и основах проектирования деталей механизмов и машин общего назначения.

Материал программы разделен на два задания:

- 1) основы теоретической механики (статика, кинематика, динамика);
- 2) основы сопротивления материалов и детали механизмов и машин.

Каждое задание выполняется в два этапа: изучение учебного материала; выполнение контрольной работы.

Изучение учебного материала должно предшествовать выполнению контрольной работы. Следует придерживаться такой последовательности изучения материала: ознакомиться с содержанием программы и подобрать рекомендованную учебную литературу; изучить материал каждой темы задания в такой последовательности: сначала внимательно и вдумчиво прочитать материал всей темы (не производя выводов и доказательств), разобраться в основных понятиях, определениях, законах, правилах, следствиях и в их логической взаимосвязи; затем тщательно и подробно изучить материал, конспектируя основные положения, определения, доказательства и правила.

При затруднении с ответами снова вернуться к учебнику и разобраться в соответствующем материале; закрепить усвоение материала путем разбора решенных задач, приведенных в учебной литературе и в настоящем пособии, а также самостоятельным решением возможно большого числа задач. Приступая к решению задач, следует предварительно повторить и вопросы ранее изученных тем, касающиеся содержания данной задачи. При затруднениях в понимании какого-либо вопроса нужно обратиться за разъяснением в колледж.

При выполнении контрольных работ необходимо соблюдать следующие требования:

1) каждая контрольная работа выполняется в отдельной тетради в клетку. На обложке тетради пишутся: фамилия, имя, отчество, номер личного дела (шифр), наименование предмета, номер контрольной работы номер варианта, дата отправления и точный почтовый адрес обучающегося. На последней странице тетради следует написать полное наименование и год издания методического пособия, из которого взято задание;

2) контрольные работы выполняются обязательно чернилами а рисунки и схемы - карандашом четко и аккуратно. Для пометок и замечаний преподавателя необходимо соблюдать достаточный интервал между строками и оставлять поля на страницах шириной не менее 40 мм Каждую задачу нужно начинать с новой страницы, а в конце тетради оставить чистыми несколько страниц для рецензии;

3) тексты условий задач переписываются обязательно;

4) решения задач должны поясняться необходимыми аккуратно выполненными схемами (эскизами), подзаголовками с указанием, что определяется или что рассматривается, ссылками на теоремы, законы правила и методы;

5) вычисления рекомендуется выполнять на электронном калькуляторе или счетной логарифмической линейке (25 см) с точностью до трех значащих цифр.

Перед чистовым оформлением задачи следует тщательно проверить действие, правильность постановки величин, соблюдение их размерности (вычисления производить только в единицах СИ), а также правдоподобность полученных результатов. Если возможно, следует проверить правильность ответа, решив задачу вторично каким-либо иным путем.

Выполненную работу следует своевременно выслать в колледж.

Варианты заданий выбираются, как обычно, по предпоследней цифре шифра обучающегося.

В помощь обучающимся приведен список литературы.

К умениям, знаниям обучающихся по дисциплине «Техническая механика» (ФГОС СПО) Специальность: 35.02.07 Механизация сельского хозяйства

В результате изучения дисциплины обучающийся должен уметь:

- читать кинематические схемы;
- проводить расчет и проектировать детали и сборочные единицы общего назначения;
- проводить сборочно-разборочные работы в соответствии с характером соединения деталей и сборочных единиц;
- определять напряжения в конструкционных элементах;
- производить расчеты элементов конструкций на прочность, жесткость, устойчивость;
- определять передаточное отношение.

знать:

- виды машин и механизмов, принцип действия, кинематические и динамические характеристики;
- типы кинематических пар;
- типы соединений деталей машин;
- основные сборочные единицы и детали;
- характер соединения деталей и сборочных единиц;
- принцип взаимозаменяемости;
- виды движений и преобразующие движения механизмы;
- виды передач, их устройство, назначение, преимущества и недостатки, условные обозначения на схемах;
- передаточное отношение и число;
- методику расчета элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при различных видах деформаций.

Литература

Основные источники:

1. Мархель И.И. Детали машин. - ФОРУМ, 2010
2. Олофинская В.П. Детали машин. – М.: ФОРУМ, 2009
3. Олофинская В.П. «Техническая механика». – М.: ФОРУМ, 2010
4. Хруничева Т.В. Детали машин. – М.: ФОРУМ – ИНФРА-М.; 2009

Дополнительные источники:

5. Ицкович Г.М., Чернавский С.А., Киселев В.А. Сборник задач и примеров расчета по курсу деталей машин. – М.: Машиностроение, 1975
6. Ицкович Г.М. Соппротивление материалов.- М.: Наука, 1988
7. Мовнин М.С., Израелит А.В., Рубашкин А.Г. Основы технической механики. – М.: Машиностроение, 1990
8. Никитин Е.М. Теоретическая механика для техникумов – М.: Наука, 1988
9. Улитин Н.С., Першин А.Н. Леденбург Л.В. Сборник задач по технической механике. – М.: Высшая школа, 1978
10. Фролов М.И. Техническая механика. Детали машин – М.: Высшая школа, 1990
11. Чернавский. -С.А. Боков К.Н. Чернин И.М. Курсовое проектирование деталей машин. – М.: Машиностроение, 1988
12. Шапиро Д.М., Подорванова А.И. Миронов А.Н. Сборник задач по сопротивлению материалов. – М.: Высшая школа, 1970

Содержание учебной дисциплины

Введение

Обучающийся должен:

Знать:

- задачи дисциплины в подготовке специалистов;

- структуру дисциплины.

Литература: [3], стр. 3-4

РАЗДЕЛ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА СТАТИКА

Тема 1.1 Основные понятия и аксиомы статики

Обучающийся должен:

Уметь:

- определять направление реакций основных типов связей.

Знать:

- параметры, характеризующие силу;

- аксиомы статики;

- виды связей, их реакции.

Литература: [3], с. 4-5

Тема 1.2 Плоская система сходящихся сил

Обучающийся должен:

Уметь:

- определять равнодействующую ПССС;

- определять проекции сил на координатные оси;

- решать задачи на равновесие ПССС.

Знать:

- геометрический и аналитический способы определения равнодействующей ПССС;

- условия равновесия ПССС.

Литература: [3], с. 5-21

Тема 1.3 Пара сил и момент силы относительно точки

Обучающийся должен:

Уметь:

- определять момент пары и результирующей пары системы пар сил;

- определять момент силы относительно точки.

Знать:

- момент пары сил: обозначение, модуль, знак, единицу измерения;

- момент силы относительно точки: обозначение, модуль, знак, единицу измерения,

условие равенства нулю.

Литература: [3], с. 28-33

Тема 1.4 Плоская система произвольно расположенных сил

Обучающийся должен:

Уметь:

- использовать уравнения равновесия ПСПРС для определения неизвестных сил;

- определять опорные реакции балочных систем.

Знать:

- приведение ПСПРС к данному центру;

- теорему Вариньона;

- уравнения равновесия ПСПРС;

- виды балочных опор;

- законы трения скольжения.

Литература: [3], с. 34-49

Тема 1.5 Пространственные системы сил

Обучающийся должен:

Уметь:

- определять момент силы относительно оси;

- использовать уравнения равновесия при решении задач.

Знать:

- момент силы относительно оси;
- уравнения равновесия пространственных систем сил.

Литература: [3], с. 50-59

Тема 1.6 Центр тяжести

Обучающийся должен:

Уметь:

- определять координаты центров тяжести плоских фигур сложной формы и сечений, составленных из стандартных профилей проката.

Знать:

- методы определения положения центра плоских фигур;
- формулы для определения координат центра тяжести плоских фигур.

Литература: [3], с. 60-64

Кинематика

Тема 1.7 Основные понятия кинематики

Обучающийся должен:

Уметь:

- способы задания движения точки;
- обозначения, размерность, взаимосвязь кинематических параметров движения.

Литература: [3], с. 66-70

Тема: 1.8 Кинематика точки

Обучающийся должен:

Уметь:

- определять параметры движения точки по заданному закону движения.

Знать:

- формулы и графики равномерного и равнопеременного движений точки.

Литература: [3], с. 71-78

Тема 1.9 Простейшие движения твердого тела

Обучающийся должен:

Уметь:

- определять кинематические параметры тела при поступательном и вращательном движениях;
- определять параметры любой точки тела.

Знать:

- формулы для определения параметров поступательного и вращательного движений тела.

Литература: [3], с. 79-85

Тема 1.10 Сложное движение точки и твердого тела

Обучающийся должен:

Уметь:

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

Знать:

- теорему сложения скоростей;
- разложение сложного движения точки на относительное и переносное;
- разложение плоскопараллельного движения тела на поступательное и вращательное;
- свойства мгновенного центра скоростей.

Литература: [3], с. 86-92

ДИНАМИКА

Тема 1.11 Основные понятия и аксиомы динамики

Обучающийся должен:

Уметь:

- аксиомы динамики, математическое выражение основного закона динамики.

Литература: [3], с. 93-99

Тема 1.12 Движение материальной точки. Метод кинетостатики

Обучающийся должен:

Уметь:

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

Знать:

- формулы для определения сил инерции при поступательном и вращательном движениях;

- принцип Даламбера.

Литература: [3], с. 100-108

Тема 1.13 Работа и мощность

Обучающийся должен:

Уметь:

- рассчитывать работу и мощность с учетом потерь на трение и сил инерции.

Знать:

- формулы для расчета работы и мощности при поступательном и вращательном движениях.

Литература: [3], с. 109-120

Тема 1.14 Общие теоремы динамики

Обучающийся должен:

Уметь:

- определять параметры движения тела с помощью теорем динамики.

Знать:

- понятия «импульс силы», «количество движения»; «кинетическая энергия»;

- основные теоремы динамики;

- основные уравнения динамики при поступательном и вращательном движениях тела;

- формулы для определения моментов инерции некоторых однородных тел.

Литература: [3], с. 121-129

РАЗДЕЛ 2. СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Тема 2.1 Основные положения

Обучающийся должен:

Уметь:

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

Знать:

- виды расчетов; классификацию нагрузок; виды напряжений;

- основные понятия, гипотезы и допущения в сопротивлении материалов;

- метод сечений, внутренние силовые факторы.

Литература: [3], с. 162-175

Тема 2.2 Растяжение и сжатие

Обучающийся должен:

Уметь:

- строить эпюры продольных сил и нормальных напряжений;

- определять продольные и поперечные деформации бруса;

- проводить расчеты на прочность и жесткость.

Знать:

- правила построения эпюр продольных сил и нормальных напряжений;
- закон Гука;
- диаграммы растяжения и сжатия пластичных и хрупких материалов;
- категории напряжений;
- порядок расчета на прочность.

Литература: [3], с. 176-196

Тема 2.3 Практические расчеты на срез и смятие

Обучающийся должен:

Уметь:

- проводить расчеты на прочность деталей, работающих на срез и смятие.

Знать:

- внутренние силовые факторы, напряжения и деформации при срезе и смятии, условия прочности.

Литература: [3], с. 197-207

Тема 2.4 Геометрические характеристики плоских сечений

Обучающийся должен:

Уметь:

- определять главные моменты инерции сложных сечений

Знать:

- формулы моментов инерции простейших сечений;
- способы вычисления моментов инерции при параллельном переносе осей

Литература: [3], с. 208-215

Тема 2.5 Кручение

Обучающийся должен:

Уметь:

- строить эпюры крутящих моментов;
- выполнять проектные и проверочные расчеты круглого бруса

Знать:

- внутренние силовые факторы при кручении;
- формулы для определения напряжений и перемещений при кручении;
- закон Гука;
- условия прочности и жесткости при кручении.

Литература: [3], с. 216-238

Тема 2.6 Изгиб

Обучающийся должен:

Уметь:

- строить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов;
- выполнять расчеты на прочность и жесткость при изгибе;
- выбирать рациональные формы поперечных сечений балок.

Знать:

- виды изгиба и внутренние силовые факторы;
- порядок построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов;
- условия прочности и жесткости при изгибе.

Литература: [3], с. 239-277

Тема 2.7 Сложное сопротивление

Обучающийся должен:

Уметь:

- рассчитывать брус круглого поперечного сечения на прочность при сочетании основных деформаций

Знать:

- виды гипотез прочности;
- формулы для эквивалентных напряжений по гипотезам наибольших касательных напряжений и энергии формоизменения.

Литература: [3], с. 278-289

Тема 2.8 Устойчивость сжатых стержней

Обучающийся должен:

Уметь:

- проводить проверку сжатых стержней на устойчивость

Знать:

- условие устойчивости сжатых стержней;
- формулу Эйлера и эмпирические формулы для расчета критической силы и критического напряжения;
- категории стержней в зависимости от гибкости.

Литература: [3], с. 290-300

Тема 2.9 Сопротивление усталости

Обучающийся должен:

Знать:

- характер усталостных разрушений;
- факторы, влияющие на сопротивление усталости;
- основы расчета на прочность при переменных напряжениях.

Литература: [3], с. 301-305

РАЗДЕЛ 3. ДЕТАЛИ МАШИН

Тема 3.1 Основные положения

Обучающийся должен:

Уметь:

- определять по реальному объекту или модели, плакату, сборочному чертежу механизма составляющие: деталь, узел, звено, кинематическую пару, механизм, привод.

Знать:

- классификацию машин, деталей, узлов;
- требования, предъявляемые к машинам и их деталям;
- понятия «контактная прочность», «надежность».

Литература: [10], с. 26-29; 33-36

Тема 3.2 Соединения деталей машин

Обучающийся должен:

Уметь:

- выполнять расчет одиночного болта на прочность при постоянной нагрузке;
- проводить проверочные расчеты заклепочных и сварных соединений;
- подбирать шпонку и шлицы по стандарту и проверять их на прочность.

Знать:

- виды разъемных и неразъемных соединений;
- типы резьбовых соединений, стандартные крепежные детали, их сравнительную оценку;
- типы стандартных шпонок, их обозначения;
- параметры, сравнительную оценку и применение шлицевых соединений;
- типы сварных и заклепочных соединений; их достоинства и недостатки.

Литература: [2], с. 78-100

Тема 3.3 Общие сведения о передачах

Обучающийся должен:

Уметь:

- выбрать тип механической передачи для преобразования одного вида движения в другой;
- оценивать выбранную передачу;
- составлять кинематическую схему привода;
- производить кинематический и силовой расчеты многоступенчатого привода.

Знать:

- назначение и классификацию механических передач;
- кинематические и силовые соотношения в передаточных механизмах;
- формулы для расчета передаточного числа.

Литература: [2], с. 8-11

Тема 3.4 Фрикционные передачи

Обучающийся должен:

Уметь:

- назначение, классификацию, применение фрикционных передач;
- основные характеристики, материалы, критерии работоспособности фрикционных передач;
- формулы для расчета фрикционной передачи на контактную прочность;
- назначение и основные типы вариаторов.

Литература: [2], с. 12-16

Тема 3.5 Зубчатые передачи

Обучающийся должен:

Уметь:

- выполнять геометрические и силовые расчеты зубчатых передач;
- выполнять расчеты зубчатых передач на контактную прочность и изгиб.

Знать:

- устройство, принцип работы, классификацию и сравнительную характеристику зубчатых передач;
- характеристики эвольвентного зацепления;
- геометрические, кинематические и силовые соотношения в цилиндрических зубчатых передачах;
- формулы для расчета зубчатых передач на контактную прочность и изгиб;
- особенности геометрии и расчета на прочность косозубых, шевронных и конических зубчатых передач;
- назначение и особенности планетарных и волновых зубчатых передач;
- назначение, устройство редукторов.

Литература: [2], с. 17-34; с. 67-72

Тема 3.6 Передача винт – гайка

Обучающийся должен:

Знать:

- назначение, принцип работы, материалы деталей передачи винт – гайка;
- разновидности винтов;
- виды разрушений, критерии работоспособности передачи; формулы для геометрического и кинематического расчетов.

Литература: [2], с. 35-37

Тема 3.7 Червячные передачи

Обучающийся должен:

Уметь:

- пользоваться формулами геометрического, силового и прочностного расчетов червячных передач.

Знать:

- принцип работы, особенности рабочего процесса, причины выхода из строя и критерии работоспособности червячных передач;

- геометрические, кинематические и силовые соотношения в червячных передачах;

- формулы теплового расчета и расчета на прочность.

Литература: [2], с. 38-42

Тема 3.8 Ременные передачи

Обучающийся должен:

Уметь:

- выполнять кинематический и геометрический расчеты передачи;

Знать:

- типы ремней и шкивов;

- формулы кинематического и геометрического расчетов;

- основы расчета плоскоремennых и клиноремennых передач по тяговой способности.

Литература: [2], с. 43-49

Тема 3.9 Цепные передачи

Обучающийся должен:

Знать:

- общие сведения о цепной передаче;

- основные параметры, кинематику и геометрию цепной передачи;

- типы цепей и звездочек, их сравнительную оценку;

- обозначение цепей по стандарту.

Литература: [2], с.50-53

Тема 3.10 Общие сведения о плоских механизмах

Обучающийся должен:

Знать:

- понятия: «звено», «кинематическая пара», «кинематическая цепь»;

- виды плоских механизмов, их особенности и назначение.

Литература: [7], с. 247-251

Тема 3.11 Валы и оси

Обучающийся должен:

Уметь:

- выполнять расчетную схему вала;

- выполнить проектный и проверочный расчеты вала;

Знать:

- назначение конструктивных элементов валов и осей;

- марки материалов, применяемые при изготовлении валов и осей;

- порядок расчета валов на сопротивление усталости.

Литература: [2], с. 54-57

Тема 3.12 Подшипники

Обучающийся должен:

Уметь:

- читать марки подшипников качения;

- подбирать подшипники качения различных видов для требуемого ресурса;

- конструировать опоры с подшипниками качения.

Знать:

- назначение, классификацию, применение подшипников скольжения и качения, материалы;

- расчет подшипников скольжения и качения.

Литература: [2], с. 58-66

Тема 3.13 Муфты

Обучающийся должен:

Уметь:

- подбирать муфту по заданному расчетному моменту и диаметру вала;

Знать:

- назначение, классификацию и конструкции основных типов муфт.

Литература: [2], с. 73-77

**УЧЕБНОЕ ЗАДАНИЕ 1
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ 1**

К решению этих задач следует приступать после изучения тем «Основные понятия и аксиомы статики» и «Система сходящихся сил», уяснения приведенных ниже методических указаний и разбора примеров.

В предлагаемых задачах рассматривается тело (точка), находящееся в равновесии под действием плоской системы сходящихся сил. При аналитическом методе решения применяется система двух уравнений равновесия.

$$\sum F_x = 0; \quad \sum F_y = 0$$

(сумма проекций сил системы на каждую из координатных осей равна нулю).

Напоминаем, что проекцией силы на ось называется отрезок оси, заключенный между перпендикулярами, опущенными на ось из начала и конца силы.

Обозначив проекцию силы F на ось X через F_x , а на ось Y через F_y , будем иметь (рис. 1):

$$F_x = F \cos \alpha; \quad F_y = -F \sin \alpha$$

α - угол, образованный силой F с осью X .

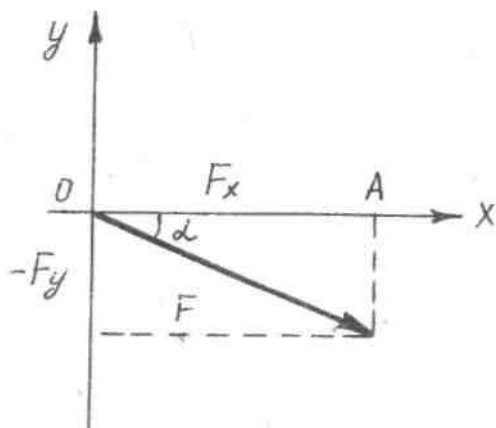


Рис. 1

Таким образом, проекция силы на ось равна произведению модуля силы на косинус угла между направлением силы и положительным направлением оси.

Знак проекции устанавливается в соответствии с правилом: проекция силы положительна, если направление силы соответствует положительному направлению данной оси и отрицательна, если не соответствует.

Проекция силы на параллельную ей ось равна модулю силы, взятому со знаком плюс или минус в зависимости от направления силы.

Проекция силы на перпендикулярную к ней ось равна нулю.

Обращаем внимание студентов на возможность упростить решение задач путем рационального выбора направления координатных осей, то есть выбираем оси так, чтобы одна из осей (ось X или ось Y) совпадала с направлением какой-либо неизвестной силы.

Решив задачу аналитическим методом, следует затем проверить правильность решения с помощью графического или геометрического метода.

В международной системе единиц сила измеряется в ньютонах (Н), а также в кратных единицах - килоньютонах (1 кН = 10³ Н) и меганьютонах (1 МН = 10⁶ Н).

При решении задач на равновесие плоской системы сходящихся сил рекомендуется придерживаться такой, общей для всех систем, схемы:

а) выделить тело или точку, равновесие которых рассматривается в данной задаче, и изобразить их на рисунке;

б) выяснить, какие нагрузки действуют на тело или точку и также изобразить их на рисунке;

в) освободить выделенное тело или точку от связей и заменить их действие реакциями, которые надо изобразить на том рисунке;

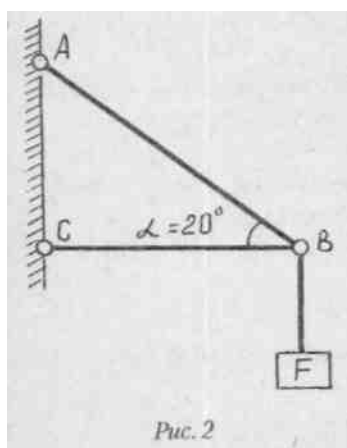
г) произвести рациональный выбор координатных осей и составить уравнение равновесия;

д) решить уравнение равновесия;

е) проверить правильность решения задачи.

Пример 1.1 Определить недостающие из сил: F_{AB} , F_{CB} , F в механической системе, рис. 2, если

$$F_{AB} = 6 \text{ кН.}$$



1) Выбираем тело равновесия. Линии действия сил совпадают с линиями действия реакций F_{AB} , F_{CB} стержней AB и CB. Линия действия силы F направлена вдоль нити подвеса. Отсюда ясно, что линии действия всех сил приложены к точке B. За тело равновесия принимаем точку (шарнир) B.

2) Строим векторную схему сил, рис. 3а. Точку B помещаем в начало координат осей XY. Векторы F_{AB} и F_{CB} , F направляем исходящими из точки B: вектор F_{CB} вдоль оси X, противоположно ее положительному направлению (стрелке), F_{AB} под углом 20° к F_{CB} , F – вертикально вниз как силу тяжести. Векторы F_{AB} и F_{CB} можно было направить и противоположно: точное их направление укажет только результат решения.

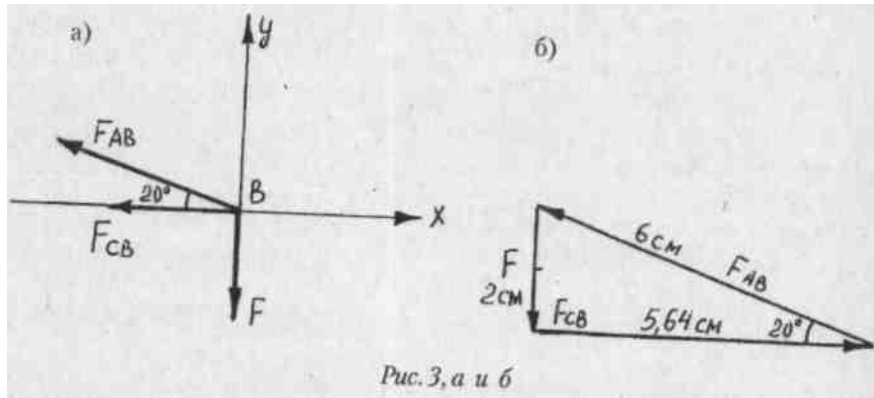


Рис. 3, а и б

3) Принимаем обычное вертикально – горизонтальное направление координатных осей. Для плоской системы сходящихся сил составляем два уравнения равновесия:

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0; & \quad -F_{AB} \cdot \cos \alpha - F_{CB} = 0 \\ \sum F_y = 0; & \quad F_{AB} \cdot \sin \alpha - F = 0 \end{aligned}$$

4) Решаем уравнение:

$$\begin{aligned} F_{CB} &= -F_{AB} \cos \alpha = -6 \cdot \cos 20^\circ = -6 \cdot 0,94 = -5,64 \text{ кН} \\ F &= -F_{AB} \sin \alpha = 6 \cdot \sin 20^\circ = 6 \cdot 0,34 = 2,04 \text{ кН} \end{aligned}$$

Данная система находится в состоянии равновесия, если соотношение параметров (сил) будет таково: $F = 2,04 \text{ кН}$, $F_{AB} = 6 \text{ кН}$, $F_{CB} = 5,64 \text{ кН}$

Сила F_{CB} должна действовать в противоположном от заданного направления, так как ее значение получилось отрицательным.

5) Для проверки правильности решения применяем графический метод, в выбранном масштабе $1 \text{ кН} : 1 \text{ см}$, строим замкнутый силовой треугольник (рис. 3б).

Задание 1.1

Определить реакции стержней, удерживающих груз F в системе - рис. 4. Исходные данные приведены в табл. 1.1.

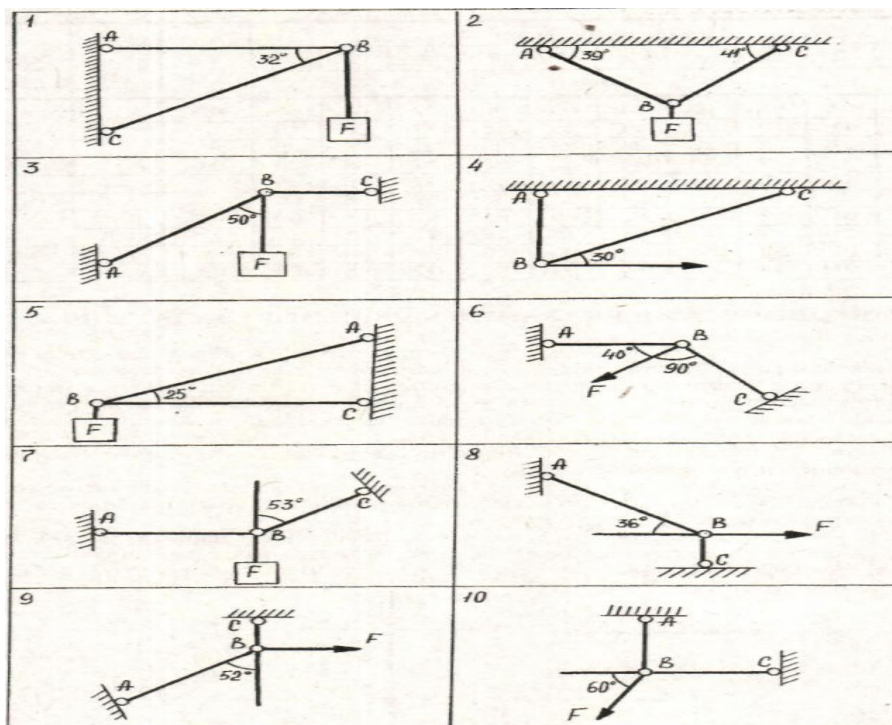


Рис. 4

Таблица 1.1

Номер схемы на рис. 4										F, кН	F _{AB} , кН	F _{CB=} , кН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Вариант												
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0,5		
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		0,4	
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29			0,3
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	0,6		
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49		0,5	
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59			0,4
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	0,7		
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79		0,6	
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89			0,4
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	0,8		

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАНИЯ 1.2

К решению этих задач следует приступать после изучения тем «Пара сил и момент силы», «Система сил, произвольно расположенных в плоскости».

Пара сил. Две равные и параллельные силы, направленные в противоположные стороны и не лежащие на одной прямой, называются парой сил или просто парой (рис. 5). Кратчайшие расстояния между линиями действия сил, составляющих пару, называются плечом пары.

Произведение одной из сил пары на плечо называется моментом пары и обозначается буквой M ; $M = \pm F \cdot r$.

Момент пары сил будем считать положительным, если пара стремится повернуть тело по часовой стрелке и отрицательным, если против часовой стрелки (рис. 5).

Это правило знаков является условным. Размерность пары ($\text{Н} \cdot \text{м}$, $\text{кН} \cdot \text{м}$). Чтобы задать пару, достаточно задать ее момент, поэтому иногда слово «пара» заменяют словом «момент» и условно изображают его так, как показано на рис. 5.

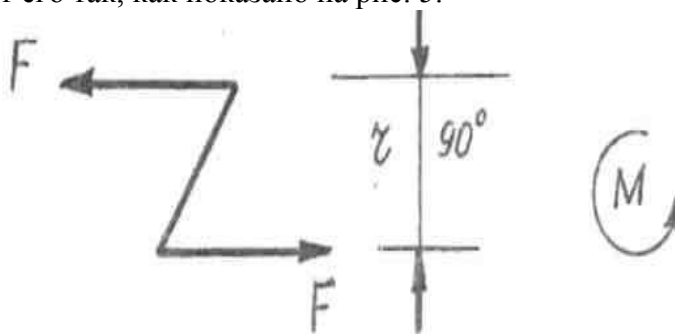


Рис. 5

Необходимо усвоить следующие свойства пары сил:

- 1) алгебраическая сумма проекций сил, составляющих пару, на любую ось равна нулю;
- 2) алгебраическая сумма моментов сил, составляющих пару относительно любой точки плоскости пары, есть величина постоянная, равная моменту пары.

Момент силы относительно точки

Моментом силы относительно точки называется произведение силы на длину перпендикуляра, опущенного из этой точки на линию действия силы (рис. 6). Точка O , относительно которой берется момент, называется центром момента.

В некоторых механизмах пары определить затруднительно, поэтому вращательное действие измеряют с помощью момента силы относительно точки M_0 . Вращательное

действие сил F_1 и F_2 на рычаг (рис. 6) также зависит от величины и направления сил F_1 и F_2 , расстояний r_1, r_2 (перпендикуляров из точки l на линии действия векторов сил), (рис. 6).

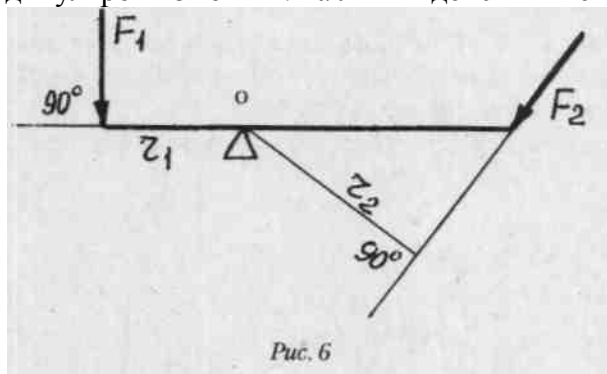


Рис. 6

Для рычага (рис. 6) моменты сил, входящие в уравнение будут:

$$M_1 = F \cdot z_1; \quad M_2 = -F \cdot z_2$$

Уравнение равновесия

$$F_1 r_1 - F_2 \cdot r_2 = 0;$$

Анализ состояния механических систем с произвольно расположенными силами сводится к анализу состояния так называемой двухопорной балки, в которую можно превратить многие механические системы. Во всех задачах определению подлежат реакции опор балок.

Пример 1.2 Определить реакции опор балки АВ, нагруженной заданными силами, рис.

7.

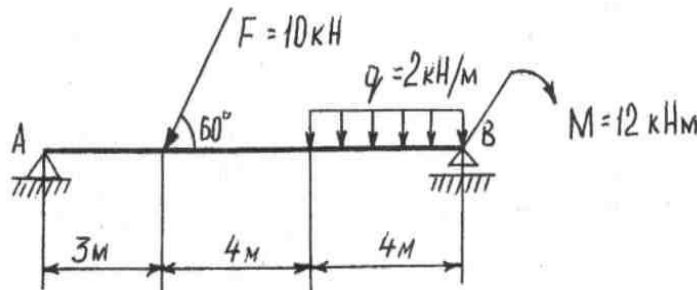


Рис. 7

Решение

1. Изобразим балку с действующими на нее нагрузками (рис. 7).
2. Изображаем оси координат X и Y.
3. Силу F заменяем ее составляющими

$$F_x = F \cos \alpha \quad \text{и} \quad F_y = F \sin \alpha$$

Нагрузка $q = 2 \text{ кН/м}$ называется силой распределенной (по 2Н на каждый из четырех метров). Ее заменяем вектором $Fq = 2 \cdot 4 = 8 \text{ кН}$, приложенным в середине четырех метров.

4. Освобождаем балку от опор, заменив их опорными реакциями (рис. 8).

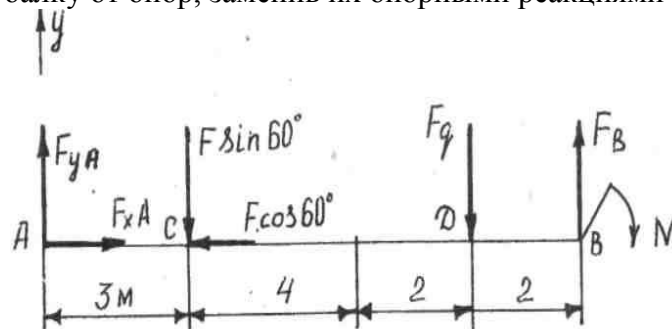


Рис. 8

5. Составляем уравнения равновесия статики и определяем неизвестные реакции опор балок F_{yA} , F_{xA} , F_B используя формулы уравнения равновесия

$$\sum F_x = 0; \quad \sum F_y = 0; \quad \sum M_A = 0; \quad \sum M_B = 0$$

5.1 Из уравнения суммы моментов всех действующих на балку сил, составленного относительно точки А, сразу определяем одну из неизвестных вертикальных реакций: (т. А)

$$F_B \cdot AB - M - F_q AD - F \sin 60^\circ \cdot AC = 0;$$

$$F_B = \frac{M + F_q AD + F \cdot \sin 60^\circ \cdot AC}{AB} = \frac{12 + 8,9 + 10 \cdot 0,86 \cdot 3}{11} = 9,98 \text{ кН}$$

5.2 Моменты сил относительно точки В:

$$F_{yA} \cdot AB - F \sin 60^\circ \cdot CB - F_q DB + M = 0$$

$$F_{yA} = \frac{F \cdot \sin 60^\circ \cdot CB + F_q DB - M}{AB} = \frac{10 \cdot 0,86 \cdot 8 + 8 \cdot 2 - 12}{11} = 6,62 \text{ кН}$$

5.3. Определяем горизонтальную реакцию F_{xA}

$$\sum F_x = 0; \quad F_{xA} - F \cdot \cos 60^\circ = 0; \quad F_{xA} = F \cdot \cos 60^\circ = 10 \cdot 0,5 = 5 \text{ кН}$$

5.4. Уравнение равновесия $\sum F_y = 0$ выражает соотношение вертикальных сил. Его используем для проверки решения.

$$F_{yA} - F \sin 60^\circ - F_q + F_B = 0$$

$$6,62 - 10 \cdot 0,86 - 8 + 9,95 = 0; \quad 16,6 - 16,6 = 0$$

Задание 1.2

Определить реакции опор двухопорной балки. Данные для своего варианта взять из табл. 1.2 и рис. 9.

Таблица 1.2

№ схемы на рис.9	Вариант	q , Н/м	F, Н	M, Н·м	№ схемы на рис.9	Вариант	q , Н/м	F, Н	M, Н·м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	00	5	40	10	2	01	1	60	54
	11	2	25	20		12	4,5	20	85
	22	10	16	14		23	2	15	40
	33	1,5	50	30		34	5	2,5	100
	45	6	82	60		46	3,5	40	55
	50	3	15	25		51	6	35	60
	66	8	45	40		67	3	100	90
	71	4,5	18	10		72	1,5	80	20
	84	1	20	25		88	8	30	75
	99	12	54	35		90	10	50	30
3	02	5	80	25	4	03	4	10	8
	13	2,5	15	10		14	1	12	10
	24	4	30	20		25	12	16	15
	35	10	55	40		36	8	20	12
	47	12	10	15		48	2	5	3
	52	8	100	30		53	14	30	24
	68	4,5	65	45		69	6	25	20
	73	2	85	60		74	10	8	6
	80	6	90	18		85	16	4	12
	91	3,5	20	16		92	20	15	8

Продолжение таблицы 1.2

5	04	5	50	35	6	05	8	12	20
	15	4,5	35	30		16	3,5	10	45
	26	8	25	20		27	0,5	8	10
	37	1,5	10	8		38	10	15	50
	49	2,5	65	50		40	15	18	30
	54	10	8	25		55	4,5	20	15
	60	12	16	40		61	8	3	25
	75	15	30	28		76	12	5	18
	81	5,5	12	15		86	8,5	12	30
	93	6	55	45		94	6	4	45
7	06	2	50	35	8	07	4	18	15
	17	4	10	5		18	6,5	24	20
	28	6	12	8		29	10	16	12
	39	8	15	50		30	2,5	20	25
	41	12	80	15		42	12	40	50
	56	10	35	25		57	3	35	65
	62	20	40	30		63	8	10	25
	77	14	25	20		78	1,5	12	90
	82	16	14	65		87	1	60	35
	95	30	65	75		96	5	15	10
9	08	4	15	2	10	09	4	50	10
	19	1,5	40	15		10	6	65	8
	20	1	20	18		21	2	80	100
	31	10	16	25		32	18	10	15
	43	5	18	14		44	20	55	150
	58	8	10	35		59	10	30	45
	64	6	25	20		65	16	10	25
	79	12	40	30		70	8	2	40
	83	3	35	15		88	14	6	10
	97	7	12	10		98	30	50	60

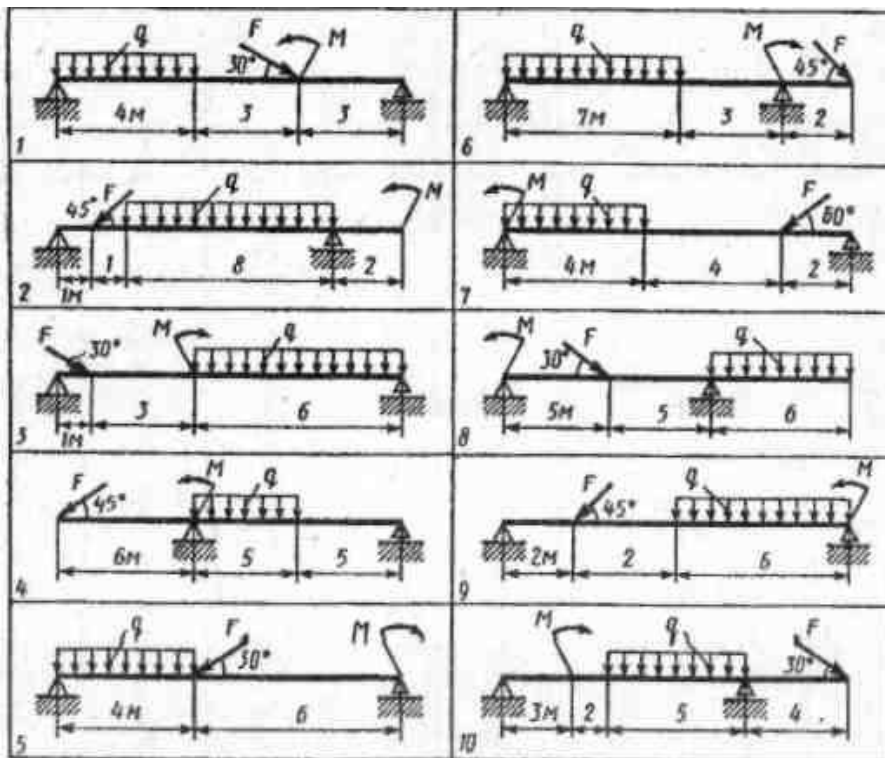


Рис. 9

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ 1.3

К решению этих задач следует приступить после изучения тем «Простейшие движения твердого тела», «Основные понятия и аксиомы динамики», «Метод кинестатики», «Работа и мощность», уяснения приведенных ниже методических указаний и разбора примеров.

Напоминаем, что для поступательного движущегося тела применимы все формулы кинематики точки. Рассматривая вращательное движение твердого тела, необходимо отчетливо уяснить, что вращение тела характеризуется угловыми величинами (угол поворота φ , угловая скорость ω и угловое ускорение ε), а отдельные точки вращающегося тела совершают криволинейное движение (по окружностям) и их движение характеризуется линейными величинами (путь S , скорость v и ускорение a_t, a_n).

Параметры взаимодействия сил

Активные (движущие силы). Среди них большое место занимает сила тяжести F_T :

$$F_T = m \cdot g,$$

где m - масса, кг;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ - ускорение свободного падения.

Сила инерции $F_{ин}$, в общем случае

$$F_{ин} = m \cdot a,$$

при равномерном вращении, при $a = v^2/R$

$$F_{ин} = m \frac{V^2}{R}$$

Нормальная реакция F_n . Чаще всего основной связью при движении тел является поверхность движения. Ее действие и определяет нормальная реакция, направленная перпендикулярно поверхности. Нормальная реакция уравнивает силы, вызывающие давление на поверхность - силу тяжести, инерции и другие.

Сила трения скольжения F_f

$$F_f = f \cdot F_n$$

Сила трения качения $F_{fk} = f_k \cdot F_n$

где $f; f_k$ — коэффициенты скольжения и качения: $f = 0,05...1$; $f_k = 0,001...0,2$.

При решении задач необходимо иметь в виду, что в случае равномерного движения действующая на тело система сил является уравновешенной, а в случае неравномерного - неуравновешенной. В первом случае уравнения равновесия статики тела применимы непосредственно, во втором - лишь при условии добавления к заданной системе сил силы инерции $F_{ин} = m \cdot a$, вектор которой направлен противоположно вектору ускорения (такой метод решения называют методом кинестатики).

При решении задач с применением метода кинестатики рекомендуется такая последовательность:

1. выделить точку, движение которой рассматривается в данной задаче;
2. выяснить, какие активные силы действуют на точку и изобразить их на рисунке;
3. освободить точку от связей, заменив связи их реакциями;
4. к образовавшейся системе сил добавить силу инерции, которая направлена по линии вектора ускорения точки, но в противоположную сторону;
5. выбрать расположение осей координат и составить два уравнения проекций всех сил на эти оси ($\sum F_x = 0; \sum F_y = 0$);
6. решив уравнения, определить искомые значения величин.

Пример 1.3. Определить недостающие из перечисленных параметры, маневра автомобиля: путь S , время t , скорости V_1 , и V_2 , ускорение a , движущую силу F , силу инерции $F_{ин}$, силы трения F_f, F_{fk} , нормальную реакцию F_n (мощность на передвижение P_n ,

эффективную (полную) мощность $P_э$. Известные параметры и дополнительные данные взять из таблицы.

Таблица

Маневр	S, м	V ₁	V ₂	t, с	a, м/с ²	f _к	η	m, кг
		м/с						
Разгон		0	25	10		0,05	0,94	1000

Решение

1. Объектом приложения сил является автомобиль, размерами которого можно пренебречь, то есть представить его материальной точкой.

2. Векторная схема сил включает векторы сил: движущей силы F , силы инерции $F_{ин}$, трения качения F_k , тяжести F_T , нормальной реакции F_H , рис. 10

3. Уравнения кинетостатики:

$$\sum F_x = 0; \quad \sum F_y = 0$$

Составляем уравнения для рис. 10

$$F = F_{ин} - F_k = 0; \quad F_H - F_T = 0$$

Выражаем составляющие уравнений через параметры движения дополнительные данные.

Сила инерции

$$F_{ин} = m \cdot a$$

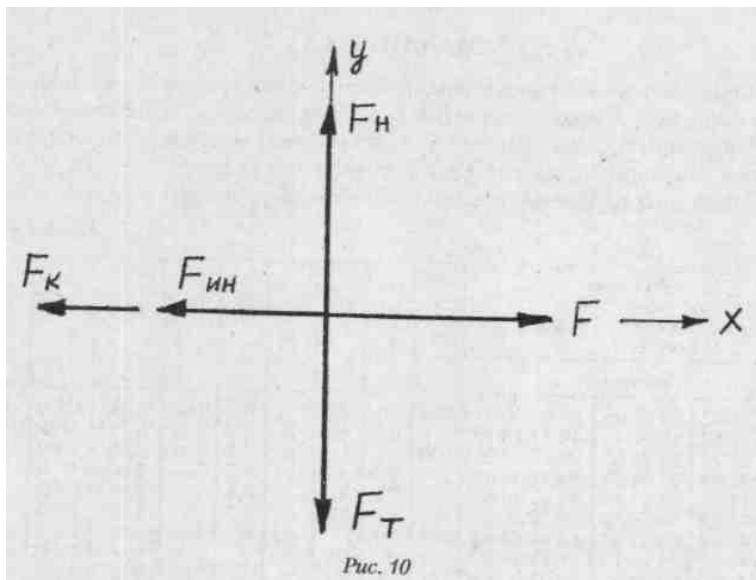


Рис. 10

Из формулы ускорения

$$a = \frac{V_2 - V_1}{t}; \text{ т.к. } V_1 = 0; \quad a = \frac{V_2}{t} = \frac{25}{10} = 2,5 \text{ м/с}$$

тогда:

$$F_{ин} = m \frac{V_2}{t}; \quad F_{ин} = 1000 \cdot \frac{25}{10} = 2500 \text{ Н}$$

Сила сопротивления качению

$$F_k = f_k \cdot F_H$$

где: f_k – коэффициент трения, $f_k = 0,05 - 1$

Но $F_H = F_T = mg$, тогда $F_k = f_k \cdot mg = 0,05 \cdot 1000 \cdot 9,8 = 490 \text{ Н}$

Так как $F - F_{ин} - F_k = 0$, то $F = F_{ин} + F_k = 2500 + 490 = 2990 \text{ Н}$

Путь пройденный автомобилем при разгоне

$$S = \frac{at^2}{2} = \frac{V_2 t^2}{t \cdot 2} = \frac{V_2 t}{2} = \frac{25 \cdot 10}{2} = 125 \text{ м}$$

Мощность на передвижение

$$P_n = F \cdot V_2 = 2990 \cdot 25 = 74750 \text{ Вт}$$

Мощность полная

$$P_o = \frac{P_n}{\eta} = \frac{74750}{0.94} = 79521 \text{ Вт}$$

Задание 1.3

Определить недостающие из перечисленных параметры маневра автомобиля: путь S , время t , скорости V_1 , и V_2 , ускорение a , движущую силу F , силу инерции $F_{ин}$, силы трения F_f , F_K , нормальную реакцию F_n , мощность на передвижение P_n , полную (эффективную) мощность P_o

Известные параметры и дополнительные данные взять из таблицы 1.3.

Таблица 1.3

Маневр			S, м	V ₁ , м/с	V ₂ , м/с	t, с	f	f _k	η	m, кг	R, м
разгон	торможение	поворот									
варианты											
00 01 02	03 04 05	06 07 08 09	100	20	20		0,4	0,03	0,095	1000	10
10 11 12	13 14 15	16 17 18 19		19	19	3	0,5	0,02	0,94	900	10
20 21 22	23 24 25	26 27 28 29	100			4	0,4	0,01	0,90	1200	15
30 31 32	33 34 35	36 37 38 39		25	0		0,5	-	0,91	2000	-
40 41 42	43 44 45	46 47 48 49		21	0		0,4	-	0,91	1800	-
50 51 52	53 54 65	56 57 58 59		24	0		0,6	-	0,92	1500	-
60 61 62	63 64 65	66 67 68 69		30	7		0,3	-	0,93	1000	-
70 71 72	73 74 75	76 77 78 79		0	25	7		0,01	0,95	2000	-
80 81 82	83 84 85	86 87 88 89	100	0	20			0,02	0,96	3000	-
90 91 92	93 94 95	96 97 98 99	100	0		20		0,01	0,95	4000	-

Методические указания к решению задания 1.4

Механические передачи чаще всего передают вращательное движение, изменяют направление, частоту, плоскость вращения, вращающий момент.

Частота вращения измеряется в об/мин (n) и в радианах/с (ω). Во втором случае ее еще называют угловой скоростью. Между ними существует следующая зависимость:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot n}{30} [\text{рад/с}] \text{ или } \left[\frac{1}{\text{с}} \right]$$

Имеется в виду, что в одном обороте $2\pi = 6,28$ радиан, а в одной минуте 60 секунд.

Изменение частоты вращения выражают через передаточное отношение u_{12}

$$u_{12} = \pm \frac{\omega_1}{\omega_2} = \pm \frac{n_1}{n_2}$$

где: ω_1 - угловая скорость ведущего вала;

n_1 - частота вращения ведущего вала;

ω_2 - угловая скорость ведомого вала;

n_2 - частота вращения ведомого вала.

Положительное значение принимается, если направление вращения валов меняется. Передаточное отношение зависит от размеров деталей передач (зубчатых колес, шкивов и др.): большую частоту имеет меньшая деталь, меньшую частоту - большая, поэтому передаточное отношение через размеры выглядит так:

$$u_{12} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{D_2}{D_1}$$

где: Z - число зубьев зубчатого колеса, звездочки;

D - диаметр шкива, зубчатого колеса, звездочки. Для многоступенчатой передачи передаточное отношение определяется перемножением передаточных чисел ступеней

$$u_{1i} = u_{12} \cdot u_{23} \cdot u_{34} \dots u_{(i-1)i}$$

Если вспомнить (задание 1.3), что мощность P - параметр, полученный как произведение параметра действия на параметр быстроты движения, а параметр действия при вращении - вращающий момент M и параметр быстроты вращения - угловая скорость ω , то получим

$$P = M \cdot \omega_{HМ} \cdot 11/c = \frac{H \cdot M}{c} = [Вт]$$

Коэффициент полезного действия η , передачи показывает отношение мощности P_2 ведомого вала к мощности P_1 ведущего вала

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

Потери мощности $P_1 - P_2$ необходимы для преодоления сопротивления в зацеплении, подшипниках, смазке, перемещений продуктов износа, смазки

Рекомендуется при определении полезной мощности принимать следующие значения КПД, обусловленные степенью точности и чистоты обработки выпускаемых деталей:

- пары подшипников $\eta_n = 0,99$
- цепной передачи $\eta_n = 0,97$
- ременной $\eta_n = 0,96$
- зубчатой $\eta_n = 0,98$
- червячной $\eta_n = 0,8$

Учитывая, что $P_1 = M_1 \cdot \omega_1$; $P_2 = M_2 \cdot \omega_2$; получим

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{M_2 \cdot \omega_2}{M_1 \cdot \omega_1} = \frac{M_2}{M_1 \cdot u_{12}} \text{ и } M_2 = M_1 \cdot u_{12} \cdot \eta, \text{ а также } u_{12} = \frac{M_2}{M_1} \cdot \eta$$

Это означает, что изменение вращательного момента измеряется также передаточным отношением.

Коэффициент полезного действия привода, состоящего из нескольких передач (ступеней), определяют произведением КПД всех передач

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \dots \eta_{in} \cdot \eta_n^n$$

где: 1, 2 ... i - номера передач;

n - количество пар подшипников в приводе.

Пример 1.4. Определить угловые скорости, вращающие моменты, передаточные отношения, мощности, КПД привода (рис. 11), если передаточное отношение редуктора $u_{23} = 2,8$, мощность электродвигателя $P_1 = 7$ кВт, частота вращения его вала $\omega_1 = 750$ об/мин, диаметры шкивов $D_1 = 80$ мм, $D_2 = 160$ мм. Описать назначение, устройство, принцип работы привода.

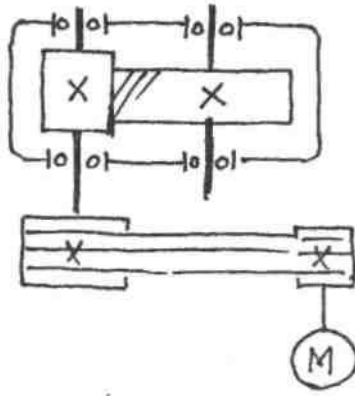


Рис. 11

Решение:

1. Определяем передаточное отношение ременной передачи

$$u_{12} = u_{PI} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{160}{80} = 2$$

Общее передаточное отношение привода

$$u_{13} = u_{12} \cdot u_{23} = 2 \cdot 2,8 = 5,6$$

2. Частота вращения ведущего и ведомого вала привода

$$\omega_1 \pi / 30 = 3,14 \cdot 750 / 30 = 78,5 / c$$

$$u_{13} = \frac{\omega_1}{\omega_3} = \frac{n_1}{n_3}$$

$$n_{13} = \frac{n_1}{n_3} = \frac{750}{5,6} = 134 \text{ об/мин}$$

$$\omega_3 = \frac{\pi \cdot n_3}{30} = \frac{3,14 \cdot 134}{30} = 141 / 1$$

3. Общий коэффициент полезного действия привода

$$\eta = \eta_{PI} \cdot \eta_{sn} \cdot \eta_n^2 = 0,96 \cdot 0,98 \cdot 0,99^2 = 0,93$$

4. Моменты вращения двигателя и ведомого вала привода

$$P_1 = M_1 \cdot \omega_1; \quad M_1 = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{7 \cdot 1000}{18,5} = 89,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$u_{13} = \frac{M_2}{M_1} \cdot \eta; \quad M_2 = M_1 \cdot u_{13} \cdot \eta = 89,1 \cdot 5,6 \cdot 0,93 = 455 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

5. Мощность ведомого вала привода

$$\eta = \frac{P_3}{P_1}; \quad P_3 = P_1 \cdot \eta = 7000 \cdot 0,93 = 6510 \text{ Вт}$$

6. Назначение, принцип работы, устройство привода. Привод предназначен для передачи и усиления от электродвигателя ($P_1 = 7 \text{ кВт}$, $\omega_1 = 7000 \text{ об/мин}$, $M_1 = 89,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$) к ведомому валу редуктора ($P = 6,5 \text{ кВт}$, $\omega_3 = 134 \text{ об/мин}$, $M_3 = 455 \text{ Н} \cdot \text{м}$), изменения направления вращения изменения частоты вращения в $u_{13} = 5,6$ раз, изменения вращающего момента $u_{43} \cdot n = 5,6 \cdot 0,93 = 5,2$ раза. Потери мощности $P_1 - P_3 = 7 - 6,5 = 0,5 \text{ кВт}$.

Привод устроен из электродвигателя (М), ременной и зубчатой передач.

Ременная передача передает вращение с вала двигателя на вал редуктора изменяя частоту вращения в $u_{12} = 2$ раза, момент вращения в $u_{12} \cdot \eta = 1,9$ раз теряя при этом $P_2 - P_1 = 7 - 7 \cdot 0,95 = 0,35$ кВт.

Ременная передача состоит из двух шкивов с диаметрами $D_1 = 80$ мм, $D_2 = 160$ мм с двумя клиновыми проточками, двух клиновых ремней. Шкивы установлены на валы двигателя и редуктора на шпонках.

Редуктор (зубчатая передача) передает вращение с ведущего вала на ведомый, изменяя направление вращения, частоту вращения в 2,8 раза и момент вращения в 2,7 раза.

Передача движения осуществляется за счет зацепления колес (передачи толкающего усилия зубом ведущего колеса зубу ведомого как рычагу).

Редуктор одноступенчатый состоит из пары зубчатых колес закрепленных на валах шпонками. Валы вращаются в подшипниках качения, установленных в гнездах корпуса.

Задание 1.4

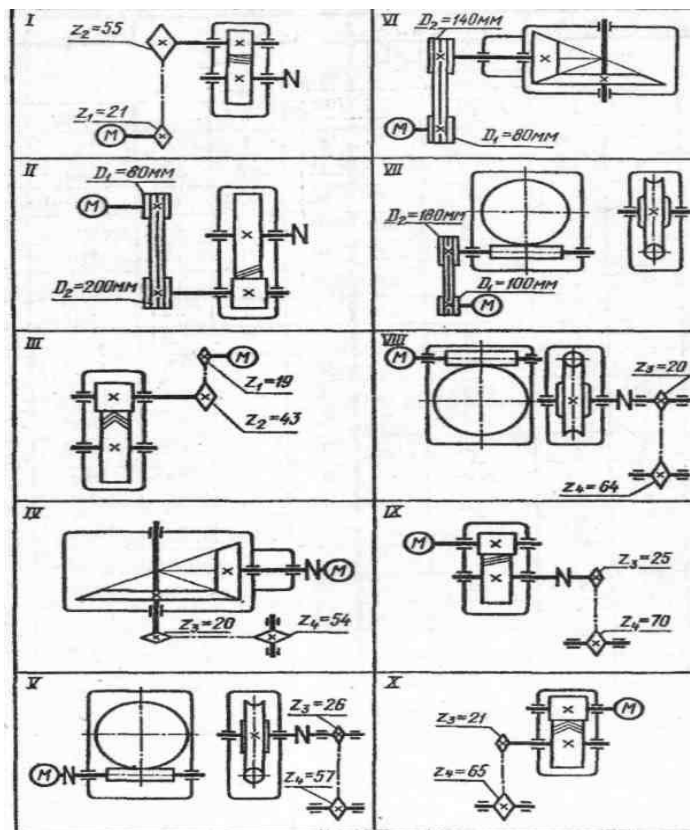
Определить угловые скорости, вращающие моменты, мощности на валах, передаточные отношения, КПД привода. Описать назначение, принцип работы, устройство привода. Данные взять из таблицы 14.

Таблица 14

№ варианта	№ схемы по рис.12	Мощность эл.дв. P_1 , Вт	Частота вращ. электродвиг. n , об/мин	Перед. число ред. U_p	№ варианта	№ схемы по рис.12	Мощность эл.дв. P_1 , Вт	Частота вращ. электродвиг. n , об/мин	Перед. число ред. U_p
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
00	1	8,5	950	2,0	50	4	3,0	720	1,6
01	2	3,2	960	3,15	51	10	7,2	710	1,25
02	3	4,0	970	2,5	52	90	8,3	980	4
03	4	3,5	750	3,15	53	6	9,6	950	2,5
04	5	3,6	955	2	54	7	2,2	1440	25
05	6	1,9	1440	12,5	55	8	3,5	1000	30
06	7	2,8	1460	16	56	5	3,8	1340	20
07	8	2,6	1420	20	57	4	8,0	710	2
08	9	3,3	750	3,15	58	3	5,1	980	2,5
09	10	3,0	970	4	59	2	3,0	980	4
10	8	4,7	960	12	60	1	4,6	95,5	1,25
11	7	3,6	1440	20	61	1	6,9	720	2,5
12	5	2,0	980	25	62	2	5,3	710	3,15
13	10	6,4	720	1,6	63	3	4,7	955	4
14	1	8,5	710	4	64	4	8,9	980	2
15	2	9,8	935	1,25	65	5	3,2	1440	28
16	3	4,4	970	1,6	66	6	5,6	980	2,5
17	8	8,6	989	32	67	7	6,1	1000	32
18	4	3,7	970	4	68	8	7,6	1440	22
19	6	3,2	980	2,5	69	9	8,8	950	2,8
20	1	2,6	980	1,25	70	10	6,6	955	3,15
21	2	2,1	970	2	71	10	5,0	1000	4
22	3	2,9	1140	1,6	72	3	4,5	960	2

Продолжение таблицы 1.4

23	4	2,4	955	3,15	73	4	2,6	720	1,6
24	6	5,5	720	4	74	8	2,8	1440	2,4
25	9	4,2	720	2,5	75	5	4,6	1440	26
26	10	3,8	710	2	76	9	4,0	955	3,15
27	3	3,2	980	31,5	77	6	2,3	950	2
28	8	4,6	980	25	78	10	4,8	1000	2,5
29	7	6,2	1000	20	79	7	3,5	1000	29
30	10	5,6	710	1,6	80	1	2,4	710	3,15
31	9	4,6	720	2	81	10	8,5	750	2
32	6	2,6	980	2,5	82	4	8,0	950	2
33	4	2,7	970	3,15	83	2	3,4	970	2,5
34	1	3,2	970	1,25	84	8	4,9	140	30
35	2	4,8	750	2,0	85	1	3,9	970	2
36	3	2,8	955	2,8	86	9	2,5	970	4
37	1	2,5	710	2	87	3	6,0	980	2,5
38	2	2,8	720	3,15	88	7	3,6	1440	23
39	3	4,4	780	4	89	6	5,4	710	4
40	4	5,8	970	1,25	90	5	3,3	980	29
41	6	6,3	980	1,6	91	1	4,5	710	3,15
42	10	2,0	970	2,5	92	3	4,4	720	2,5
43	9	5,0	955	4	93	10	3,6	980	3,15
44	5	3,4	1440	27	94	2	3,4	955	2
45	7	2,8	980	16	95	4	3,0	970	2,5
46	8	4,9	1200	20	96	7	4,0	980	34
47	1	3,5	980	2,8	97	5	8,4	1450	36
48	2	5,6	970	2,5	98	3	3,9	1460	2,4
49	3	3,7	970	3,15	99	7	2,4	960	2,8



УЧЕБНОЕ ЗАДАНИЕ 2

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ 2.1

Выполнение задания 2.1. требует от студента умения строить эпюры продольных сил, нормальных напряжений и определять удлинения или укорочения бруса. К решению этих задач следует приступать после изучения тем «Основные положения» и «Растяжение - сжатие», уяснения приведенных ниже методических указаний и разбора примеров.

Все детали машин при их взаимодействии деформируются - изменяют размеры. Различают несколько состояний деформирования- упругая деформация, пластическая деформация и разрушение. Упругая - исчезает после снятия нагрузок, пластическая - остается. Если деталь деформируется упруго, то состояние называют прочностью.

Растяжением (сжатием) называют такой вид нагружения бруса при котором в его поперечных сечениях возникает только один внутренний силовой фактор - продольная сила N . Продольная сила в произвольном поперечном сечении бруса численно равна алгебраической сумме внешних сил, действующих на отсеченную часть.

Установим следующее правило знаков: внешняя сила, направленная от сечения, считается положительной, то есть дает положительную растягивающую продольную силу; в противном случае внешняя сила отрицательна.

Состояние материала бруса против растягивающих (сжимающих) действия (внешних сил) определяется параметром, называемым «нормальное напряжение» σ , тем большим, чем большая действует нагрузка. При одной и той же нагрузке более напряженным будет брус с меньшей площадью поперечного сечения. Следовательно, напряжение прямо пропорционально нагрузке N и обратно пропорционально площади сечения A

$$\sigma = \frac{F}{A}; N / \text{м}^2 = \text{Па}; N / \text{мм}^2$$

Деформация бруса длиной l от действия растяжения - сжатия называется удлинением Δl . Если рассматривают деформацию каждого метра бруса, то ее называют относительным удлинением.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Между деформацией в стадии упругости и напряжением существует зависимость - закон Гука;

$$\Delta l = N \cdot l / A \cdot E$$

Она выражает прямую пропорциональность между напряжением и относительным удлинением. Коэффициент E называется модулем упругости

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \text{Н/м}^2$$

Если ε равно единице, т.е. каждый метр бруса удлиняется на один метр, то модуль упругости E равен напряжению σ , которое при этом возникает. Модуль упругости стали - $2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$, чугуна - 10^5 Н/м^2 , резины - 80 Н/мм^2 .

Упругое состояние гарантированно сохраняется до определенного значения напряжения, которое называют допустимым $[\sigma]$. До достижения этого напряжения материал считается достаточно прочным. Поэтому состояние прочности выражается формулой

$$\sigma \leq [\sigma]$$

Для анализа состояния деталей, имеющих форму бруса (длина значительно больше размеров поперечного сечения) строят график - эпюру, зависимости напряжений σ , Н/мм^2 .

Эпюра позволяет определить наиболее напряженный участок бруса.

Пример 2.1. Стальной ступенчатый брус (рис. 13) нагружен силами $F_1 = 18 \text{ кН}$, $F_2 = 6 \text{ кН}$. Площади сечений ступеней $A_1 = 1,4 \text{ см}^2$, $A_2 = 0,8 \text{ см}^2$.

Определить прочность ступеней, наиболее нагруженный участок, удлинение бруса.

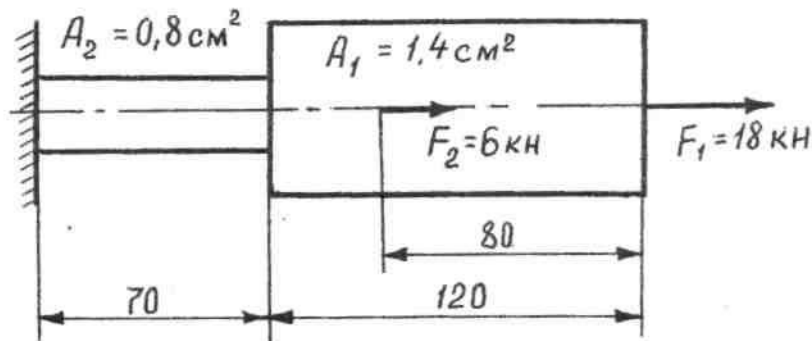


Рис. 13

Решение

1. Разбиваем брус на три участка (рис. 14), границами которых являются точки приложения сил или изменения площади сечения. Первый (справа) - от точки приложения силы F , до точки приложения силы F_2 , второй - от точки приложения силы F_2 до границы ступеней площадью сечения A_1 и A_2 , третий - от границы ступеней до заделки. Силу заделки можно не определять.

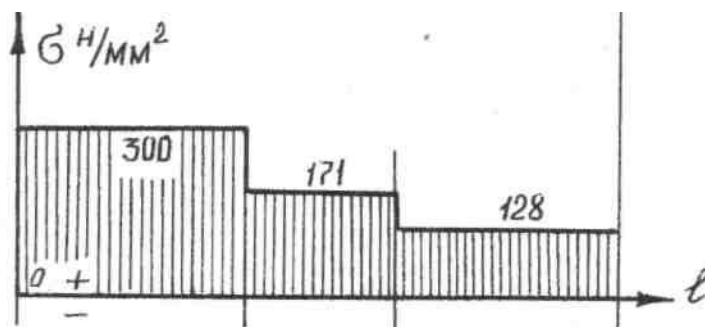


Рис. 14

2. Определяем силу N , сопротивления первого участка растяжению. Равновесие участка обеспечивается равенством

$$F_1 - N_1 = 0; N_1 = F_1 = 18 \text{ кН}$$

Напряжение на первом участке

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{18 \cdot 1000}{1,4 \cdot 100} = 128 \text{ Н / мм}^2$$

Поскольку ни сила, ни площадь на протяжении всего участка не меняются, то и напряжение по всей длине участка постоянно. На графике - эпюре (рис. 14) это изобразится прямой l (на этом участке $\sigma = 128 \text{ Н/мм}^2 = \text{const}$).

Удлинение первого участка

$$\sigma_1 = E\varepsilon, \text{ откуда } \sigma_1 = E \frac{\Delta l_1}{l_1} \text{ и}$$

$$\Delta l_1 = \frac{\sigma_1 \cdot l_1}{E} = \frac{128 \cdot 80}{2 \cdot 10^5} = 5,2 \cdot 10^{-2} \text{ мм}$$

3. Определяем силу N_2 сопротивления второго участка и напряжение σ_2 . Правая от второго сечения часть подвергается действию сил F_1 ; F_2 и N_2 ;

$$F_1 + F_2 - N_2 = 0 \quad N_2 = F_1 + F_2 = 18 + 6 = 24 \text{ кН}$$

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{E} = \frac{24 \cdot 1000}{1,4 \cdot 100} = 171 \text{ Н / мм}^2$$

$$\Delta l_2 = \frac{\sigma_2 \cdot l_2}{E} = \frac{171 \cdot 40}{2 \cdot 10^5} = 3,4 \cdot 10^{-2} \text{ мм}$$

4. Сила N_3 , напряжение σ_3 , удлинение l_3 третьего участка. Правая от сечения часть балки подвергается действию сил F_1 ; F_2 , N_3

$$F_1 + F_2 - N_3 = 0; \quad N_3 = 24 \text{ кН}$$

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{A_2} = \frac{24 \cdot 1000}{0,8 \cdot 10^2} = 300 \text{ Н / мм}^2$$

$$\Delta l_3 = \frac{\sigma_3 \cdot l_3}{E} = 11,5 \cdot 10^{-2} \text{ мм}$$

Нанося полученные характерные точки на график и соединяя их прямыми линиями, получаем эпюру напряжений, рис. 14.

5. Общее удлинение бруса

$$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 = 5,2 \cdot 10^{-2} + 3,4 \cdot 10^{-2} + 11,5 \cdot 10^{-2} = 20,1 \cdot 10^{-2} \text{ мм}$$

6. Анализируем эпюру. Первый участок прочен

$$\sigma_1 < [\sigma], 128 < 160$$

Второй не достаточно прочен, третий не прочен.

$$\sigma_2 > [\sigma], 171 > 161; \sigma_3 > [\sigma]? 300 > 160$$

Наиболее нагружен третий участок: $\sigma_3 > \sigma_2 > \sigma_1$

Примечание. Участок 1 находится в стадии упругости. Участок 2 -тоже: $\sigma_2 > [\sigma]$, но незначительно. Допускаемые напряжения назначаются несколько ниже стадии упругости. Поэтому формула закона Гука здесь правомерна.

На третьем участке напряжения значительно превышают допустимые, что означает переход в стадию текучести. В этой стадии деформация определяется экспериментально. Формула же применена для демонстрации способа определения полной деформации бруса. На третьем участке может произойти разрушение.

Задание 2.1

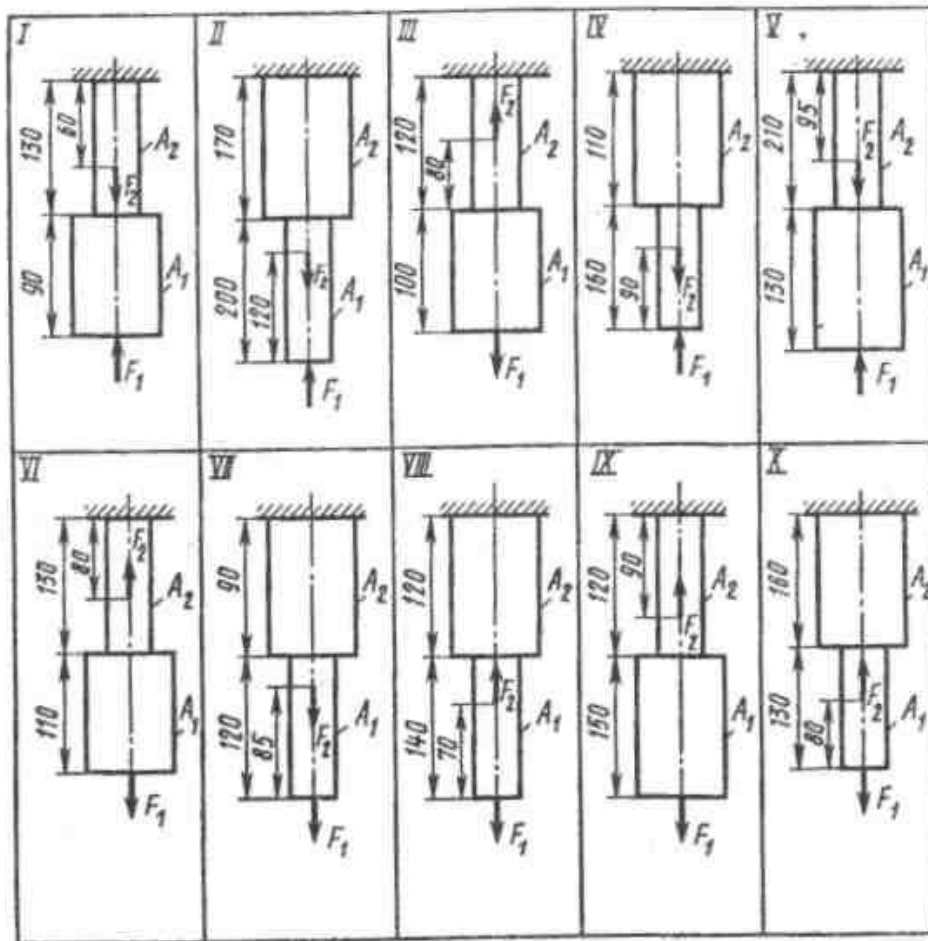
Проверить прочность, найти наиболее напряженный участок двухступенчатого бруса, нагруженного силами F_1 , F_2 , если $[\sigma] = 160 \text{ Н/мм}^2$. Найти удлинение бруса. Данные своего варианта взять из таблицы 2.1.

Таблица 2.1

№ задачи и схемы на рис. 15	Вариант	F ₁ кН	F ₂ кН	A _{1,2} см	A _{2,2} см	№ задачи и схемы на рис. 15	Вариант	F ₁ кН	F ₂ кН	A _{1,2} см	A _{2,2} см
I	00	10	20	1,2	0,8	II	01	3,3	8,0	0,4	0,5
	12	12	10	1,2	0,8		19	4	9,2	0,5	0,6
	27	12	20	0,7	0,9		29	4,8	10,0	0,4	0,8
	31	21	40	2,4	2,2		30	5,0	9,8	0,5	1,0
	49	16	13	2,6	1,6		39	7,2	15,0	0,6	1,5
	58	18	23	1,8	1,4		59	5,6	8,6	0,7	2,0
	63	15	13	2,6	2,0		61	7,2	14,0	0,8	2,4
	71	14	22	3,5	2,3		74	14,4	14,4	0,9	2,5
	82	13	18	4,4	3,0		80	9,0	22,0	1,0	3,0
	93	15	25	2,3	1,4		97	14,4	28,0	1,2	3,2
III	02	15	30	2,1	1,6	IV	03	0,8	29	1,8	2,0
	11	14	18	2,3	2,1		17	8	18	2,0	3,0
	23	20	32	2,5	2,2		22	7,6	20,5	2,8	3,2
	33	30	36	2,4	1,6		32	17,6	43,2	3,0	3,2
	42	26	15	2,0	1,3		41	9,9	22,7	3,2	3,5
	56	30	40	2,2	2,0		57	17,0	51,0	3,5	4,0
	62	33	14	2,4	1,5		60	23,1	40,5	3,8	4,2
	70	14	34	1,9	1,3		77	12,0	39,0	4,0	4,5
	84	15	31	1,8	1,2		87	11	32	3,9	4,1
	91	24	50	1,4	0,8		95	39,2	88	5,0	5,2
V	05	3,5	12,0	2,5	1,8	VI	04	6	3	0,4	0,8
	14	27	27	2,8	2,0		15	3,0	6,0	0,5	0,9
	25	18	38	3,0	1,8		24	6,0	3	0,4	0,8
	35	1,4	20	2,6	1,5		34	9	9,0	0,8	1,2
	44	15	35	3,2	2,6		43	8,6	16	0,6	1,5
	54	12	28	2,9	1,6		55	8,1	15	0,7	1,4
	67	14	29	3,4	2,5		65	12,0	4,0	8,0	2,4
	73	13	24	2,8	2,0		76	11	5,0	0,9	2,5
	83	19	22	3,0	2,5		86	13	5	2,0	3,0
	92	21	45	2,5	3,0		96	16,0	7,0	1,0	2,4
II	07	16,0	8,0	1,4	0,4	VIII	06	14,0	16,0	2,4	2,8
	13	8,3	30,5	1,5	0,8		18	16,0	12,0	1,1	3,0
	21	19,0	9,8	0,9	0,6		26	10,0	16,0	2,2	3,0
	37	8,0	8,4	2,0	1,4		36	6,2	17,6	3,0	3,2
	46	5,0	20,0	1,5	1,0		45	11,8	16,4	3,2	3,5
	52	8,0	15,0	1,8	1,0		53	12,8	27,7	3,5	4,0
	66	12,4	24,0	2,5	2,0		64	14,4	18,8	3,8	4,2
	72	16,0	5,2	1,0	0,7		79	8,4	18,6	4,0	4,5
	81	21,6	6,0	3,4	3,0		89	11,0	18	4,5	4,8
	90	30,5	10,0	2,5	1,6		94	30	16	5,0	5,6

продолжение таблицы 2.1

IX	09	22,0	30,6	2,7	2,1	X	08	12	30,0	2,1	2,5
	10	10,8	30	2,8	2,4		16	14,0	40,0	2,0	2,0
	20	12,0	34	2,2	1,8		28	14,2	30,0	1,5	2,4
	38	11,0	24	2,0	1,6		40	25,0	37,5	1,0	2,8
	48	22,4	2,4	3,0	2,4		47	40,0	12,0	1,6	2,6
	50	18,9	45,3	3,0	2,6		51	30,4	13,4	1,5	2,8
	68	30,8	15,3	3,0	2,3		69	20,4	10,2	0,8	1,5
	75	22,8	4,4	2,8	2,2		78	24	8,4	0,8	1,4
	85	36,8	11,8	3,2	2,1		88	30,0	5,4	2,2	3,1
	98	29,6	5,6	3,5	3,1		99	22	12	1,0	2,0



Методические указания к выполнению задания 2.2

Вращающиеся детали (чаще всего это валы) испытывают деформацию - кручение: касательное относительное вращение поперечных сечений. Противодействие сечений вала кручению определяется крутящим моментом M_k и касательным напряжением τ .

Чтобы вал упруго сопротивлялся кручению, крутящий момент сечения должен уравновесить вращающие моменты справа или слева от сечения ($\sum M_d$ или $\sum M_n$), то есть

$$M_k + \sum M_d = 0 \text{ или } M_k + \sum M_n = 0$$

Результат будет одинаков, ибо левая и правая части действуют равным образом друг на друга по принципу равенства действия и противодействия.

Однако крутящий момент недостаточно характеризует сопротивление вала кручению. Очевидно вал меньшего диаметра с тем же крутящим моментом имеет меньшее сопротивление. Поэтому для достаточной оценки сопротивляемости вала кручению применяют другой параметр – касательное напряжение τ .

Касательное напряжение учитывает величины крутящего момента M_k диаметра вала d , площади сечения (круга) $\pi d^2 / 4$

Формула касательного напряжения

$$\tau = \frac{M_k}{0,25 \cdot d \cdot \pi d^2 / 4} = \frac{M_k}{0,2 \cdot d^3} = H / m^2$$

Рабочие напряжения τ , возникающие в сечении вала при кручении не должны превышать допустимые $[\tau]$ для данного материала. Условие прочности выражается зависимостью

$$\tau \leq [\tau]$$

Для установления наиболее нагруженного участка вала постоянного сечения строят эпюру крутящего момента. При определении наиболее напряженного участка ступенчатого вала строят эпюру касательных напряжений.

Пример 2.2. Определить из условия прочности диаметр стального вала постоянного сечения, нагруженного вращающимися моментами M_1, M_2, M_3, M_4 , (рис 16) при угловой скорости $\omega = 101 / c$; $[\tau] = 30 H / mm^2$, мощности $P_1 = 90 кВт$, $P_2 = 60 кВт$, $P_3 = 30 кВт$,

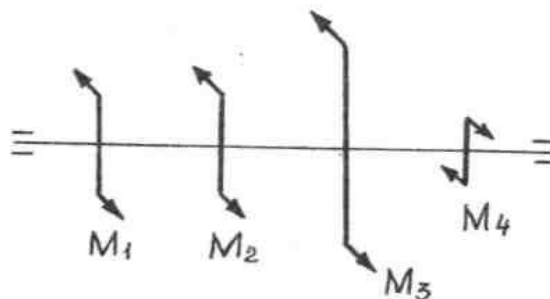


Рис. 16.

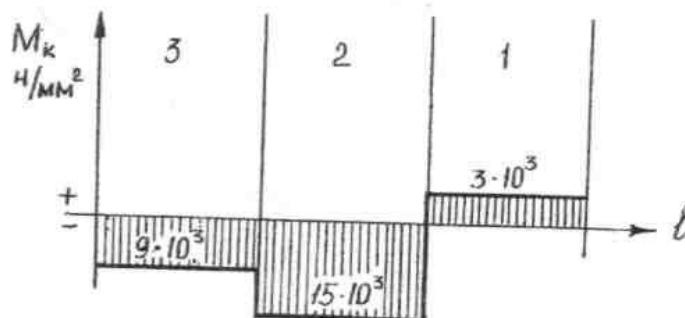


Рис.17

Решение

1. Разбиваем вал на три участка - по сечениям, в которых приложены вращающие моменты.

2. Находим вращающие моменты

$$P_1 = M_1 \cdot \omega, \text{ то } M_1 = P_1 / \omega = 90 \cdot 1000 / 10 = 9 \cdot 10^3 \text{ H} \cdot \text{м.}$$

$$M_2 = P_2 / \omega = 60 \cdot 1000 / 10 = 6 \cdot 10^3 \text{ H} \cdot \text{м.}$$

$$M_4 = P_4 / \omega = 30 \cdot 1000 / 10 = 3 \cdot 10^3 \text{ H} \cdot \text{м.}$$

Равномерное вращение обеспечивается условием

$$\sum M = 0; M_1 + M_2 - M_3 + M_4 = 0; \text{то}$$

$$M_3 = M_1 + M_2 + M_4 = (9 + 6 + 3) \cdot 10^3 = 18 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

3. В любом сечении участка 1 в условиях прочности должен быть крутящий момент $M_{\kappa 1}$, уравновешивающий внешние справа (или слева) от сечения.

$$\text{Справа} - M_{\kappa 1}'' - M_4 = 0; M_{\kappa 1}'' = M_4 = 3 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\text{Слева} M_{\kappa 1}'' - M_3 - M_1 - M_2 = 0; M_{\kappa 1}'' = -M_3 + M_1 + M_2 = -18 + 9 + 6 = -3 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Крутящие моменты равны, поэтому можно строить эпюру и справа и слева. Разные знаки крутящих моментов потому, что $M_{\kappa 1}''$ - это момент сопротивления левой части вала кручению правой, а $M_{\kappa 1}''$,- момент сопротивления правой стороны кручению левой.

Естественно, они равны и противоположно направлены. Крутящий момент на втором участке

$$M_{\kappa 2}'' - M_4 + M_3 = 0$$

$$M_{\kappa 2}'' = M_4 - M_3 = 3 \cdot 10^3 - 18 \cdot 10^3 = -15 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

На третьем участке

$$M_{\kappa 3}'' - M_4 + M_3 - M_2 = 0$$

$$M_{\kappa 3}'' = M_4 - M_3 + M_2 = 3 \cdot 10^3 - 18 \cdot 10^3 + 6 \cdot 10^3 = -9 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

4. Строим эпюру. На всех участках крутящий момент есть постоянная функция - он не зависит от длины вала.

Следовательно, эпюра - прямая параллельная оси l - на первом участке (рис. 17) ее координата $M_{\kappa} = 3 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$, на втором $M_{\kappa} = -15 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$, на третьем $M_{\kappa} = -9 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

5. Определяем диаметр вала для наиболее напряженного - второго участка.

$$\tau = \frac{M_{\kappa 2}''}{0,2d^3}, \text{ т.к при условии прочности } \tau = [\tau]$$

$$[\tau] = \frac{M_{\kappa 2}''}{0,2d^3}; d = \sqrt[3]{\frac{M_{\kappa 2}''}{0,2[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{15 \cdot 10^3 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 30}} = 1,6 \cdot 10^2 \text{ мм}$$

Задание 2.2

Определить диаметр стального вала постоянного сечения из условия прочности, приняв $[\tau] = 30 \text{ Н} / \text{мм}^2$

Исходные данные – в таблице 2.2

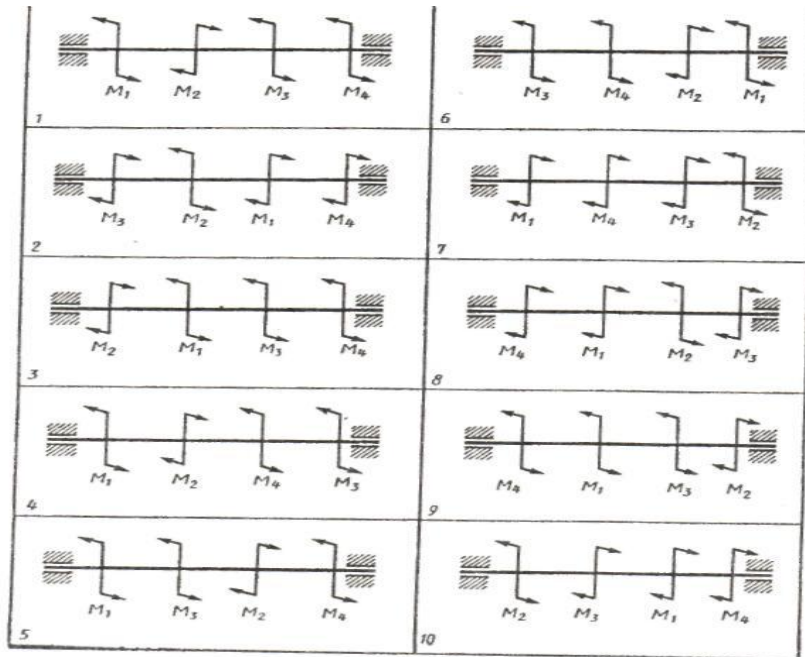


Рис. 18

Таблица 2.2

№ задачи; № схемы на рис. 18	Вариант	P_4 кВт	P_2 кВт	P_3 кВт	ω , рад/с	№ задачи; № схемы на рис. 18	Вариант	P_1 кВт	P_4 кВт	P_3 кВт	ω , рад/с
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	00	35	20	15	20	2	01	130	90	40	45
	12	150	100	50	45		13	100	65	25	35
	25	40	25	20	25		24	90	45	20	20
	30	110	60	30	35		33	120	30	30	20
	41	40	15	25	30		44	80	55	35	25
	52	75	40	15	20		55	110	50	40	20
	68	90	60	25	30		69	85	45	40	30
	71	65	35	20	25		70	72	54	36	18
	82	140	110	60	45		89	75	60	45	15
	99	120	80	40	35		98	120	40	20	20
3	02	15	10	35	16	4	03	60	40	20	20
	15	75	80	25	40		14	150	400	75	55
	27	55	65	25	20		26	95	70	45	35
	32	45	50	35	23		35	110	85	50	30
	43	80	65	45	30		46	130	90	55	40
	54	50	40	30	28		57	70	45	30	18
	66	70	60	40	25		67	85	50	25	20
	73	55	40	18	32		72	100	65	30	25
	85	65	55	35	35		88	90	70	35	25
91	40	30	30	16	90	140	110	50	35		
5	05	100	18	50	20	6	04	60	150	80	55
	17	50	15	25	18		16	45	100	60	30
	29	40	120	20	20		28	50	110	75	30
	34	100	80	65	25		37	20	85	35	20
	45	90	25	40	20		48	15	65	25	15
	56	30	100	25	30		59	35	90	45	20
	64	55	85	20	25		5	80	130	90	45
	75	110	20	60	15		74	25	80	40	18
	81	80	50	35	25		84	35	95	50	20
	93	95	45	20	18		92	45	20	60	30

7	07	18	35	40	10	8	06	20	50	30	10
	19	16	30	45	12		18	40	115	55	16
	21	20	35	100	25		20	65	140	80	35
	36	60	90	120	45		38	18	40	25	8
	47	35	50	80	40		49	70	150	95	40
	58	16	30	35	12		51	18	60	42	12
	62	80	100	150	50		63	20	65	38	10
	77	32	50	110	40		79	60	120	65	40
	80	24	38	55	18		87	30	100	45	15
	95	30	55	70	25		94	40	110	50	18
9	09	52	100	60	32	10	08	80	95	75	25
	11	30	80	45	15		10	75	120	90	30
	23	35	95	50	10		22	42	60	55	18
	39	50	120	65	20		31	35	75	40	20
	40	65	160	80	30		42	58	100	86	25
	50	75	150	95	30		53	50	130	95	30
	60	25	60	42	10		61	45	150	70	40
	76	42	75	50	15		78	32	50	42	14
	83	50	110	75	22		86	18	55	30	8
	97	24	50	38	9		96	16	35	20	7

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ 2.3

Поперечные силы, направленные через центр тяжести сечения балки, вызывают ее деформацию - прямой поперечный изгиб. У изогнутой выпуклостью вверх балки верхние волокна удлиняются, нижние сжимаются. Препятствует возникновению этих противоположных по направлению деформаций пара внутренних сил. Действие пары определяется параметром, называемым изгибающим моментом $M_{и}$.

При определении изгибающего момента в данном сечении балку представляют состоящей из двух частей: левой от сечения и правой. Тогда изгибающим моментом в сечении будет внутренний момент в сечении левой части $M_{ил}$, противодействующий и равный сумме моментов внешних сил правой части $M_{ил}$, наоборот, изгибающий момент - это момент правой части $M_{ин}$, противодействующий и равный сумме моментов внешних сил левой части $\sum M_{ил}$. Поскольку в данном сечении изгибающие моменты равны, но противоположны по направлению, это следует учесть при построении эпюры изгибающего момента. Таким образом

$$M_{ил} = \sum M_{н}; M_{ин} = -\sum M_{л}$$

Однако изгибающий момент недостаточно определяет напряженность балки. Более точно ее характеризует другой параметр действия внутренних сил - напряжение изгиба σ_u . Напряжение изгиба учитывает влияние изгибающего момента $M_{и}$, площадь сечения A и высоту сечения. Геометрические параметры: площадь $A = b \cdot h$ и высота h объединяются в один параметр - момент сопротивления W_x .

$$W_x = bh \cdot \frac{h}{\sigma}, \text{ м}^3, \text{ мм}^3, \text{ см}$$

где b - ширина прямоугольного сечения. Напряжение изгиба

$$\sigma_u = \frac{M_{и}}{W_x} \text{ Н / м}^2, \text{ Н / мм}^2$$

Проверочные и проектные расчеты обычно проводят для наиболее опасного сечения, в котором действует максимальный изгибающий момент M_u^{\max} . Опасное сечение находят построением эпюр изгибающего момента.

Пример 2.3. Для стальной балки, нагруженной (рис. 19), построить эпюру изгибающих моментов и подобрать сечение балки в двух вариантах: а) двутавр; б) квадрат. Определить

отношение массы балки квадратного сечения к массе балки двутаврового сечения.
Допускаемое напряжение на изгиб $[\sigma] = 130 \text{ МПа}$

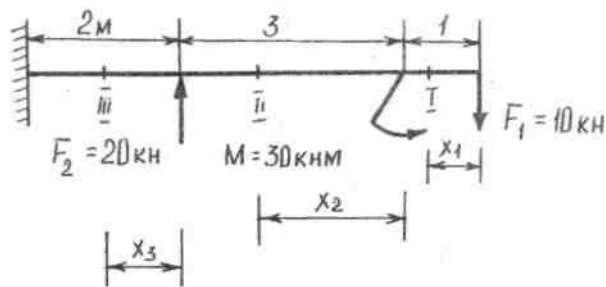


Рис. 19

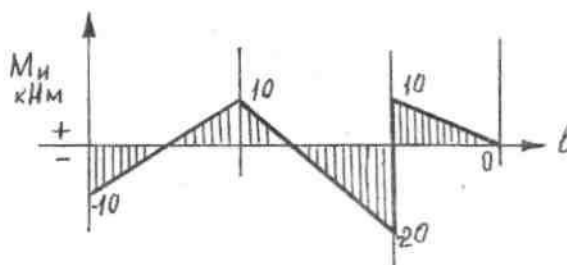


Рис. 20

Решение

1. Разбиваем балку на три участка по местам действий силовых факторов: F_1 , M_1 , F_2 (рис. 19).

Определяем изгибающий момент в сечении I на расстоянии x_1 (рис. 19)

$$M_{u1} = F_1 \cdot x_1; \text{при } x_1 = 0, M_{u1} = 0 \text{ при } x_1 = 1 \text{ м}; M_{u1} = 10 \cdot 1 = 10 \text{ кНм}$$

3. Изгибающий момент в сечении II на расстоянии от начала второго участка X_2 . Сечение делит балку на две части: левую от заделки до сечения II и правую - от сечения II до конца балки, длиной $X_2 + 1$.

$$M_{u2} = F_1(x_2 + 1) - M$$

при $x_2 = 0$; $M_{u2} = 10(0 + 1) - 30 = -20 \text{ кНм}$,

при $x_2 = 3$; $M_{u2} = 10(3 + 1) - 30 = 10 \text{ кНм}$.

4. Изгибающий момент в сечении III. Правая часть от сечения имеет длину: $X_3 + 3 + 1$.

$$M_{u3} = F_1(x_3 + 3 + 1) - M - F_2 \cdot x$$

при $x = 0$, $M_{u3} = 10(0 + 3 + 1) - 30 - 20 \cdot 0 = 10 \text{ кНм}$;

при $x = 2$, $M_{u3} = 10(2 + 3 + 1) - 30 - 20 \cdot 2 = -10 \text{ кНм}$.

Нанося полученные характерные точки на график и соединяя их прямыми линиями, получаем эпюру изгибающих моментов M_n (рис. 20).

5. Определяем момент сопротивления сечения в точке приложения пары M : здесь изгибающий момент имеет максимум: $M_n = 20 \text{ кНм}$. Имея в виду, что $\sigma = [\sigma]$

$$[\sigma] = \frac{M_u^{\max}}{W_x}; W_x = \frac{M_u^{\max}}{[\sigma]} = \frac{20 \cdot 1000 \cdot 1000}{160} = 125000 \text{ мм}^3$$

или $W_x = 125 \text{ см}^3$

5.1 По таблицам сортамента ГОСТ 8239-79 $W_x = 125 \text{ см}^3$ обеспечивает двутавр N 18 с $W_x = 143 \text{ см}^3$, $A = 23 \text{ см}^2$. (Приложение 1).

5.2 Сторона и площадь квадрата с $W_x = 143 \text{ см}^3$

$$W_x = h^3 / 6; h = \sqrt[3]{6W_x} = \sqrt[3]{6 \cdot 143} = 9,5 \text{ см} \quad A_2 = h^2 = 90,25 \text{ см}^2$$

5.3. Выигрыш в материале от применения двутаврового сечения

$$K = \frac{A_2}{A_1} = \frac{90,25}{23} = 3,9 \text{ раза}$$

Задание 2.3. Для стальной балки, нагруженной (рис. 21), построить эпюру изгибающих моментов и подобрать сечение балки в двух вариантах: двутавр и квадрат. Сравнить массы балок по двум расчетным вариантам. Для материала балки принять $[\sigma] = 160 \text{ Н/мм}^2$. Данные своего варианта взять из таблицы 2.3.

Таблица 2.3

№ схемы на рис. 21	Вариан т	$F_1, \text{кН}$	$F_2, \text{кН}$	$M, \text{кН}\cdot\text{м}$	№ схем ы на рис. 21	Вариан т	$F_1, \text{кН}$	$F_2, \text{кН}$	$M, \text{кН}\cdot\text{м}$
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	00	1	1	1	2	01	1,5	4	5
	13	2	1	4		15	2	1	6
	27	3	2	2		26	3	2	8
	33	4	2	6		32	2,5	3	4
	41	4	3	6		42	6	2	3
	59	5	4	4		1	5	1	6
	64	6	4	8		65	4	2	3
	73	7	5	6		77	8	1	2
	85	7	6	6		88	5	1,5	3
96	9	6	8	99	1	4	5		
3	02	6	1,5	4	4	03	2	5	7
	14	2	6	5		17	1	8	9
	29	5	1,5	6		28	3	6	10
	35	4	5	2,5		34	4	9	14
	49	7	2	4		40	2,5	10	16
	53	8	3	2		52	3	12	15
	62	6	2	10		63	5	7	20
	74	5	1,5	8		72	4	15	30
	82	2	4	1		86	3,5	20	25
98	2,5	3	5	91	6	7	35		
5	05	2	6	10	6	04	5	2	10
	16	4	3	12		19	6	1	16
	21	8	1	20		20	8	1	8
	37	6	3	15		36	5	2	12
	44	4	5	25		43	6	3	15
	50	6	2	18		54	4	5	20
	60	1	8	30		61	6	2	25
	70	6	5	16		78	4	5	30
	83	3	6	32		89	1	6	32
90	2	1	14	93	10	2	40		

продолжение таблицы 2.3

7	07	1	1,5	5	8	06	2	10	8
	18	1,5	2,5	4		11	3	8	10
	23	3	1	5		22	4	5	12
	38	8	0,5	2		30	6	2	16
	46	3,5	2	6		45	3	5	15
	55	5	1	2		56	2	4	20
	67	2	1	6		66	1	2	30
	79	3	1,5	8		75	2	5	40
	81	4	2	10		84	6	2	35
	92	5	2,5	15		95	10	4	14
9	48	6	1	8	10	47	1	5	8
	57	8	2	12		58	6	3	4
	69	3	5	14		68	2,5	4	1
	76	1	5	25		71	1,5	3	5
	80	8	4	30		87	4	2	3
	94	3	6	15		97	8	2,5	7
	09	5	4	7		08	2	3	5
	10	3	2	9		12	5	1,5	2
	25	5	2	10		24	3	2	6
	31	2	3	20		39	4	1	10

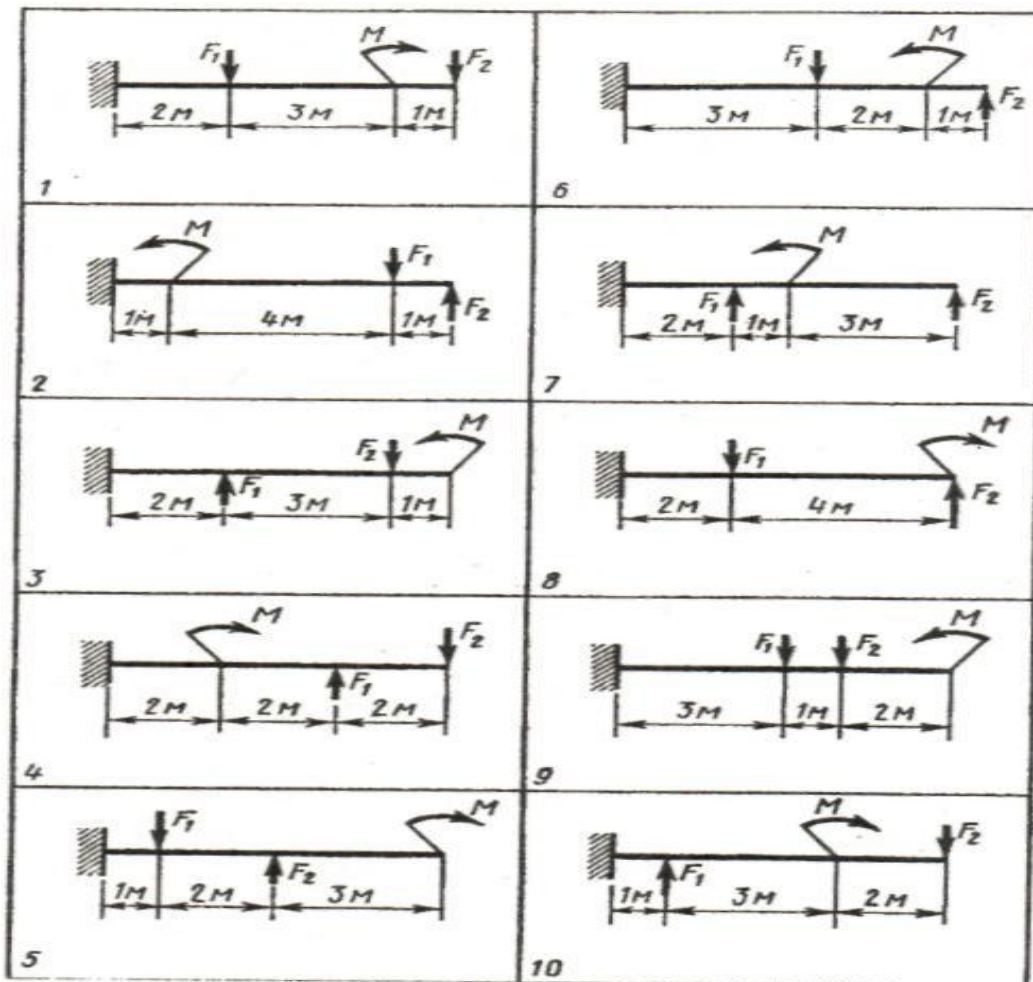


Рис.21

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ 2.4

Редукторы служат для передачи движения от двигателя к производственной машине и изменения при этом угловой скорости вращающего момента.

Кроме этого редукторы изменяют направление вращения, плоскость вращения, частоту вращения, вращающий момент. Движение и нагрузка, измеряемое мощностью, передаются неполностью,

Часть мощности затрачивается на создание вынужденных видов движения деформаций деталей передач, соединений, вспомогательных деталей (валов, корпуса и др.). смазки и преодоления сопротивлений деформированных деталей. Потери мощности учитываются коэффициентом полезного действия η , который зависит у обкатанного редуктора от количества деталей, их размеров, теплового режима, количества смазки.

Для выполнения основного назначения - передачи и изменения вращения и полезных усилий, а также для уменьшения вынужденных, возникающих в редукторе движений, усилий редуктор собирается из деталей передач, деталей соединений, вспомогательных деталей. Имея чертеж редуктора, можно точно установить все виды его деталей, их форму, размеры, назначение, а отсюда и механические параметры всей системы редуктора.

Пример 2.4. Определить форму, относительные размеры, назначение деталей группы ведущего вала редуктора, назначение редуктора (рис. 22). Определить КПД редуктора, передаточное число.

Решение

В корпусе редуктора установлено три вала. Из них: один - меньшего диаметра, быстроходный ведущий; второй - большого диаметра, промежуточный; третий - наибольшего диаметра, ведомый рабочий (наиболее нагруженный).

Ведущий вал имеет следующие элементы: резьбовой наконечник для крепления гайкой детали привода; конус со шпоночной канавкой для установки детали привода; шип - цилиндр для установки уплотнения и подшипника; цилиндрическая проточка - переход утолщения; зубья косозубой шестерни (выполнены заодно с валом); цилиндр; проточка; шип второго подшипника.

Ведущий вал воспринимает усилие и движение от привода и зубьями передает его зубчатому колесу промежуточного вала. Вал подвергается упругой деформации - кручению от двух вращательных моментов: момента детали привода и момента шестерни; деформации изгиба от действия промежуточного зубчатого колеса; осевому действию косых зубьев колес.

Прочность вала обеспечивается его размерами и материалом. Вал передает осевые и поперечные нагрузки на шариковые подшипники качения.

На шипах ведущего вала установлены шариковые подшипники, воспринимающие внутренними кольцами осевую и радиальную нагрузку. Осевая передается через шарики внешнему кольцу и далее упорной шайбе. Таким образом, подшипники жестко крепятся между заплечиками вала и шайбой.

Подшипники закрыты с обеих сторон крышками, закрепленными в корпусе цилиндрическими выступами. Крышки воспринимают от шайб и передают осевое усилие на корпус. В крышке имеется проточка для установки уплотнения.

На промежуточном вале установлено два косозубых зубчатых колеса. Одно воспринимает движение и усилие шестерни ведущего вала, другое передает его на колесо рабочего вала. Диаметр зубчатых колес увеличивается от первого до четвертого. Относительные размеры колес: $d_1 = 11 \text{ мм}$, $d_2 = 39 \text{ мм}$, $d_3 = 14 \text{ мм}$, $d_4 = 53 \text{ мм}$ (измерения, рис. 22). Передаточное число редуктора.

$$u = \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{d_4}{d_3} = \frac{39}{11} \cdot \frac{53}{14} = 13.4$$

Редуктор уменьшает частоту вращения и увеличивает вращающий момент в 13,4 раза.

В редукторе три пары подшипников ($\eta_n = 0,99$), два зацепления ($\eta_3 = 0,98$). Потери мощности при работе.

$$1 - \eta = 1 - \eta_n^3 \cdot \eta_3^2 = 0,07 \text{ от всей принятой ведущим валом.}$$

Направление вращения, плоскость вращения редуктор не изменяет.

Задание 2.4. Определить форму, относительные размеры назначение деталей группы одного из валов редуктора, назначение редуктора, кпд, передаточное число. Данные взять из таблицы 2.4.

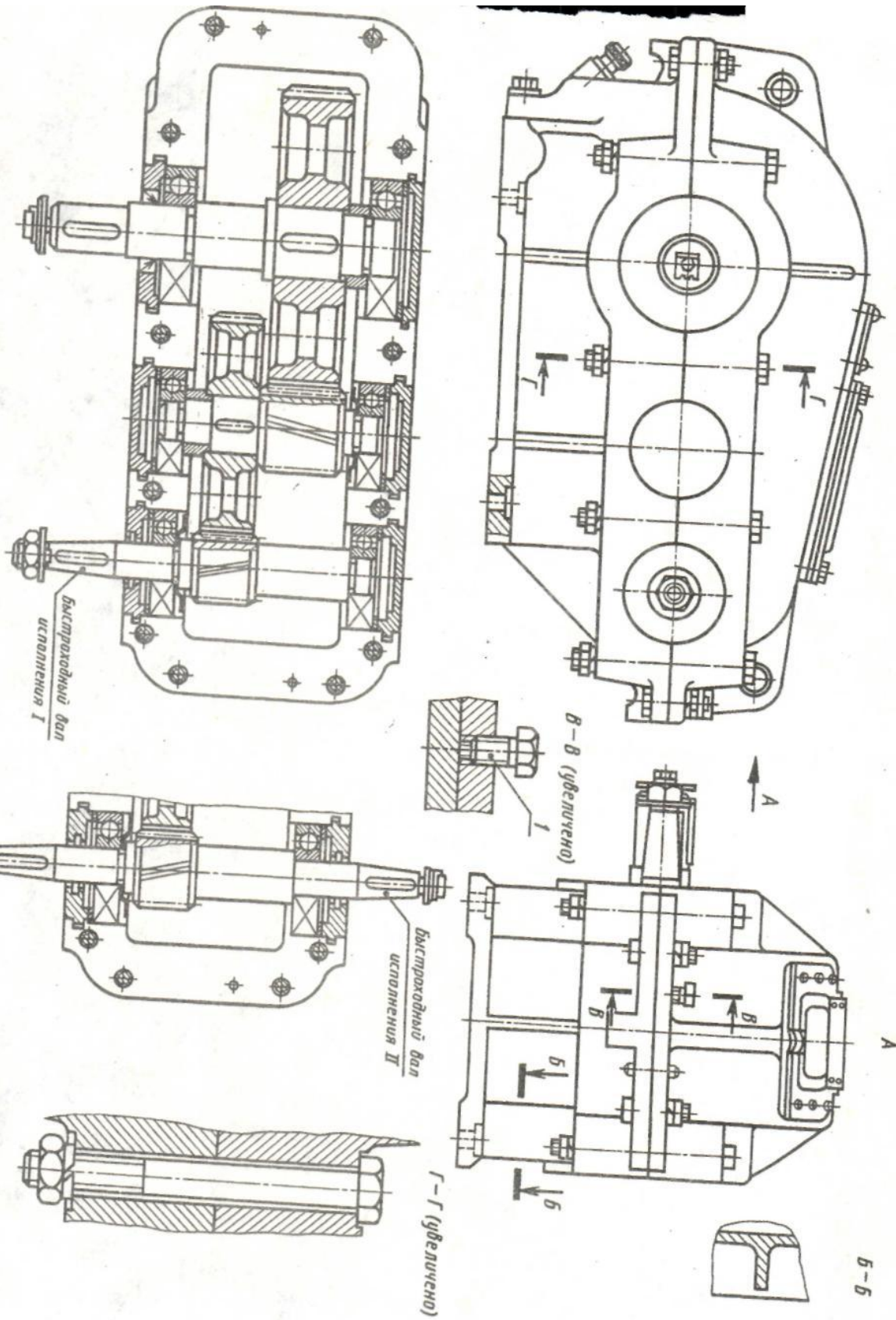
Таблица 2.4

№ РИСУНКА										ВАЛ
23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
ВАРИАНТ										
00	01	03	04	05		6	07	08	09	ведущий
10	11	13	14	15		16	17	18	19	промежуточный
20	21	23	24	25		26	27	28	29	ведомый
30	31	33	34	35		36	37	38	39	ведомый
40	41	43	44	45		46	47	48	49	промежуточный
50	51	53	54	55		56	57	58	59	ведомый
60	61	63	64	65		66	67	68	69	ведомый
70	71	73	74	75		76	77	78	79	ведущий
80	81	83	84	85		86	87	88	89	ведущий
90	91	93	94	95		96	97	98	99	промежуточный

Приложение

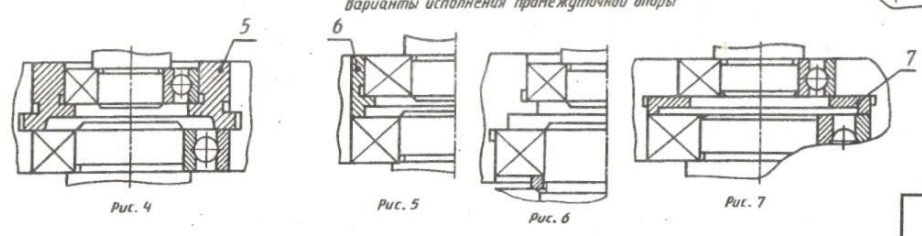
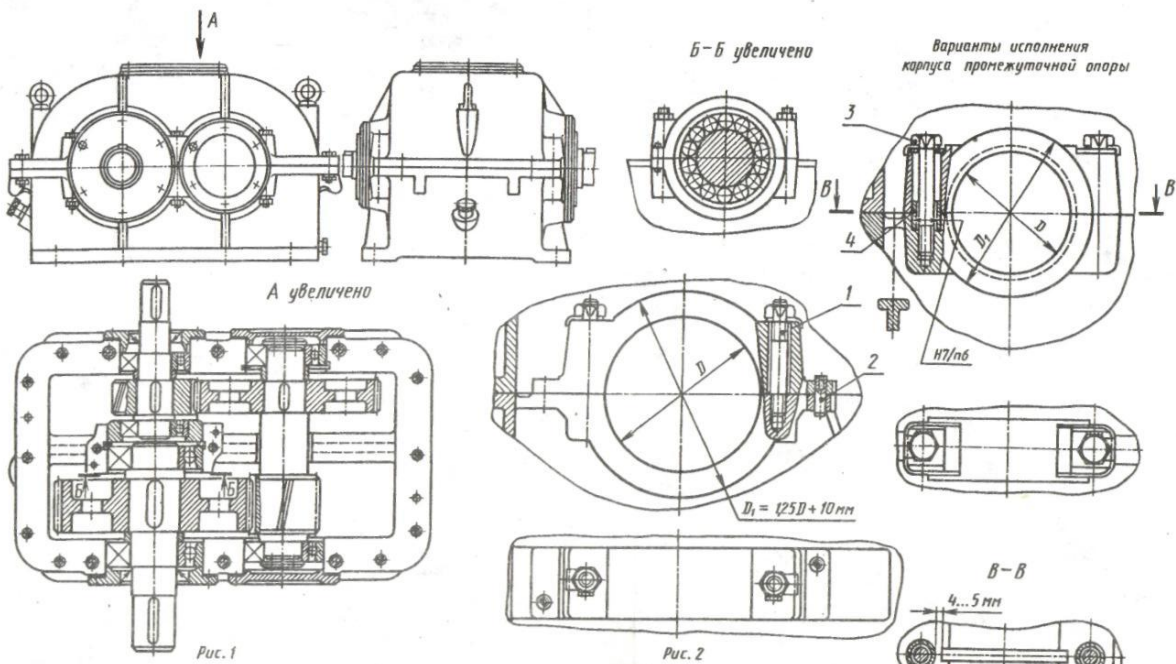
№ балки	Размер, мм				Площадь сечения, см ²	Масса 1м, кг	Справочные величины для осей						
	h	b	s	t			J _x см ⁴	W _x см ³	i _x см ³	S _x см ³	J _y см ³	W _y см ³	I _y см ³
10	100	55	4,5	7,2	12,0	9,46	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	14,7	11,50	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	17,4	13,70	572	81,7	5,73	46,3	41,9	11,50	1,55
16	160	81	5,0	7,8	20,2	15,90	873	109,0	6,57	62,3	58,6	14,50	1,70
18	180	90	5,1	8,1	23,4	18,40	1290	143,0	7,42	81,4	82,6	18,40	1,88
20	200	100	5,2	8,4	26,8	21,00	1840	184,0	8,28	104,0	115,0	23,10	2,07
22	220	110	5,4	8,7	30,6	24,00	2550	232,0	9,13	131,0	157,0	28,60	2,27
2	240	115	5,6	9,5	34,8	27,30	3460	289,0	9,97	163,0	198,0	34,50	2,37
27	270	125	6,0	9,0	40,2	31,50	5010	371,0	11,20	210,0	260,0	41,50	2,54
30	300	135	6,5	10,2	46,5	36,50	7080	472,0	12,30	268,0	337,0	49,90	2,69
33	330	140	7,0	11,2	53,8	42,20	9840	597,0	13,50	339,0	419,0	59,90	2,79
36	360	145	7,5	12,3	61,9	48,60	13380	743,0	14,70	423,0	516,0	71,10	2,89
40	400	155	8,3	13,0	72,6	57,00	19062	953,0	16,20	545,0	667,0	86,10	3,08
45	450	160	9,0	14,2	84,7	66,50	27696	1231,0	18,10	708,0	808,0	101,00	3,09
50	500	170	10,0	15,2	100,0	78,50	39727	1589,0	19,90	919,0	1043,0	123,00	3,23
55	550	180	11,0	16,5	118,0	92,60	55962	2035,0	21,80	1181,0	1356,0	151,00	3,39
60	600	190	12,0	17,8	138,0	108,00	76806	2560,0	23,60	1491,0	1725,0	182,00	3,54

№ швеллера	Размер, мм				Площадь сечения, см ²	Масса 1м, кг	Справочные величины для осей						
	h	b	s	t			J _x см ⁴	W _x см ³	i _x см ³	S _x см ³	J _y см ³	W _y см ³	I _y см ³
5	50	32	4,4	7,0	6,16	4,84	22,8	9,1	1,92	5,59	2,75	0,95	1,16
6,5	65	36	4,4	7,2	7,51	5,90	48,6	15,0	2,54	9,00	3,63	1,08	1,24
8	80	40	4,5	7,4	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	13,30	4,75	1,19	1,31
10	100	46	4,5	7,4	10,90	8,59	174,0	34,8	3,99	20,40	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	7,8	13,30	10,40	304,0	50,6	4,78	29,60	8,52	1,53	1,54
14	140	58	4,9	8,1	15,60	12,30	491,0	70,2	5,60	40,80	11,00	1,70	1,67
16	160	64	5,0	8,4	18,10	14,20	747,0	93,4	6,42	54,10	18,80	1,87	1,80
18	180	70	5,1	8,7	20,70	16,30	1090,0	121,0	7,24	69,80	17,00	2,04	1,94
20	200	76	5,2	9,0	23,40	18,40	1520,0	152,0	8,07	87,80	20,50	2,220	2,07
22	220	82	5,4	9,5	26,70	21,00	2110,0	192,0	8,89	110,00	25,10	2,37	2,21
24	240	90	5,6	1,0	30,60	24,00	2900,0	242,0	9,73	139,00	31,60	2,60	2,42
27	270	95	6,0	10,5	35,20	27,70	4160,0	308,0	10,90	178,00	37,30	2,73	2,47
30	300	100	6,5	11,0	40,50	31,80	5810,0	387,0	12,00	224,00	43,60	2,84	2,52
33	330	105	7,0	11,7	46,50	36,50	7980,0	484,0	13,10	281,00	51,80	2,97	2,59
36	360	110	7,5	12,6	53,40	41,90	10820,0	601,0	14,20	350,00	61,70	3,10	2,68
40	400	115	8,0	13,5	61,50	48,30	15220,0	761,0	15,70	444,00	73,40	3,23	2,75



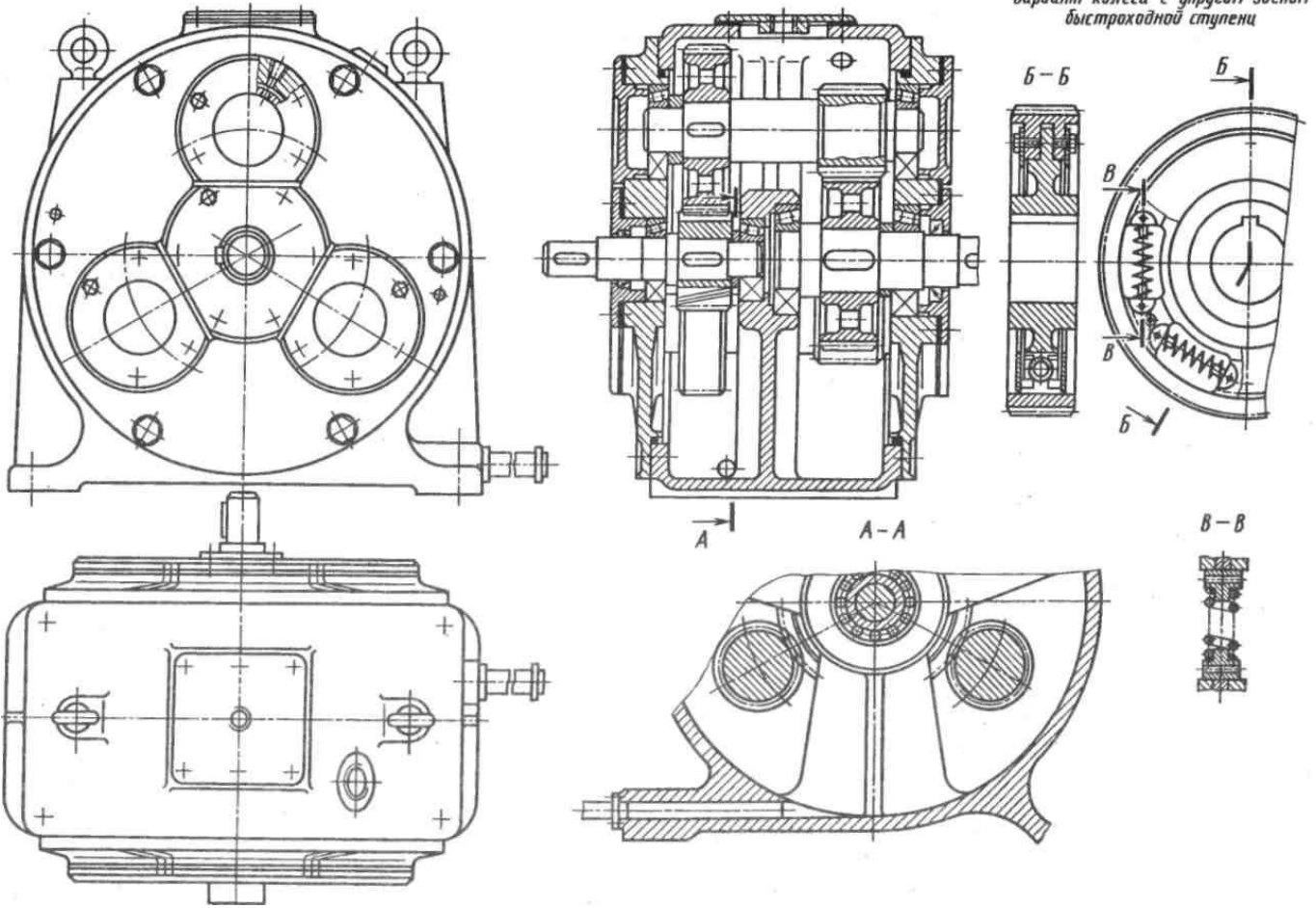
Редуктор
 двухступенчатый

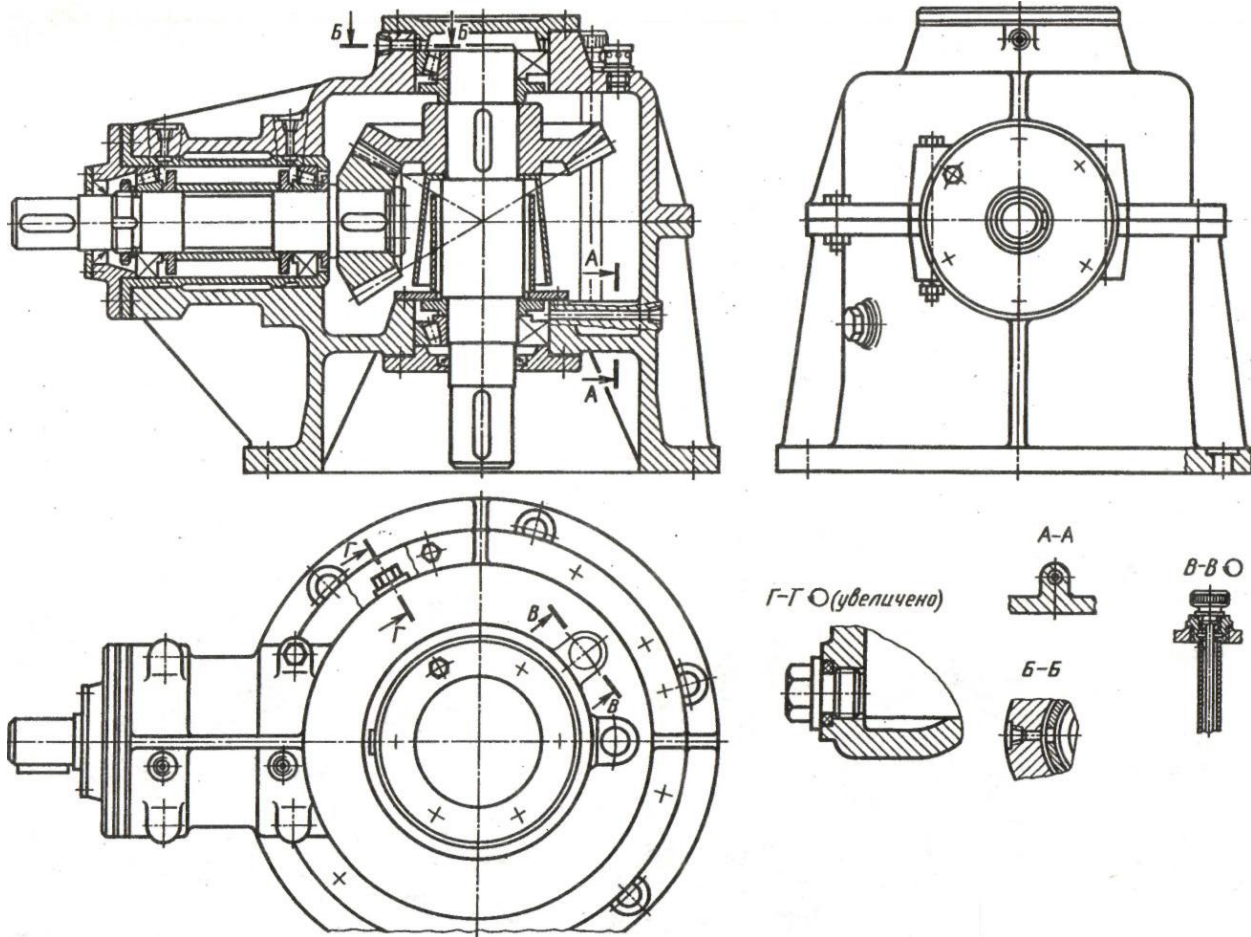
Рис. 22

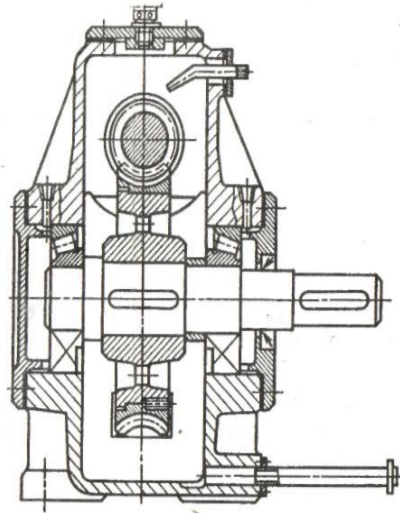
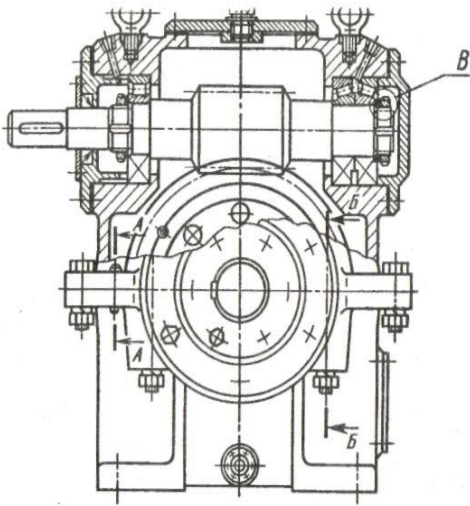


Редуктор двухступенчатый соосный	Рис. 2:
-------------------------------------	---------

Вариант колеса с упругим звеном
быстрходной ступени



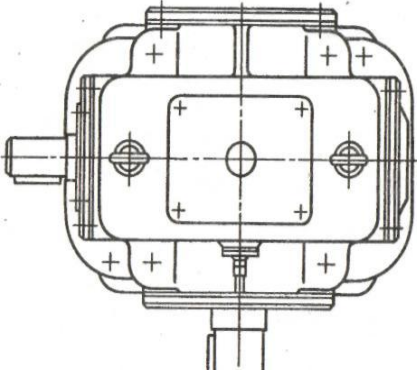
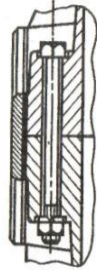




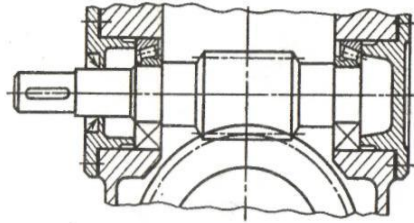
A-A



B-B



Вариант опор червячного вала



В(увеличено)



