

# **ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

дисциплины ОП.07 «Техническая механика»

Специальность  
21.02.01 Разработка нефтяных и газовых месторождений

Квалификация  
техник-технолог

Форма обучения  
очная

Бузулук 2024

## Содержание

- 1 Паспорт фонда оценочных средств
  - 1.1 Область применения
  - 1.2 Результаты освоения дисциплины, подлежащие контролю
  - 1.3 Система контроля и оценки освоения программы дисциплины
- 2 Фонд оценочных средств для оценки уровня освоения умений и знаний по дисциплине
  - 2.1 Материалы текущего контроля успеваемости
  - 2.2 Материалы промежуточной аттестации

# 1 Паспорт фонда оценочных средств

## 1.1 Область применения

Фонд оценочных средств предназначен для проверки результатов освоения дисциплины ОП.07 «Техническая механика» программы подготовки специалистов среднего звена по специальности 21.02.01 Разработка нефтяных и газовых месторождений.

ФОС включает контрольные материалы для проведения текущего контроля, промежуточной аттестации в форме дифференцированного зачета.

Итогом дифференцированного зачета является оценка в баллах:

5 – отлично;

4 – хорошо;

3 – удовлетворительно;

2 - неудовлетворительно.

ФОС позволяет оценивать уровень освоения знаний и умений по дисциплине.

## 1.2 Результаты освоения дисциплины, подлежащие контролю

В результате контроля и оценки по дисциплине осуществляется комплексная проверка следующих знаний и умений по показателям:

Таблица

Результаты обучения	Показатели оценки результата	Формируемые общие и профессиональные компетенции
У1 - определять напряжения в конструктивных элементах	грамотное определение напряжения в конструктивных элементах	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ПК 1.1- 1.5 ПК 2.2
У2 – определять передаточное отношение	грамотное определять передаточное число	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ПК 2.1, ПК 2.2
У3 – проводить расчет и проектировать детали и сборочные единицы общего назначения	грамотно рассчитывать и проектировать детали и сборочные единицы общего назначения	ОК1., ОК3., ОК4., ОК.6., ОК9., ПК 2.2, ПК 2.3
У4 – проводить сборочно- разборочные работы в соответствии с характером соединений деталей и сборочных единиц	грамотно проводить сборочно-разборочные работы в соответствии с характером соединений деталей и сборочных единиц	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ПК 3.1 – 3.3
У5 – производить	грамотно производить	ОК 01, ОК 02, ОК 04,

расчеты на сжатие, срез и смятие	расчеты на сжатие, срез и смятие	ПК 2.1, ПК 2.2
У6 – производить расчеты элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость	грамотно производить расчеты элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ПК 2.2
У7 – собирать конструкции из деталей по чертежам и схемам	грамотно собирать конструкции из деталей по чертежам и схемам	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ПК 5.1 – 5.2
У8 – читать кинематические схемы	грамотно читать кинематические схемы	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ПК 2.1, ПК 2.2
31- виды движений и преобразующие движения механизмы	объяснение видов движений и преобразующие движения механизмы	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ПК 4.1 – 4.4
32 – виды износа и деформаций деталей и узлов	объяснение износа и деформаций деталей узлов	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ПК 2.1, ПК 2.2
33 – виды передач, их устройство, назначение, преимущества и недостатки, условные обозначения на схемах	объяснение видов передач, их устройство, назначение, преимущества и недостатки, условные обозначения на схемах	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ПК 3.1 – 3.3
34 – кинематику механизмов, соединения деталей машин, механические передачи, виды и устройство передач	объяснение кинематики механизмов, соединений деталей машин, механических передачи, видов и устройства передач	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ПК 2.2
35 – методику расчета конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при различных видах деформации	объяснение методики расчета конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при различных видах деформации	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ПК 2.1, ПК 2.2
36 – методику расчета на сжатие, срез и смятие	объяснение методики расчета на сжатие, срез и смятие	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ПК 1.1, ПК 1.3
37 – назначение и классификацию подшипников	объяснение назначения и классификации подшипников	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ПК 1.3
38 – характер	объяснение характера	ОК 01, ОК 02, ОК 04,

соединения основных сборочных единиц и деталей	соединения основных сборочных единиц и деталей	ПК 1.2, ПК 1.3
39 – основные типы смазочных устройств	объяснение основных видов смазочных устройств	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ПК 1.1 – 1.5
310 – типы, назначение, устройство редукторов	объяснение типов, назначения и устройства редуктора	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ПК 2.2
311 – трение, его виды, роль трения в технике	объяснение трения, его видов, роль трения в технике	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ПК 4.1 – 4.4, ПК 1.3
312 – устройство и назначение инструментов и контрольно-измерительных приборов, используемых при техническом обслуживании и ремонте оборудования	объяснения устройства и назначения инструментов и контрольно-измерительных приборов, используемых при техническом обслуживании и ремонте оборудования	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ПК 1.1 – 1.5, ПК 2.1 – 2.2

### **1.3 Система контроля и оценки освоения программы дисциплины**

#### **1.3.1 Организация контроля и оценки освоения программы дисциплины**

Основными формами проведения текущего контроля успеваемости на занятиях являются: устный опрос, наблюдение на практических занятиях, собеседование по выполненным индивидуальным графическим работам.

Дифференцированный зачет проводится в сроки, установленные учебным планом, и определяемые календарным учебным графиком образовательного процесса, в форме собеседования по выполненным индивидуальным графическим работам.

### **2. Фонд оценочных средств для оценки уровня освоения умений и знаний по дисциплине**

#### **2.1 Материалы текущего контроля успеваемости**

*Материал выполнения практических работ* изложен в методических указаниях по выполнению практических работ по дисциплине ОП.07 «Техническая механика» специальности 21.02.01 Разработка нефтяных и газовых месторождений.

1. Статика – это раздел теоретической механики, который изучает:
  1. механическое движение материальных твердых тел и их взаимодействие.
  2. **условия равновесия тел под действием сил.**
  3. движение тел как перемещение в пространстве; характеристики тел и причины, вызывающие движение, не рассматриваются.
  4. движение тел под действием сил.
  
2. Сила – это:
  1. **векторная величина, характеризующая механическое взаимодействие тел между собой.**
  2. скалярная величина, характеризующая механическое взаимодействие тел между собой.
  3. векторная величина, характеризующая динамическое взаимодействие тел между собой.
  4. скалярная величина, характеризующая динамическое взаимодействие тел между собой.
  
3. Единицей измерения силы является:
  1. 1 Дж
  2. 1 Па
  3. **1 Н**
  4. 1 кг
  
4. ЛДС силы – это:
  1. прямая, перпендикулярно которой расположена сила
  2. **прямая, на которой лежит сила**
  3. луч, на котором лежит сила
  4. луч, указывающий направление движения силы
  
5. Абсолютно твёрдое тело – это:
  1. физическое тело, размерами которого можно пренебречь, по сравнению с расстоянием на котором оно находится
  2. условно принятое тело, размерами которого можно пренебречь, по сравнению с расстоянием на котором оно находится
  3. физическое тело, которое не подвержено деформации
  4. **условно принятое тело, которое не подвержено деформации**
  
6. Материальная точка - это:
  1. физическое тело, размерами которого можно пренебречь, по сравнению с расстоянием на котором оно находится
  2. **условно принятое тело, размерами которого можно пренебречь, по сравнению с расстоянием на котором оно находится**
  3. физическое тело, которое не подвержено деформации

4. условно принятое тело, которое не подвержено деформации

7. Равнодействующая сила – это:

1. **такая сила, которое оказывает на тело такое же действие, как и все силы воздействующие на тело вместе взятые.**
2. такая сила, которое оказывает на тело такое же действие, как и каждая из сил воздействующих на тело.
3. такая система сил, которое оказывает на тело такое же действие, как и все силы воздействующие на тело вместе взятые.
4. такая система сил, которое оказывает на тело такое же действие, как и каждая из сил воздействующих на тело.

8. Уравновешивающая сила равна:

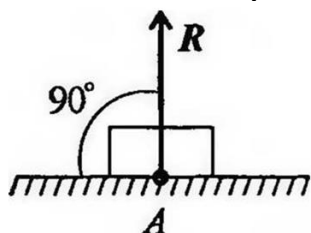
1. по величине равнодействующей силе, но лежит на другой ЛДС.
2. по величине равнодействующей силе, лежит на другой ЛДС, но направлена в противоположную сторону.
3. **по величине равнодействующей силе, лежит с ней на одной ЛДС, но направлена в противоположную сторону.**
4. по величине и направлению равнодействующей силе, лежит с ней на одной ЛДС.

9. По формуле  $\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 * F_1 * F_2 * \cos \alpha}$  определяют:

1. величину уравновешивающей силы, от двух сил действующих на одно тело.
2. величину равнодействующей силе, от двух сил действующих на два разных тела.
3. величину уравновешивающей силы, от двух сил действующих из одной точки на одно тело.
4. **величину равнодействующей силе, от двух сил действующих из одной точки на одно тело.**

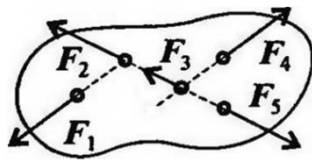
10. Тела, ограничивающие перемещение других тел, называют:

1. реакциями
2. опорами
3. **связями**
4. поверхностями



11. На рисунке представлен данный вид связи:

1. в виде шероховатой поверхности
2. в виде гибкой связи
3. **в виде гладкой поверхности**
4. в виде жесткой связи



12. При условии, что  $F_1 = -|F_4|$ ,  $F_2 = -|F_5|$ ,  $F_3 \neq -|F_5|$ , эти силы системы можно убрать, не нарушая механического состояния тела:

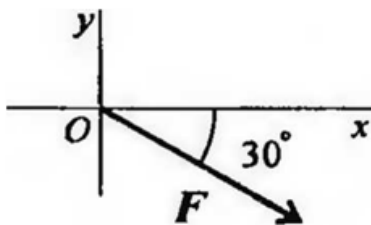
- a.  $F_1$  и  $F_3$
- b.  $F_2$  и  $F_5$
- c.  $F_1$  и  $F_4$
- d.  $F_3$  и  $F_5$

13. Плоской системой сходящихся сил называется:

1. система сил, действующих на одно тело, ЛДС которых имеют одну общую точку.
2. система сил, действующих на разные тела, ЛДС которых имеют одну общую точку.
3. система сил, действующих на разные тела, ЛДС которых не имеют общих точек.
4. система сил, действующих на одно тело, ЛДС которых не имеют общих точек.

14. Определение равнодействующей в плоской системе сходящихся сил графическим способом заключается в построении:

1. силового многоугольника
2. силового неравенства
3. проекций всех сил на оси координат X и Y
4. круговорота внутренних и внешних сил



1. Выражение для расчета проекции силы  $F$  на ось  $Oy$  для рисунка:

1.  $F_y = -F \cdot \cos 30^\circ$
2.  $F_y = F \cdot \cos 60^\circ$
3.  $F_y = -F \cdot \sin 30^\circ$
4.  $F_y = -F \cdot \sin 60^\circ$

15. Пара сил оказывает на тело:

1. отрицательное действие
2. положительное действие
3. **вращающее действие**
4. изгибающее действие

16. Моментом силы относительно точки называется:

1. произведение всех сил системы
2. **произведение силы на плечо**
3. отношение силы к расстоянию до точки
4. отношение расстояния до точки к величине силы

17. Единицей измерения момента является:



1. Н/м
2. **Н\*м**
3. Па
4. Н



18. Определите для рисунка, чему будет равен момент пары сил:

1. **12 Нм**
2. 7 Нм
3. - 12 Нм
4. - 7 Нм

19. Единицей измерения сосредоточенной силы является:

1. **Н**
2. Нм
3. Н/м
4. Па

20. Единицей измерения распределённой силы является:

1. Н
2. Нм
3. **Н/м**
4. Па

21. Опора допускает поворот вокруг шарнира и перемещение вдоль опорной поверхности. Реакция направлена перпендикулярно опорной поверхности:

1. шарнирная опора
2. **шарнирно-подвижная опора**
3. шарнирно-неподвижная опора
4. защемление

22. Опора допускает поворот вокруг шарнира и может быть заменена двумя составляющими силы вдоль осей координат:

1. шарнирная опора
2. шарнирно-подвижная опора
3. **шарнирно-неподвижная опора**
4. защемление

23. Опора не допускает поворот вокруг шарнира и может быть заменена двумя составляющими силы вдоль осей координат:

1. шарнирная опора
2. шарнирно-подвижная опора
3. шарнирно-неподвижная опора
4. **защемление**

24. Пространственная система сил — это:

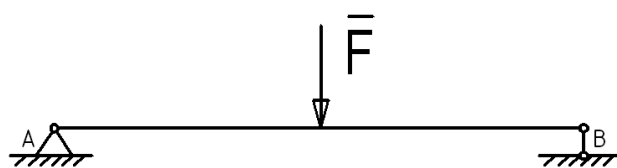
1. система сил, линии действия которых лежат в одной плоскости.
2. **система сил, линии действия которых не лежат в одной плоскости.**
3. система сил, линии действия которых перпендикулярны плоскости.
4. система сил, линии действия которых параллельны плоскости.

25. Центр тяжести параллелепипеда находится:

1. на одной из граней фигуры
2. на середине низовой грани фигуры
3. **на пересечении диагоналей фигуры**
4. на середине перпендикуляра, опущенного из середины верхней грани фигуры

26. Центр тяжести конуса находится:

1. на одной из граней фигуры
2. на середине низовой грани фигуры



середины верхней грани фигуры

3. **на  $1/3$  высоты от основания фигуры**
4. на середине перпендикуляра, опущенного из

27. Реакции опор  $R_A$  и  $R_B$  в данной балке:

1. численно равны и равны по модулю
2. численно равны, но не равны по модулю
3.  $R_A = R_B \cdot 2$  раза
4.  $R_A = R_B \cdot 2$  раза

28. Кинематика – это раздел теоретической механики, который изучает:

1. механическое движение материальных твердых тел и их взаимодействие.
2. условия равновесия тел под действием сил.
3. **движение тел как перемещение в пространстве; характеристики тел и причины, вызывающие движение, не рассматриваются.**
4. движение тел под действием сил.

29. Динамика – это раздел теоретической механики, который изучает:

1. механическое движение материальных твердых тел и их взаимодействие.

2. условия равновесия тел под действием сил.
3. движение тел как перемещение в пространстве; характеристики тел и причины, вызывающие движение, не рассматриваются.
4. **движение тел под действием сил.**

30. Статика – это раздел теоретической механики, который изучает:

1. **общие законы равновесия материальных точек и твердых тел и их взаимодействие.**
2. условия равновесия тел под действием внутренних сил.
3. равновесие тел как перемещение в пространстве; характеристики тел и причины, вызывающие движение, не рассматриваются.
4. движение тел под действием сил.

31. Сила – это:

1. **векторная величина, характеризующая механическое взаимодействие тел между собой.**
2. векторная величина, характеризующая механическое взаимодействие сил между собой.
3. векторная величина, характеризующая динамическое взаимодействие сил между собой.
4. скалярная величина, характеризующая динамическое взаимодействие сил между собой.

32. Система сил– это:

1. **Совокупность всех векторных величин, действующих на одно тело.**
2. Совокупность всех скалярных величин, действующих на соседние тела.
3. Совокупность всех векторных величин, действующих на соседние тела.
4. Совокупность всех скалярных величин, действующих на одно тело.

33.  $F_{\Sigma}$ – это обозначение:

1. внешней силы, воздействующей на тело.
2. проекции силы на ось координат.
3. уравновешивающей силы.
4. **равнодействующей силы.**

34. Величину равнодействующей силы, от двух сил действующих из одной точки на одно тело определяют по формуле:

1.  $\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 * F_1 * F_2 * \cos \alpha}$
2.  $\sqrt{F_2^2 + F_1^2 + 2 * F_1 * F_2 * \cos \alpha}$  \*\*\*\*\*

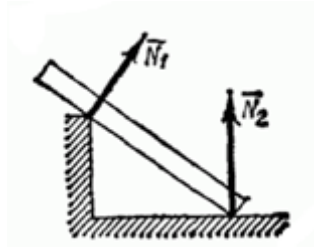
3.  $\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha}$
4.  $\sqrt{F_2^2 + F_1^2 + 2F_1F_2\cos\alpha}$

35. Связь – это:

1. тело, движению которого ничего не препятствует.
2. опора, которая препятствует движению других тел.
3. **тело, которое препятствует движению других тел.**
4. поверхность, которая препятствует движению других тел.

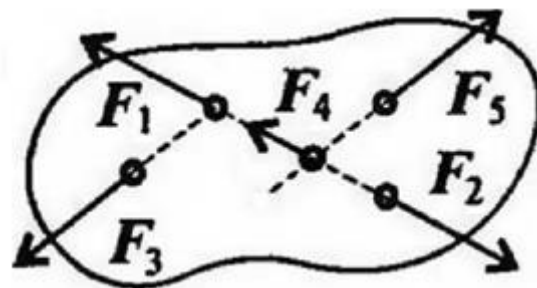
36. На рисунке представлен данный вид связи:

1. в виде наклонной поверхности
2. в виде точечной опоры относительно бруса
3. в виде точечной опоры на гладкой поверхности
4. **в виде ребра двухгранного угла**



37. При условии, что  $F_1 = -|F_2|$ ,  $F_3 = -|F_5|$ ,  $F_4 \neq -|F_2|$ , эти силы системы можно убрать, не нарушая механического состояния тела:

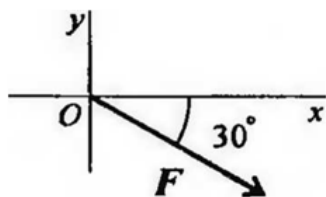
1.  $F_1$  и  $F_3$
2.  $F_2$  и  $F_4$
3.  **$F_1$  и  $F_2$**
4.  $F_3$  и  $F_5$



38. Если определённая равнодействующая сила при графическом сложении векторов в плоской системе сходящихся сил, оказалась равна нулю, то это будет означать:

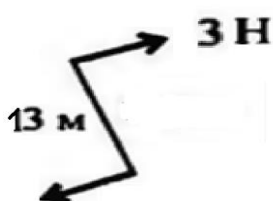
- a. что данное тело не испытывает нагрузок.
- b. **что данное тело не движется.**

- c. что данное тело движется по линии действия уравнивающей силы.
- d. что данное тело не испытывает излишней нагрузки.



39. Выражение для расчета проекции силы  $F$  на ось  $Ox$  для рисунка:

- 1.  $F_x = -F \cdot \cos 30^\circ$
- 2.  $F_x = F \cdot \cos 60^\circ$
- 3.  $F_x = -F \cdot \sin 30^\circ$
- 4.  $F_x = F \cdot \sin 60^\circ$



40. Определите для рисунка, чему будет равен момент пары сил:

- 1. 39 Нм
- 2. 16 Нм
- 3. **-39 Нм**
- 4. -16 Нм
- 5. на пересечении медиан фигуры

41. Центр тяжести у ромба находится:

- 1. на пересечении медиан фигуры
- 2. **на пересечении диагоналей фигуры**
- 3. на середине перпендикуляра, опущенного из середины верхней грани фигуры
- 4. на расстоянии  $1/3$  от левого угла фигуры

42. Деформация – это:

- 1. изменение форма тела
- 2. изменение размеров тела
- 3. изменение цвета тела
- 4. **изменение формы и размеров тела**

43. Способность материала не разрушаться под приложенной нагрузкой - это:

- 1. устойчивость
- 2. **прочность**
- 3. жёсткость
- 4. выносливость

44. Способность материала незначительно деформироваться под приложенной нагрузкой - это:

- 1. устойчивость
- 2. прочность
- 3. **жёсткость**
- 4. выносливость

45. Способность материала под приложенной нагрузкой сохранять первоначальную форму упругого равновесия - это:

1. **устойчивость**
2. прочность
3. жёсткость
4. выносливость

46. Позволяет определить величину внутреннего силового фактора в сечении, но не дает возможности установить закон распределения внутренних сил по сечению:

1. закон Гука
2. метод Риттера
3. **метод сечений**
4. принцип Сен-Венана

47. Единицей измерения напряжения является:

1. 1Н
2. 1Пас
3. 1Н/м
4. **1Н/мм<sup>2</sup>**

48. Буквой  $\sigma$  обозначают:

1. полное напряжение
2. **нормальное напряжение**
3. касательное напряжение
4. предельное напряжение

49. Буквой  $\tau$  обозначают:

1. полное напряжение
2. нормальное напряжение
3. **касательное напряжение**
4. предельное напряжение

### **Вопросы к зачету по дисциплине «Техническая механика»**

1. Изложите основные задачи и положения курса «Техническая механика»

2. Раскройте понятия о силе и системе сил. Сформулируйте аксиомы статики.

3. Дайте определение понятиям связи и силы реакций связей. Назовите типы связей и укажите направление их реакций.

4. Раскройте определение равнодействующей системы сил. Укажите способы ее определения. Изложите сущность метода определения равнодействующей геометрическим способом. Раскройте понятие о многоугольнике сил.

5. Дайте определение проекции силы на ось; изложите сущность метода определения равнодействующей аналитическим способом.

6. Сформулируйте и раскройте две формы условий равновесия плоской системы сходящихся сил. Изложите методику решения задач на равновесие геометрическим и аналитическим способами.

7. Раскройте понятие о паре сил и о моменте пары сил. Сформулируйте свойства пар. Дайте определение момента силы относительно точки на плоскости. Расскажите о свойствах момента силы относительно точки на плоскости.

8. Докажите теорему Пуансо о параллельном переносе силы. Изложите сущность приведения плоской системы сил к простейшему виду. Дайте определение плоской системы сил, главного вектора и главного момента системы.

9. Расскажите о частных случаях приведения системы сил к точке. Сформулируйте условия равновесия произвольной системы сил; изложите три формы условий равновесия.

10. Дайте определение пространственной системы сил; расскажите о моменте силы относительно оси, правиле знаков; укажите свойства момента силы относительно оси. Изложите способ разложения силы на три взаимно перпендикулярные оси. Сформулируйте условия равновесия пространственной системы сил.

11. Охарактеризуйте основные кинематические параметры. Изложите способы задания движения точки.

13. Дайте определение скорости точки как вектора, проекции скорости на оси координат, модуля скорости. Укажите формулы определения скорости при различном способе задания движения точки.

14. Дайте определение ускорения точки как вектора, проекции ускорения на оси координат, модуля ускорения. Укажите формулы определения ускорения при различном способе задания движения точки.

15. Проанализируйте виды и кинематические параметры движения, укажите формулы законов движения точки, их кинематические графики.

16. Охарактеризуйте простейшие виды движения точки, их особенностях и параметрах.

17. Дайте определение угловой скорости, углового ускорения; расскажите о частных случаях вращательного движения, укажите формулы законов вращения точки, их кинематические графики.

18. Раскройте понятие о массе тела, ускорении свободного падения. Укажите связь между силовыми и кинематическими параметрами движения. Расскажите о двух основных задачах динамики. Сформулируйте аксиомы динамики и изложите основной закон динамики.

19. Раскройте понятие о свободных и несвободных материальных точках; о силах инерции и их использовании для решения технических задач.

20. Изложите сущность принципа кинетостатики (принципа Даламбера); порядок решения задач с использованием принципа Даламбера.

21. Дайте определение и раскройте понятие работы силы при прямолинейном и криволинейном перемещениях, о работе силы тяжести.

22. Дайте определение и раскройте понятие о полезной и затраченной мощности, о коэффициенте полезного действия. Укажите зависимости для определения мощности при поступательном и вращательном движениях.

23. Сформулируйте основные положения, гипотезы и допущения сопротивления материалов. Изложите основные требования к деталям и конструкциям; расскажите о видах расчета в сопротивлении материалов.

24. Расскажите о классификации нагрузок и элементов конструкции. Раскройте понятие о внутренних силовых факторах.

25. Изложите сущность метода сечений. Раскройте понятие о внутренних силовых факторах и возникающих деформациях, о механических напряжениях, о составляющих напряжениях.

26. Дайте определение деформации растяжения (сжатия). Укажите, какие силы и напряжения возникают в поперечных сечениях бруса, работающего на растяжение (сжатие). Изложите порядок и методику построения эпюр внутренних сил и напряжений. Укажите формулу для расчета нормальных напряжений.

27. Раскройте понятие продольных и поперечных деформаций, укажите об их связи. Выведите формулу закона Гука; охарактеризуйте понятие модуля продольной упругости первого рода. Укажите формулы для расчета перемещений поперечных сечений бруса при растяжении и сжатии.

28. Расскажите о механических испытаниях материалов, статических испытаниях на растяжение и сжатие. Изобразите диаграмму растяжения низкоуглеродистой стали. Укажите виды диаграмм растяжения. Дайте понятие явления наклепа.

29. Укажите механические характеристики материалов (характеристики прочности и пластичности). Объясните, в чем отличие истинной и условной диаграммы растяжения. Охарактеризуйте материалы по типу их диаграмм растяжения.

30. Дайте определение предельных и допустимых напряжений, коэффициента запаса прочности. Укажите, от чего зависит выбор допускаемого коэффициента запаса прочности. Укажите особенности поведения материалов при испытаниях на сжатие.

31. Сформулируйте условие прочности при растяжении и сжатии. Охарактеризуйте виды расчета на прочность. Изложите методику решения задач на прочность, укажите особенности расчета на прочность стержневых конструкций.

32. Расскажите о деформации сдвига (среза). Укажите, какие внутренние силовые факторы, напряжения, деформации возникают при сдвиге. Укажите закон Гука при сдвиге. Раскройте определение модуля продольной упругости второго рода. Сформулируйте допущения для упрощения расчета деталей на сдвиг. Укажите формулу для расчета напряжений при сдвиге.



33. Расскажите о деформации смятия. Укажите, какие внутренние силовые факторы, напряжения, деформации возникают при смятии. Укажите формулу для расчета напряжений.

34. Укажите условие прочности при срезе и смятии. Раскройте особенности расчета на прочность заклепочных соединений.

35. Расскажите о деформации кручения. Сформулируйте гипотезы при кручении. Укажите, какие внутренние силовые факторы возникают при кручении. Изложите правила и порядок построения эпюр крутящего момента.

36. Укажите, какие напряжения, деформации возникают при кручении. Запишите формулу для определения напряжения в любой точке поперечного сечения, формулу максимальных напряжений при кручении. Что характеризует сопротивление сечения скручиванию? Укажите единицы измерения данной величины.

37. Сформулируйте условие прочности при кручении. Охарактеризуйте виды расчетов на прочность при кручении. Что называется полярным моментом сопротивления и какой физический смысл имеет эта величина? Укажите единицы его измерения. . Напишите формулы для расчета полярного момента инерции для круга, кольцевого сечения.

38. Сформулируйте условие жесткости при кручении. Охарактеризуйте виды расчетов на жесткость при кручении. Укажите рациональные формы поперечного сечения и рациональное расположение колес на валу.

39. Расскажите о деформации изгиба, его видах. Укажите, какие внутренние силовые факторы возникают при изгибе. Изложите правила и порядок построения эпюр поперечных сил и изгибающего момента при помощи метода текущей координаты.

40. Изложите правила и особенности построения эпюр поперечных сил и изгибающего момента по характерным точкам.

41. Укажите, какие напряжения возникают в поперечных сечениях при чистом изгибе. Напишите формулу для расчета нормальных напряжений при чистом изгибе. Укажите рациональные формы поперечного сечения при изгибе. Раскройте понятие осевого момента инерции и осевого момента сопротивления, укажите их единицы измерения.

42. Укажите особенности расчета на прочность при изгибе балок из пластичных и хрупких материалов. Охарактеризуйте виды расчета на прочность балок.

43. Расскажите о касательных напряжениях при изгибе. Запишите формулу для расчета касательных напряжений и поясните входящие в нее величины.

44. Охарактеризуйте виды перемещений при изгибе. Расскажите об одном из методов определения линейных и угловых перемещений. Дайте определение прогиба и стрелы прогиба. Сформулируйте условие жесткости при изгибе.

45. Дайте определение понятиям : механизм, машина, деталь, сборочная единица. Изложите требования, предъявляемые к деталям машин и

сборочным единицам. Перечислите критерии работоспособности и расчета деталей машин. Раскройте понятие о системе автоматизированного проектирования.

46. Дайте определение механической передачи. Расскажите о назначении и роли механических передач, их классификации. Укажите основные кинематические и силовые соотношения в передачах, формулы для определения передаточного соотношения и коэффициента полезного действия.

47. Охарактеризуйте принцип работы, достоинства и недостатки, классификацию фрикционных передач. Расскажите об устройстве и материалах фрикционных передач. Перечислите основные причины выхода из строя и критерии работоспособности.

48. Охарактеризуйте основные геометрические и кинематические соотношения цилиндрической передачи гладкими катками, силы в передаче. Расскажите порядок проектировочного расчета цилиндрических фрикционных передач.

49. Охарактеризуйте принцип работы, достоинства и недостатки, классификацию зубчатых передач. Дайте сравнительную оценку зубчатых передач и раскройте основные характеристики зубчатого зацепления. Укажите материалы изготовления зубчатых колес, виды разрушения зубьев.

50. Охарактеризуйте прямозубые цилиндрические передачи, их достоинства и недостатки. Укажите основные геометрические соотношения; силы, действующие в передаче. Дайте определение понятиям коррегирование и подрезание зубьев.

51. Изложите методику расчета зубьев прямозубой передачи на контактную и изгибную выносливость. Расскажите о выборе основных параметров, расчетных коэффициентов и допускаемых напряжений.

52. Охарактеризуйте косозубые и шевронные цилиндрические передачи, их достоинства и недостатки. Укажите основные геометрические соотношения; силы, действующие в передачах.

53. Изложите особенности расчета непрямозубой передачи на контактную и изгибную выносливость. Расскажите о выборе основных параметров, расчетных коэффициентов и допускаемых напряжений.

54. Охарактеризуйте прямозубую коническую передачу, ее достоинства и недостатки. Укажите основные геометрические соотношения; силы, действующие в передаче. Изложите методику расчета.

55. Расскажите о назначении передачи винт-гайка, ее достоинства и недостатки. Укажите материалы изготовления деталей передачи, виды разрушения и критерии работоспособности, факторы, влияющие на величину КПД.

56. Изложите порядок проектировочного расчета передачи винт-гайка с трапецеидальным профилем резьбы.

57. Расскажите об особенностях червячных передач и применении их в технологическом оборудовании, принципе работы, устройстве, материалах червяка и колеса, видах разрушений и критериях работоспособности.

58. Укажите основные геометрические соотношения червячной передачи с Архимедовым колесом; силы, действующие в передаче. Расскажите о передаточном числе, КПД передачи.

59. Изложите особенности расчета червячной передачи на контактную и изгибную выносливость. Расскажите о выборе основных параметров, расчетных коэффициентов и допускаемых напряжений.

60. Расскажите о принципе работы, назначении и классификации ременных передач; о видах приводных ремней, шкивов, натяжных устройств; критериях работоспособности. Укажите основные геометрические зависимости.

61. Изложите порядок расчета ременной передачи по тяговой способности и на долговечность.

62. Расскажите о принципе работы, назначении и классификации цепных передач; о видах приводных цепей, звездочек, натяжных устройств; критериях работоспособности. Укажите основные параметры.

63. Изложите порядок проверочного и проектировочного расчета цепной передачи.

64. Расскажите о назначении, классификации и элементах конструкции валов и осей, материалах валов и осей.

65. Изложите порядок проверочного и проектировочного расчета вала.

66. Охарактеризуйте особенности рабочего процесса подшипников скольжения и качения. Расскажите о видах разрушения и критериях работоспособности подшипников, о достоинствах и недостатках; об области применения. Укажите основные типы подшипников качения, маркировку, способы установки.

67. Изложите порядок подбора подшипников по динамической грузоподъемности и проверку подшипников качения на долговечность.

68. Укажите основные типы разъемных и неразъемных соединений; их достоинства и недостатки; особенностях работы. Изложите основы расчета на прочность.

## 2.2 Материалы промежуточной аттестации

**ЗАДАЧА 7** (рис.1). Однородную плиту  $AB$  весом  $4 \text{ кН}$  равномерно вытягивают из приямка с помощью барабанной лебедки  $D$ . Приняв  $AB = 10 \text{ м}$  и  $BC = 2 \text{ м}$ , определить для данного положения плиты опорные реакции в точках  $A$  и  $C$  и силу натяжения троса  $BD$ . Трением пренебречь.

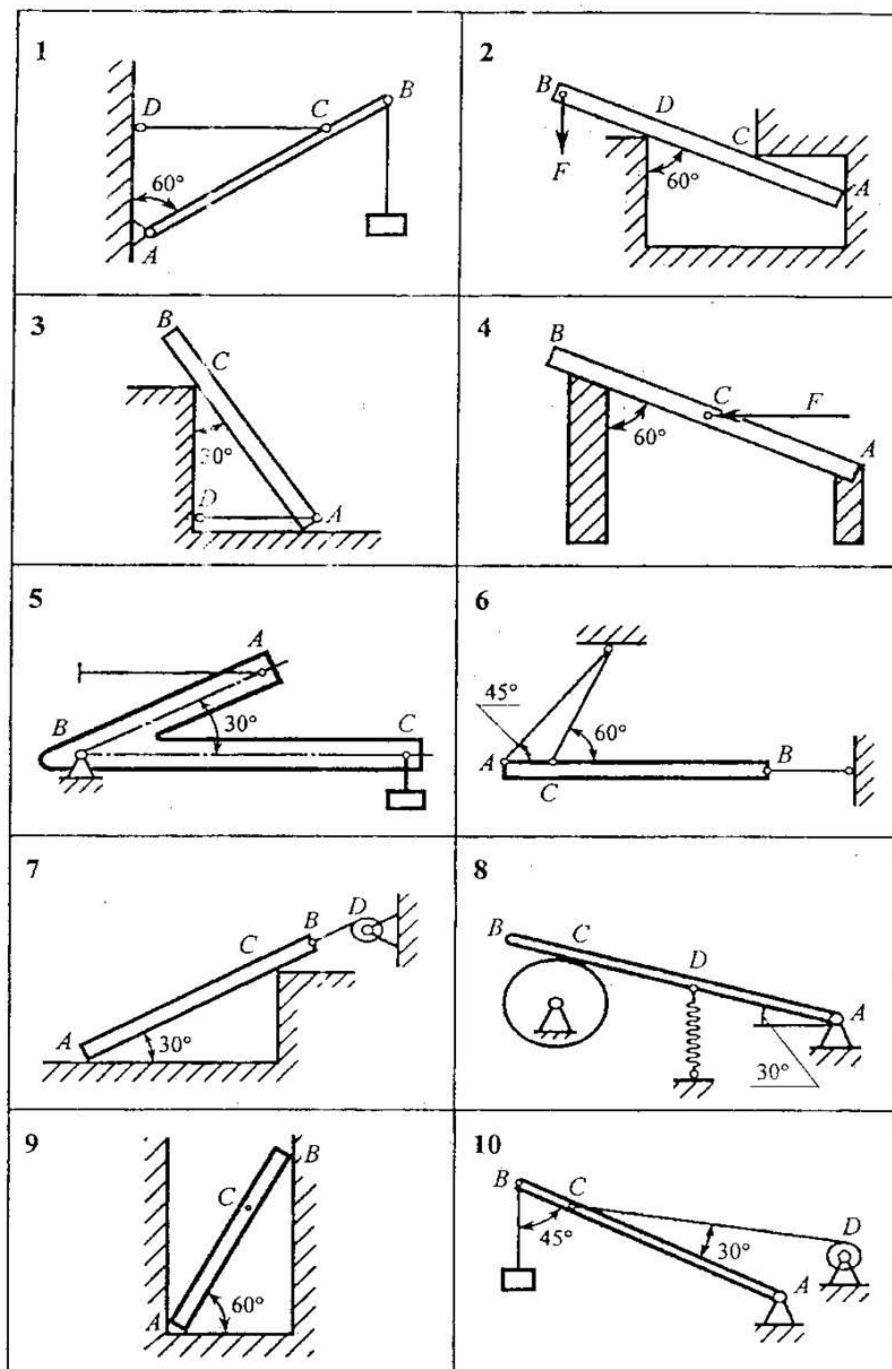


Рис. 1

**ЗАДАЧА 8** (рис.1). Поворотный однородный рычаг  $AB$  с помощью растянутой пружины силой упругости  $5 \text{ Н}$  прижат к вращающейся кулачковой шайбе в точке  $C$ . Приняв  $AD = 100 \text{ мм}$ ,  $DC = 80 \text{ мм}$ , определить реакции опорного шарнира  $A$  и силу давления рычага на кулачок. Весом частей механизма, а также трением пренебречь.

**ЗАДАЧА 9** (рис.1). Однородная лестница  $AB$  весом  $200 \text{ Н}$  опирается на пол и стены приямка. В точке  $C$  на лестнице стоит человек весом  $700 \text{ Н}$ . Приняв  $AB = 5 \text{ м}$  и  $AC = 3 \text{ м}$ , определить опорные реакции в точках  $A$  и  $B$ . Трением пренебречь.

**ЗАДАЧА 10** (рис.1). Однородная стрела  $AB$  подъемного крана весом  $8$  кН, несущая на своем конце груз весом  $40$  кН, удерживается в равновесии с помощью троса  $CD$  барабанной лебедки  $D$ . Приняв  $AB = 5$  м и  $BC = 2$  м, определить реакции опорного шарнира  $A$  и силу натяжения троса  $CD$ .

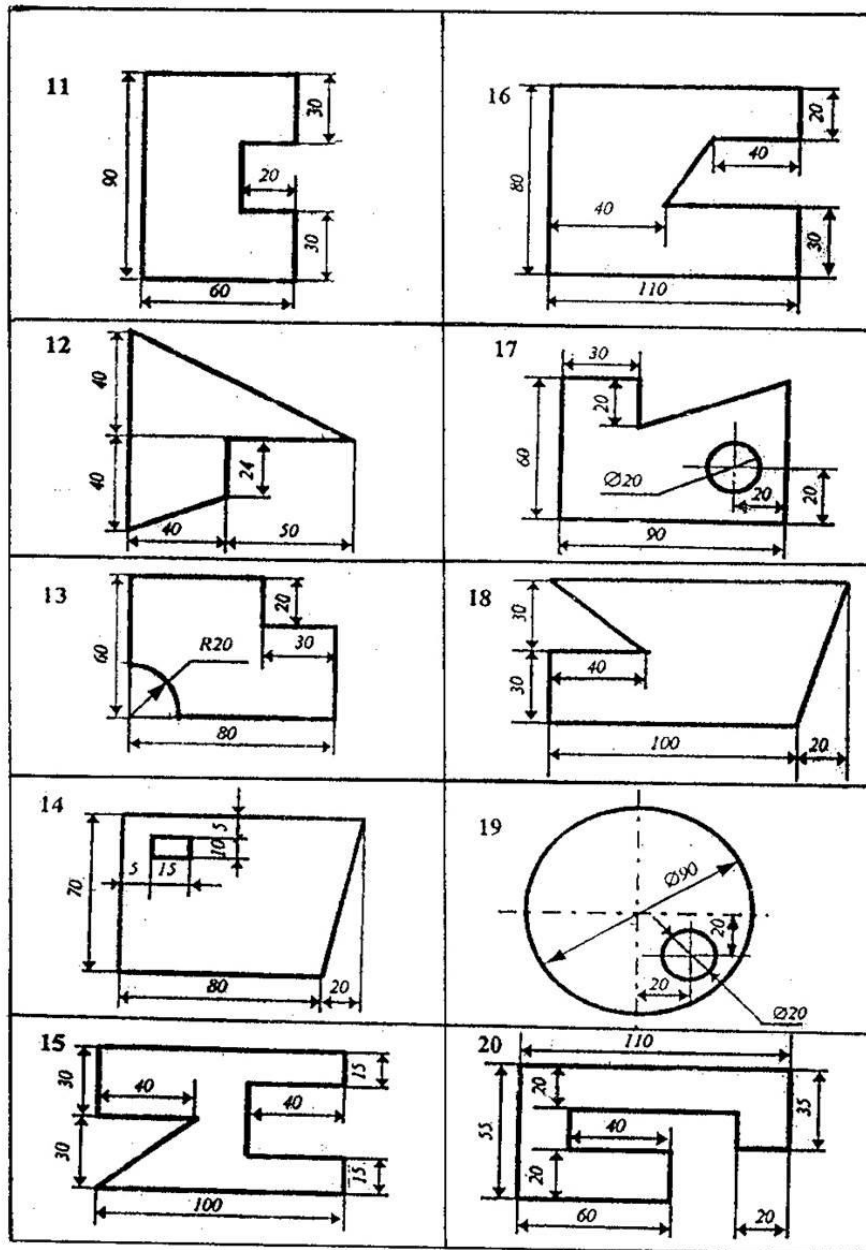


Рис. 2

**ЗАДАЧИ 11-20** (рис.2). Для тонкой однородной пластины, размеры которой заданы в миллиметрах, определить положение центра тяжести.

**ЗАДАЧИ 21-30** (рис. 3, табл. 2). Двухступенчатый стальной брус нагружен силами  $F_1$  и  $F_2$ . Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений по длине бруса. Сделать вывод о прочности бруса, приняв  $[\sigma] = 160$  МПа. Определить удлинение (укорочение) бруса, приняв  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа.

№ варианта	F1, кН	F2, кН	A1, мм2	A2, мм2
21	12	20	120	80
22	21	40	200	210
23	16	30	180	140
24	14	22	100	120
25	15	28	230	140
26	5	11	50	40
27	8	6	100	150
28	10	23	130	180
29	18	30	150	130
30	30	45	200	220

**ЗАДАЧИ 31–35** (рис.4, табл. 3). Определить диаметр вала в опасном сечении из условия прочности, если допускаемое напряжение на кручение  $[\tau] = 100$  МПа. Передаваемые на вал мощности P1, P2, P3, P4; вал вращается с угловой скоростью  $\omega$ .

**ЗАДАЧИ 36–40** (рис.4, табл. 3). Проверить вал в опасном сечении на прочность при деформации кручения, если допускаемое напряжение  $[\tau] = 100$  МПа. Передаваемые на вал мощности P1, P2, P3, P4; вал вращается с угловой скоростью  $\omega$ .

Таблица 3

№ варианта	P1, кВт	P2, кВт	P3, кВт	P4, кВт	$\omega$ , рад/с	Сечение
31	4,5	1	2	1,5	2	Круг, $d$
32	6	3	1,5	1,5	3	Кольцо, $d_o / d = 0,8$
33	15	4	5	6	30	Круг, $d$
34	10	3	3	4	4	Круг, $d$
35	12	5	3	4	30	Кольцо, $d_o / d = 0,7$
36	8	3	2,5	2,5	8	Круг, $d = 50$ мм
37	9	4	3	2	20	Кольцо, $d = 50$ мм, $d_o = 40$ мм
38	11	4	5	2	10	Круг, $d = 40$ мм
39	5	1,7	1,3	2	10	Кольцо, $d = 40$ мм, $d_o = 30$ мм
40	3	0,7	0,8	1,5	2	Круг, $d = 45$ мм

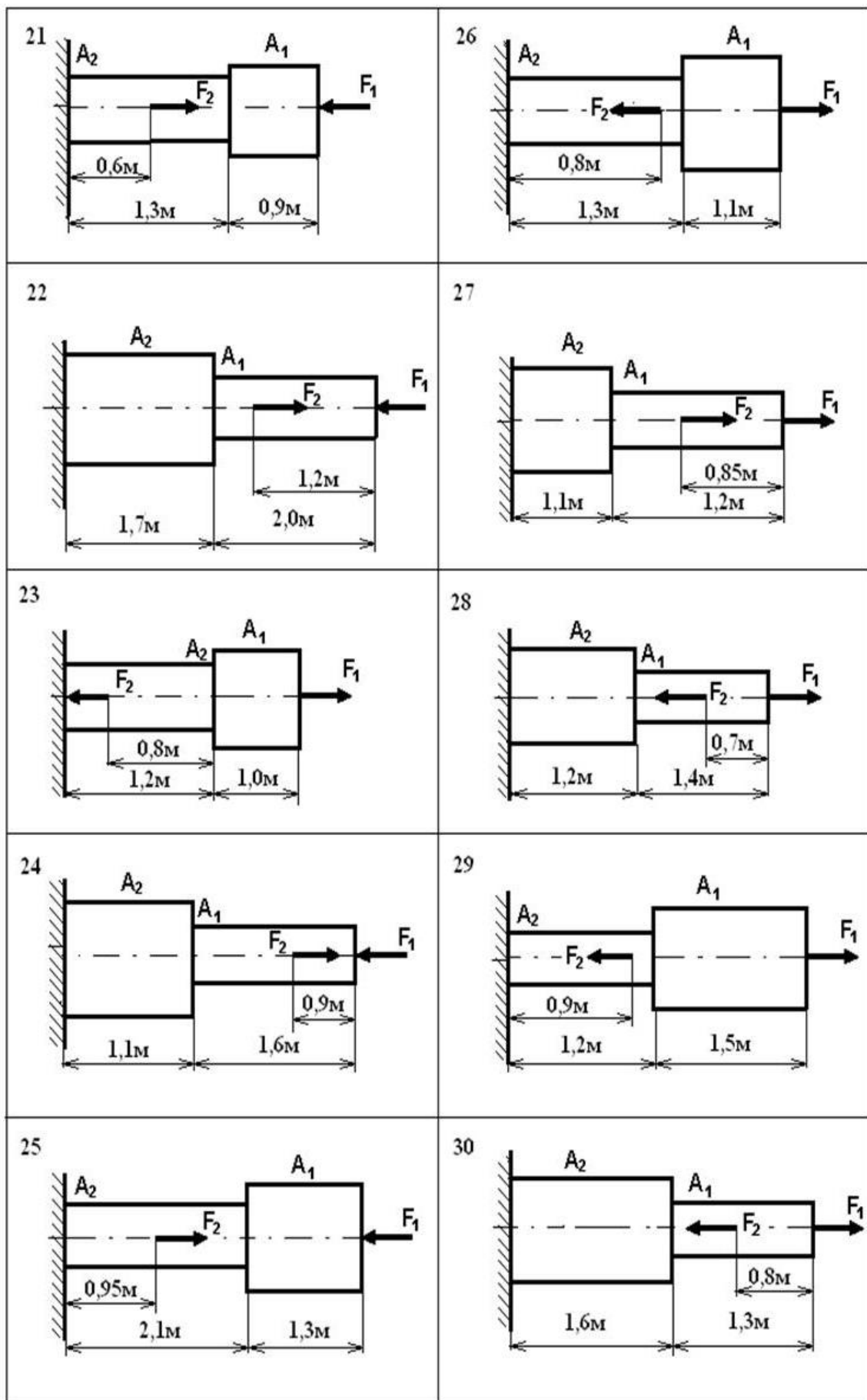


Рис. 3

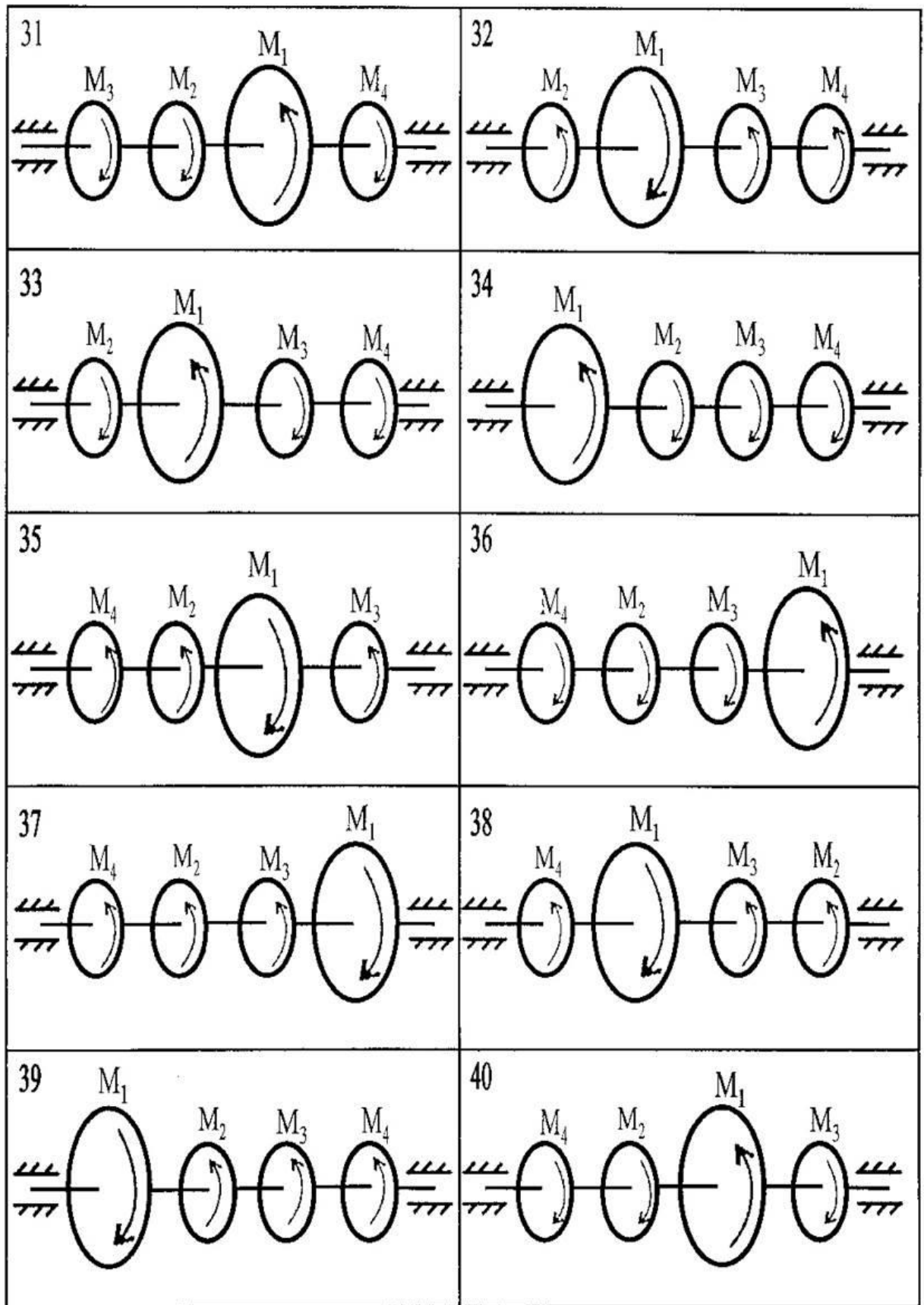


Рис. 4



**ЗАДАЧИ 41 – 50** (рис. 5, табл. 4). Для двухопорной стальной балки определить реакции опор, построить эпюры поперечных сил, изгибающих моментов и подобрать необходимые размеры поперечного сечения заданной формы, приняв  $[\sigma] = 150\text{МПа}$  для балки из стали и  $[\sigma] = 12\text{МПа}$  для деревянной балки.

Таблица 4

№ задачи	F1 ,кН	F2 ,кН	M, кН·м	Сечение	Материал
41	3	5	4	Швеллер	Сталь
42	10	12	6	Прямоугольник, $h/b=2$	Сталь
43	2	8	3	Круг, $d$	Дерево
44	5	2	4	Квадрат, сторона $a$	Сталь
45	7	2	5	Швеллер	Сталь
46	5	6	4	Квадрат, сторона $a$	Дерево
47	2	5	3	Швеллер	Сталь
48	2	10	6	Двутавр	Сталь
49	10	20	5	Прямоугольник, $h/b=1,8$	Дерево
50	4	2	8	Двутавр	Сталь

**ЗАДАЧИ 51 – 60** (рис. 6, табл. 5). Привод состоит из электродвигателя мощностью  $P_{дв}$  с угловой скоростью вала  $\omega_{дв}$  и двухступенчатой передачи, включающей редуктор и открытую передачу, характеристики звеньев которой заданы ( $d$  и  $z$ ). Угловая скорость выходного вала  $\omega_{вых}$ .

Требуется определить:

- передаточное отношение привода и передаточное число редуктора;
- общий коэффициент полезного действия (КПД) всего привода;
- мощности на вала;
- угловые скорости валов;
- вращающие моменты на каждом валу привода.

Таблица 5

№ задачи	Рдв. кВт	$\omega_{дв}$ , рад/с	$\omega_{вых}$ , рад/с	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$
51	3	150	15	—	—	25	100	—	—
52	5	140	13	20	60	—	—	—	—
53	4	130	12	—	—	—	—	15	60
54	2,2	148	20	—	—	—	—	20	40
55	4,5	144	24	—	—	18	36	—	—
56	20	150	20	—	—	—	—	20	40
57	5,5	140	2	—	—	—	—	20	80
58	6	145	5	30	60	—	—	—	—
59	10	160	4	—	—	30	60	—	—
60	3,5	100	8	80	240	—	—	—	—

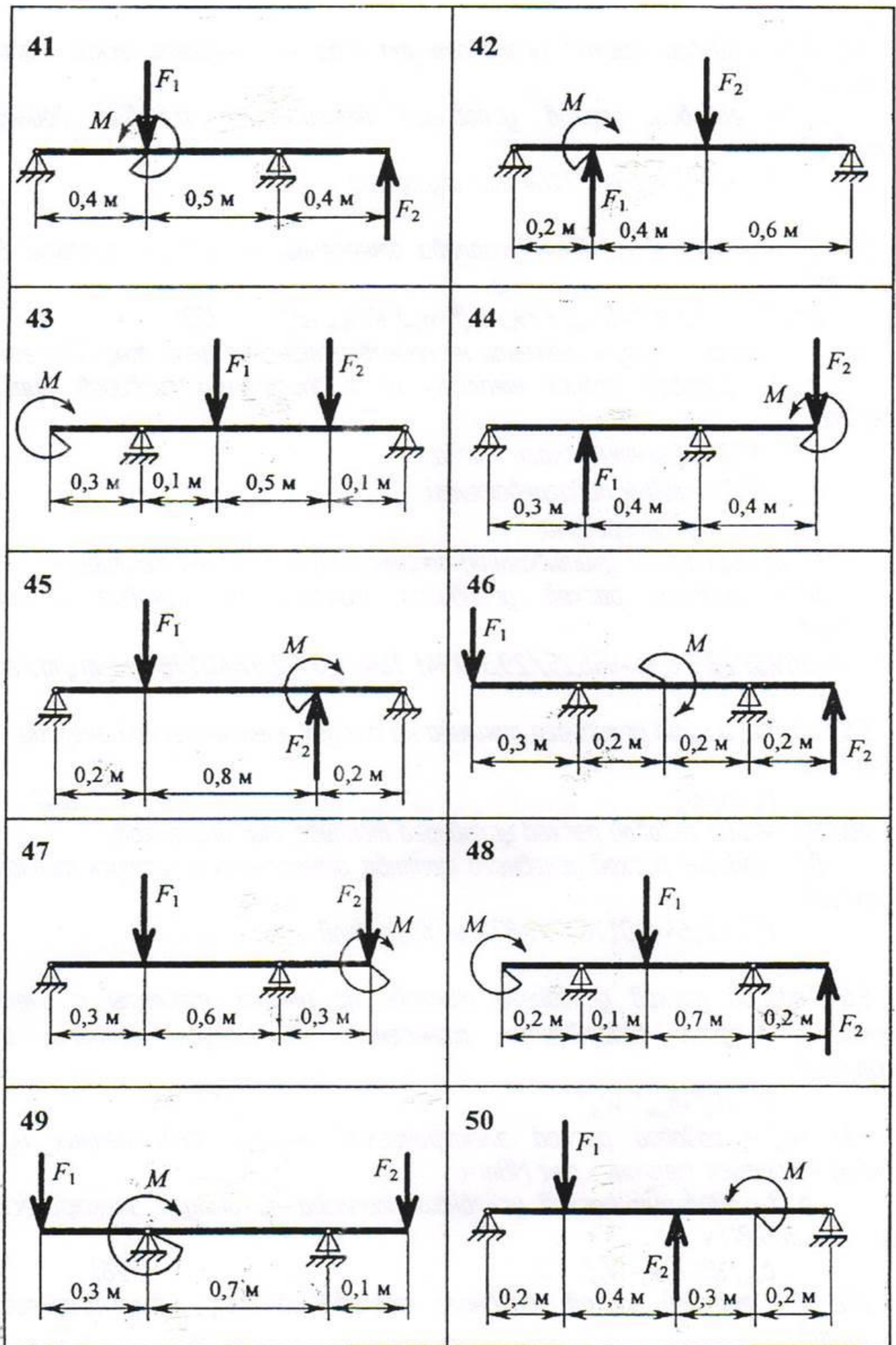


Рис. 5

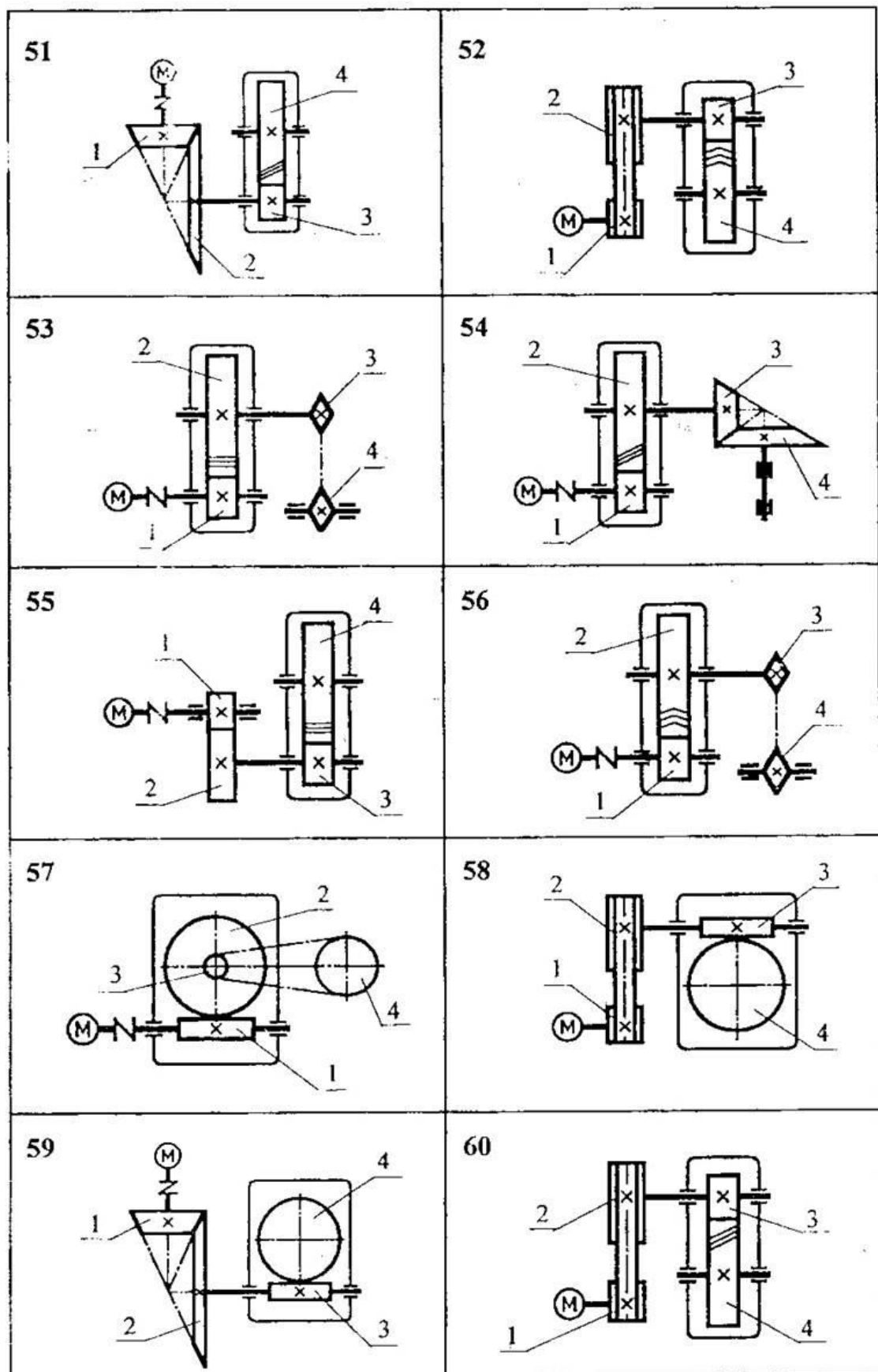


Рис. 6

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

### К ЗАДАЧАМ 1-10

К решению этих задач следует приступить после изучения тем «Основные понятия и аксиомы статики», «Плоская система сходящихся сил», «Пара сил», «Плоская система произвольно расположенных сил». При этом необходимо усвоить понятия «проекция силы на ось», «момент силы относительно точки», научиться составлять уравнения равновесия для плоской системы сил.

Во всех задачах определению подлежат опорные реакции тела, находящегося в равновесии под действием плоской системы произвольно расположенных сил. Реакции в стержнях направлены вдоль стержней, реакция гибкой связи направлена вдоль связи, реакции плоскости направлены перпендикулярно плоскости. Реакция шарнирно-подвижной опоры направлена по нормали к опорной поверхности шарнира. Реакцию шарнирно-неподвижной опоры принято представлять в виде двух составляющих реакций по осям координат.

Вид применяемой системы уравнений равновесия может быть различным  $\Sigma MA = 0$ ,  $\Sigma MB = 0$ ,  $\Sigma X = 0$ ,  $\Sigma Y = 0$ . Три из этих уравнений используются для решения, одно из них – для проверки решения. При составлении уравнений следует помнить, что проекция силы на ось численно равна произведению модуля силы на косинус угла между направлением силы и положительным направлением оси ([1], §7). Моментом силы относительно точки называется произведение модуля силы на плечо; плечом силы является перпендикуляр, опущенный из точки, относительно которой берется момент, на линию действия силы. Если при этом сила стремится повернуть тело по часовой стрелке, то ее момент считают положительным, если против часовой стрелки – отрицательным ([1], §15).

**ПРИМЕР 1.** Однородная балка, сила тяжести которой равна 2 кН, закреплена в точке  $A$  с помощью шарнирно-неподвижной опоры и опирается в точке  $B$  на ребро стены (рис. 7а). Найти реакции опор, если  $AC = 4\text{ м}$ ,  $BC = 1\text{ м}$ .

Решение

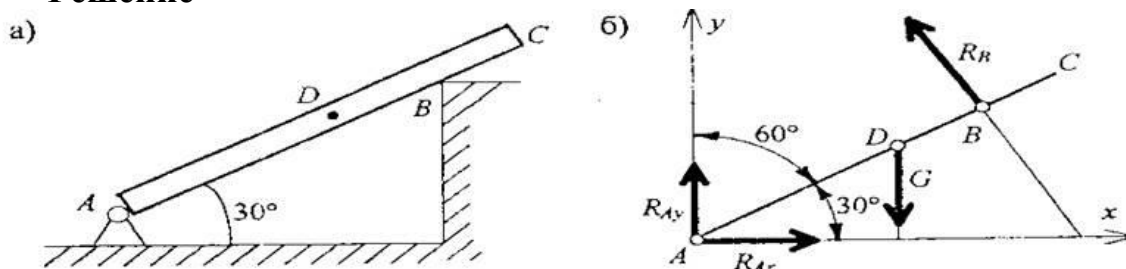


Рис. 7

На балку действует одна активная сила – сила тяжести. В силу однородности балки сила тяжести приложена в ее середине, т. е. в точке  $D$ .

Освободим балку от связей, приложив к ней вместо связей силы реакций (рис. 7б). В точке  $A$  к балке надо приложить неизвестные две взаимно перпендикулярные силы  $R_{Ax}$  и  $R_{Ay}$ . В точке  $B$  балка опирается на ребро, следовательно, реакция  $R_B$  перпендикулярна балке  $AC$  (рис. 7б).

Сила тяжести вместе с реактивными силами представляет уравновешенную систему сил, произвольно расположенных в плоскости, для которой можно составить три независимых уравнения равновесия: два уравнения проекций и одно уравнение моментов.

Составим уравнения равновесия:

$$1) \sum F_{ix} = 0. R_{Ax} - R_B \cos 60^\circ = 0.$$

$$2) \sum F_{iy} = 0. R_{Ay} - G + R_B \cos 30^\circ = 0.$$

Для составления уравнения моментов в качестве центра моментов может быть выбрана точка плоскости, но для получения более простого уравнения нужно в качестве центра моментов выбрать ту точку, через

которую проходит большее число неизвестных сил. 3)  $\sum M_A = 0.$

$$G \cdot AD \cos 30^\circ - R_B \cdot AB = 0, \quad \text{где } AD = AC / 2.$$

$$R_B = \frac{G \cdot 0,5 \cdot AC \cos 30^\circ}{AB} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 4 \cdot 0,866}{3} = 1,15 \text{ кН}.$$

$$\text{Из (1)} \quad R_{Ax} = R_B \cos 60^\circ = 1,15 \cdot 0,5 = 0,58 \text{ кН}.$$

$$\text{Из (2)} \quad R_{Ay} = G - R_B \cos 30^\circ = 2 - 1,15 \cdot 0,866 = 1 \text{ кН}.$$

Для проверки правильности решения воспользуемся уравнением моментов относительно точки  $D$ .

$$\sum M_D = 0. R_{Ay} \cdot AD \cos 30^\circ - R_{Ax} \cdot AD \sin 30^\circ - R_B \cdot BD = 0.$$

$$1 \cdot 2 \cdot 0,866 - 0,58 \cdot 2 \cdot 0,5 - 1,15 \cdot 1 = 0.$$

$$1,73 - 1,73 = 0.$$

Следовательно, задача решена правильно.

**К ЗАДАЧАМ 11-20**

К решению задач следует приступить после изучения темы « Центр тяжести» ([1], §§ 23, 24).

Центром тяжести тела называется центр параллельных сил тяжести всех элементарных частиц тела.

Если тело имеет ось симметрии, то центр тяжести лежит на этой оси.

Если тело имеет две оси симметрии, то центр тяжести находится на их пересечении.

Центр тяжести может лежать и вне тела.

Задачи решаются в следующей последовательности:

1. Составная фигура делится на простейшие геометрические фигуры, положения центра, тяжести которых известны (круг, прямоугольник, треугольник).

2. Выбирают оси координат, относительно которых берутся координаты центров тяжести каждой простейшей фигуры.

3. Вычисляют координаты центра тяжести сложной фигуры по

$$x_C = \frac{x_1 A_1 + x_2 A_2 + \dots + x_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n},$$

формулам:

$$y_C = \frac{y_1 A_1 + y_2 A_2 + \dots + y_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n},$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n; y_1, y_2, \dots, y_n$  — координаты центров тяжести простейших фигур;

$A_1, A_2, \dots, A_n$  — площади простейших фигур.

Если сечение имеет отверстия, площади отверстий вычитаются.

**ПРИМЕР 2.** Для тонкой однородной пластины, форма которой и размеры в миллиметрах заданы на рис.8, определить положение центра тяжести.

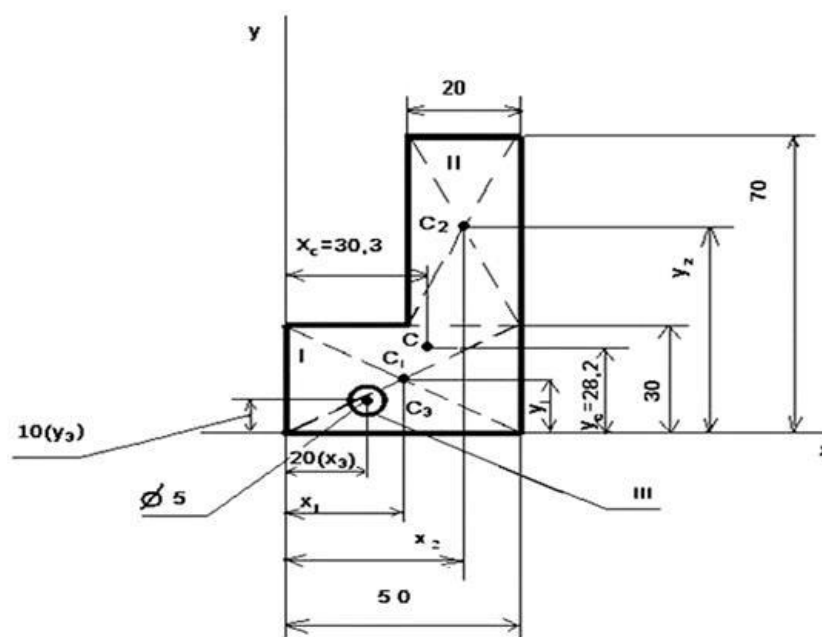


Рис. 8

**Решение**

1. Выбираем оси координат так, чтобы фигура была расположена в первом квадранте.

2. Разбиваем фигуру на три части: два прямоугольника I и II и круглое отверстие III.

3. Определяем координаты центров тяжести простейших фигур:

$x_1 = 25$  мм,  $y_1 = 15$  мм,

$x_2 = 40$  мм,  $y_2 = 50$  мм, ( $x_2 = 50 - 20/2 = 40$ ,  $y_2 = 30 + 40/2 = 50$ ),

$x_3 = 20$  мм,  $y_3 = 10$  мм.

4. Определяем площади составных частей:

$A_1 = 50 \cdot 30 = 1500$  мм<sup>2</sup>,  $A_2 = 20 \cdot 40 = 800$  мм<sup>2</sup>,  $A_3 = 3,14 \cdot 52 / 4 = 19,6$  мм<sup>2</sup>.

Знак «минус» означает, что  $A_3$  — площадь отверстия.

5. Вычисляем координаты центра тяжести всей фигуры:

$$\bar{y}_x = \frac{A_1 \bar{y}_1 + A_2 \bar{y}_2 + A_3 \bar{y}_3}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{1500 \cdot 25 + 800 \cdot 40 - 19,6 \cdot 20}{1500 + 800 - 19,6} = 30,3 \text{ мм};$$

$$\bar{y}_y = \frac{A_1 \bar{y}_1 + A_2 \bar{y}_2 + A_3 \bar{y}_3}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{1500 \cdot 15 + 800 \cdot 50 - 19,6 \cdot 10}{1500 + 800 - 19,6} = 28,2 \text{ мм}$$

6. Покажем положение центра тяжести всей фигуры на чертеже:

$x_C = 30,3$  мм;  $y_C = 28,2$  мм.

## К ЗАДАЧАМ 21-50

Приступить к решению этих задач следует после изучения основных положений раздела «Сопrotивление материалов» ([1], §§28- 1). Для успешного решения задач необходимо получить четкое представление о методе сечения для определения внутренних силовых факторов, о видах нагружения бруса, напряжениях, условии прочности и видах расчетов на прочность.

В общем случае нагружения тела внутренние силовые факторы, возникающие в поперечном сечении нагруженного бруса, включают в себя продольную  $N_z$  и поперечные силы  $Q_x$  и  $Q_y$ , а также крутящий  $M_z$  и изгибающие моменты  $M_x$ ,  $M_y$ .

Метод сечения складывается из нескольких последовательных действий:

- рассекают тело мысленно плоскостью на две части;
- отбрасывают одну часть;
- заменяют действие отброшенной части внутренними силовыми факторами;
- уравнения равновесия составляют для оставленной части и решают, определяя из них значения и направления внутренних силовых факторов.

Для наглядного изображения распределения внутренних силовых факторов вдоль оси бруса строят диаграммы, называемые эпюрами.

Численное значение внутренних сил, приходящихся на единицу площади поперечного сечения у какой-либо его точки, называется напряжением. Напряжение измеряют в паскалях (1Па=1Н/мм<sup>2</sup>), кратные единицы – мегапаскаль (1МПа = 10<sup>6</sup> Па = 1Н/мм<sup>2</sup>).

С помощью метода сечений определяют значение и знак внутренних силовых факторов во всех случаях по длине бруса, строят их

эпюры и отыскивают опасное сечение бруса. Внутренний силовой фактор в произвольном поперечном сечении бруса численно равен алгебраической сумме соответствующих нагрузок, действующих на оставленную для рассмотрения часть бруса.

Установленное в статике для сил и моментов правило знаков при определении внутренних силовых факторов неприменимо. Для каждого вида внутренних силовых факторов устанавливается собственное правило знаков.

При построении эпюры любого внутреннего силового фактора должно соблюдаться следующее общее правило, вытекающее из метода сечений: внутренний силовой фактор в сечении, в котором приложена соответствующая сосредоточенная нагрузка, изменяется «скачком» на значение этой нагрузки.

По виду внутреннего силового фактора устанавливают вид напряжения, возникающего в точках опасного поперечного сечения, закон его распределения по сечению и вид геометрической характеристики прочности сечения. Расчетное напряжение определяют как отношение внутреннего силового фактора к геометрической характеристике прочности.

По эпюре определяют опасное сечение бруса и производят расчет на прочность. Условием прочности при расчете по допускаемому напряжению называют неравенство:

$$\sigma \leq [\sigma] \text{ или } \tau \leq [\tau],$$

где  $[\sigma]$  и  $[\tau]$  — допускаемое напряжение, зависящее от механических характеристик материала бруса и принятого коэффициента запаса прочности;

$\sigma$  и  $\tau$  — расчетное напряжение.

Из условия прочности определяют требуемое значение искомой величины.

К решению ЗАДАЧ 21-30 следует приступить после изучения темы «Растяжение и сжатие» ([1], гл. VII).

Растяжением (сжатием) называют такой вид нагружения бруса, при котором в поперечных сечениях возникает только один внутренний силовой фактор — продольная сила  $N$ , численно равная в любом поперечном сечении алгебраической сумме внешних сил, действующих на оставленную часть бруса:  $N = \sum F_i$ .

Продольные силы  $N$ , соответствующие деформации растяжения (т. е. направленные от сечения или от объекта равновесия) считаются положительными, в противном случае они — отрицательные.

Для определения нормальных напряжений  $\sigma$  в поперечных сечениях значение продольных сил необходимо разделить на площади соответствующих сечений:  $\sigma = N/A$ .

Проверка прочности осуществляется по формуле:  $\sigma = N/A \leq [\sigma]$ ,

где  $\sigma$  — наибольшее рабочее напряжение;

$[\sigma]$  — допускаемое напряжение для материала стержня.



Превышение рабочего напряжения по сравнению с допускаемым не должно быть больше 5 %.

Удлинение (укорочение) бруса или отдельных его участков определяется по формуле Гука:

$$\Delta l = N \cdot l / (A \cdot E) = \sigma \cdot l / E;$$

где  $E$  — модуль упругости материала бруса ( для стали принимают  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа).

Для бруса, имеющего несколько участков, отличающихся размерами поперечного сечения или величиной продольной силы, изменение длины всего бруса будет равно алгебраической сумме удлинений (укорочений) отдельных участков:

$$\Delta l = \sum \Delta l_i.$$

**ПРИМЕР 3.** Для двухступенчатого стального бруса (рис. 9) построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений. Проверить брус на прочность. Определить перемещение свободного конца бруса, приняв модуль продольной упругости  $E = 2 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>;  $F_1 = 30$  кН;  $F_2 = 38$  кН;  $F_3 = 42$  кН;  $A_1 = 190$  мм<sup>2</sup>;  $A_2 = 310$  мм<sup>2</sup>;  $[\sigma] = 160$  МПа.

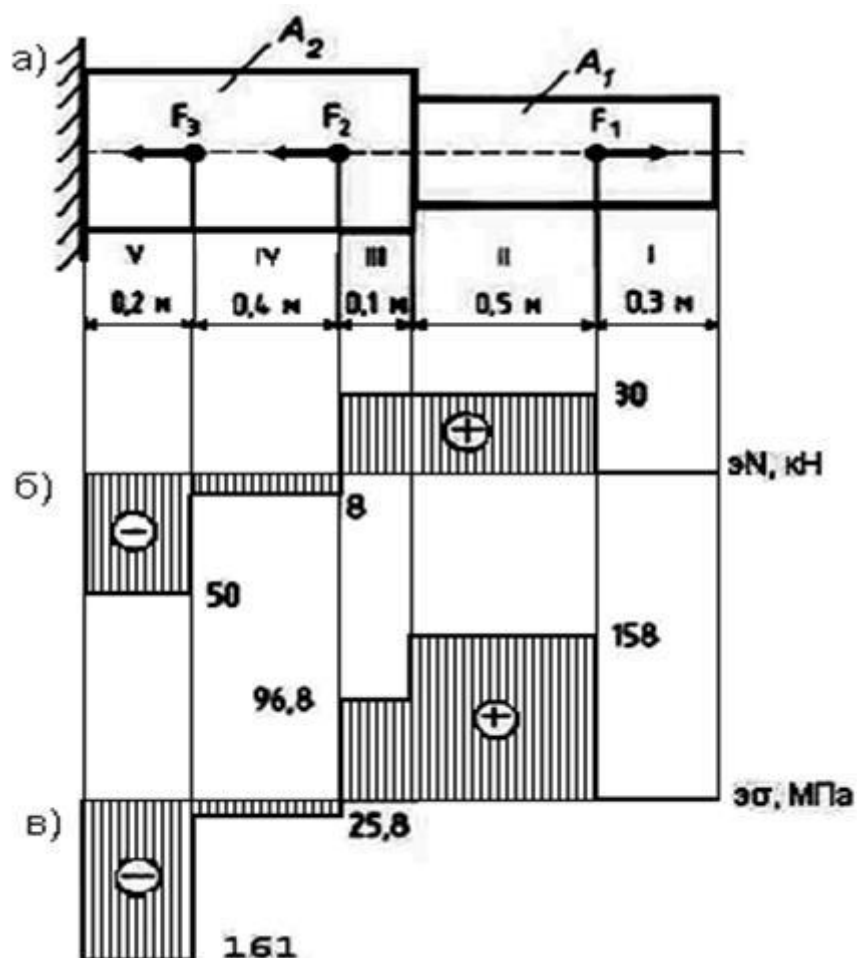


Рис.9

**Решение**

1. Отмечаем участки, как показано на рис.9а.

2. Определяем значение продольной силы  $N$  на участках бруса:

$$N_I = 0; N_{II} = F_1 = 30 \text{ кН}; N_{III} = F_1 = 30 \text{ кН};$$

$$N_{IV} = F_1 - F_2 = 30 - 38 = -8 \text{ кН};$$

$$N_V = F_1 - F_2 - F_3 = 30 - 38 - 42 = -50 \text{ кН};$$

Строим эпюру продольных сил (рис.9б).

3. Вычисляем значения нормальных напряжений:

$$\sigma_I = N_I / A_I = 0;$$

$$\sigma_{II} = N_{II} / A_I = 30 \cdot 103 / 190 = 158 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{III} = N_{III} / A_2 = 30 \cdot 103 / 310 = 96,8 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{IV} = N_{IV} / A_2 = -8 \cdot 103 / 310 = -25,8 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_V = N_V / A_2 = -50 \cdot 103 / 310 = -161 \text{ Н/мм}^2;$$

Строим эпюру нормальных напряжений (рис. 9в).

4. Проверяем прочность наиболее нагруженного участка.

Условие прочности при растяжении, сжатии —  $\sigma = N / A \leq [\sigma]$ .

Наибольшее абсолютное значение рабочего напряжения возникает в пределах пятого участка.

$\sigma = \sigma_V = 161 \text{ Н/мм}^2 = 161 \text{ МПа}$ ;  $161 \text{ МПа} > 160 \text{ МПа}$  – имеет место перегрузка бруса, которая составляет:

$$\Delta\sigma = \frac{\sigma - [\sigma]}{[\sigma]} \cdot 100\% = \frac{161 - 160}{160} \cdot 100\% = 0,63\%$$

, что вполне допустимо.

5. Определяем перемещение свободного конца бруса:

$$\Delta l = \Delta l_I + \Delta l_{II} + \Delta l_{III} + \Delta l_{IV} + \Delta l_V;$$

$$\Delta l = \sigma \cdot l / E;$$

$$\Delta l_I = \sigma_I \cdot l_I / E = 0;$$

$$\Delta l_{II} = \sigma_{II} \cdot l_{II} / E = 158 \cdot 0,5 \cdot 103 / 2 \cdot 105 = 0,394 \text{ мм};$$

$$\Delta l_{III} = \sigma_{III} \cdot l_{III} / E = 96,8 \cdot 0,1 \cdot 103 / 2 \cdot 105 = 0,0484 \text{ мм};$$

$$\Delta l_{IV} = \sigma_{IV} \cdot l_{IV} / E = -25,8 \cdot 0,4 \cdot 103 / 2 \cdot 105 = -0,0516 \text{ мм};$$

$$\Delta l_V = \sigma_V \cdot l_V / E = -161 \cdot 0,2 \cdot 103 / 2 \cdot 105 = -0,161 \text{ мм}.$$

$$\Delta l = 0,394 + 0,0484 - 0,0516 - 0,161 = 0,23 \text{ мм}.$$

Брус удлинится на 0,23 мм.

К решению ЗАДАЧ 31-40 следует приступить после изучения темы «Кручение» ([1], гл. IX).

Кручением называют такой вид нагружения бруса, при котором в его поперечных сечениях возникает только один внутренний силовой фактор – крутящий момент  $M_k$ .

Крутящий момент в произвольном поперечном сечении бруса численно равен алгебраической сумме внешних моментов, действующих на оставленную часть,

$$M_k = \Sigma M_i$$

(имеется в виду, что плоскости действия всех внешних моментов перпендикулярны продольной оси бруса).

Крутящий момент считают положительным, если внешний момент направлен по ходу часовой стрелки при взгляде со стороны проведенного сечения.

Условие прочности при кручении:

$$\tau_k = M_k / W_p \leq [\tau_k],$$

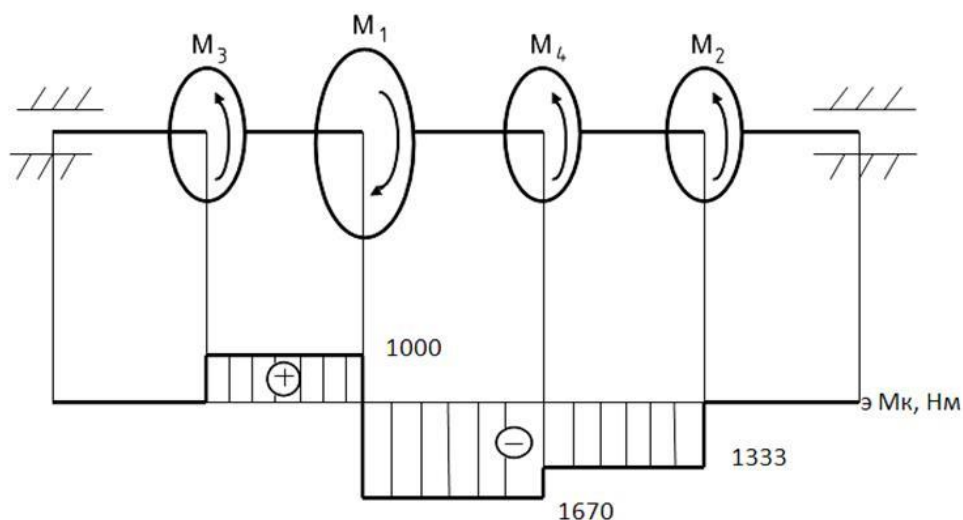
где  $\tau_k$  — рабочее напряжение, возникающее в брусе;

$M_k$  — крутящий момент на брусе;

$W_p$  — полярный момент сопротивления, зависящий от геометрических параметров бруса. Для круглого сечения можно принять  $W_p = 0,2 d^3 / 3$  мм<sup>3</sup>;

$[\tau_k]$  — допускаемое напряжение при кручении, зависящее от материала элемента конструкции.

**ПРИМЕР 4.** Определить диаметр вала (рис.10) в опасном сечении из условия прочности на кручение, если допускаемое напряжение на кручение  $[\tau_k] = 100$  Н/мм<sup>2</sup>; передаваемые мощности на вал:  $P_1 = 8$  кВт,  $P_2 = 4$  кВт,  $P_3 = 3$  кВт,  $P_4 = 1$  кВт. Вал вращается равномерно с угловой скоростью  $\omega = 3$  рад/с.



**Рис. 10**

**Решение**

1. Определяем вращающие моменты на шкивах:

$$M_1 = P_1 / \omega = 8 \cdot 10^3 / 3 = 2666 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_2 = P_2 / \omega = 4 \cdot 10^3 / 3 = 1333 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_3 = P_3 / \omega = 3 \cdot 10^3 / 3 = 1000 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_4 = P_4 / \omega = 1 \cdot 10^3 / 3 = 333 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

здесь  $P$  — в Вт,  $\omega$  — в рад/с,  $M$  — в Н·м.

Так как вал находится в равновесии, то

$$\sum M = 0. \quad M_1 - M_2 - M_3 - M_4 = 2666 - 1333 - 1000 - 333 = 0.$$

2. Строим эпюру крутящих моментов, разделив вал на участки. Границы участков — места приложения вращающих моментов.

Используя метод сечения, определяем крутящие моменты на каждом участке:

$$M_{k1} = M_{k5} = 0,$$

$$M_{k2} = -M_2 = -1333 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{k3} = -M_2 - M_4 = -1333 - 333 = -1666 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{к4} = -M_2 - M_4 + M_1 = -1333 - 333 + 2666 = 1000 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

или  $M_{к4} = M_3 = 1000 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Из эпюры видно, что самый опасный участок – участок 3, где

$$M_{к3} = 1666 \text{ Н}\cdot\text{м} = 1,67 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

3. Из условия прочности на кручение определяем диаметр вала в опасном сечении:

$$\tau_{\text{с}} = \frac{I_{\text{кз}}}{W_{\text{р}}} \leq [\tau_{\text{с}}]$$

где  $W_{\text{р}} = 0,2 d^3$ . Следовательно

$$\tau_{\text{с}} = \frac{I_{\text{кз}}}{0,2 d^3} \leq [\tau_{\text{с}}] \Rightarrow d \geq \sqrt[3]{\frac{I_{\text{кз}}}{0,2 \cdot [\tau_{\text{с}}]}} = \sqrt[3]{\frac{1,67 \cdot 10^6}{0,2 \cdot 100}} = 44,8 \text{ мм}$$

Принимаем  $d = 45 \text{ мм}$ .

Остальные участки вала можно сделать меньших диаметров.

К решению ЗАДАЧ 41-50 следует приступить после изучения темы «Изгиб» ([1], гл. X).

При изгибе в поперечных сечениях балок возникают два внутренних силовых фактора: изгибающий момент  $M_i$  и поперечная сила  $Q$ . Такой изгиб называют поперечным. Если в поперечных сечениях балки возникает только один силовой фактор – изгибающий момент, а поперечная сила равна 0, изгиб называют чистым.

При определении внутренних сил учитываются как активные внешние силы, действующие на балку, так и реакции связей.

Поперечная сила, возникающая в каком-либо поперечном сечении, численно равна алгебраической сумме проекций на ось  $y$  внешних сил, действующих на балку по одну сторону от рассматриваемого сечения:  $Q = \sum F_n$ ,

а изгибающий момент – алгебраической сумме моментов внешних сил относительно центра тяжести сечения:  $M_i = \sum M_i$ .

Поперечная сила считается положительной, если внешние силы слева от сечения направлены вверх, а справа от сечения – вниз. Поперечная сила считается отрицательной, если внешние силы слева от сечения направлены вниз, а справа от сечения – вверх.

Изгибающий момент считают положительным, если внешняя сила, расположенная слева от сечения, вращает относительно центра тяжести сечения по ходу часовой стрелки, а справа от сечения – против хода часовой стрелки. В противном случае момент считают отрицательным.

*Рис. 11*

*Балки выполняют постоянно по длине поперечного сечения, поэтому его размеры подбирают только для опасного сечения, имеющего по абсолютному значению максимальный изгибающий момент. Для определения опасного сечения строят эпюру изгибающих моментов, используя метод сечений.*

*Условие прочности при изгибе:*

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{M_{\text{макс}}}{W_x} \leq [\sigma_{\text{и}}],$$

где  $\sigma_{\text{и}}$  – рабочее напряжение, возникающее в балке;  
 $M_{\text{макс}}$  — максимальный изгибающий момент;  
 $W_x$  — осевой момент сопротивления изгиба зависит от геометрических параметров балки. Круг диаметром  $d$ :  $W_x = 0,1 d^3$ ; прямоугольник (рис. 12):  $W_x = \frac{bh^2}{6}$ ; квадрат со стороной  $a$ :  $W_x = \frac{a^3}{6}$ .

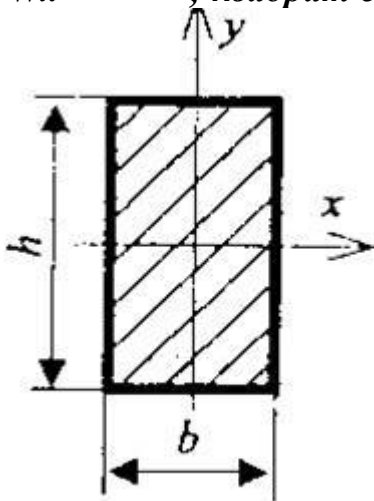


Рис.12

**ПРИМЕР 5.** Для заданной двухопорной балки (рис. 13) определить реакции опор, построить эпюры поперечных сил, изгибающих моментов и определить размеры поперечного сечения ( $h, b, d$ ) в форме прямоугольника или круга, приняв для прямоугольника  $h/b=1,5$ . Считать  $[\sigma_{\text{и}}]=160$  МПа.

**Решение**

1. Определяем опорные реакции и проверяем их найденные значения (рис.13):

$$\sum MD = 0; -M_1 + F_2 \cdot CD + M_2 + RB \cdot BD - F_1 \cdot AD = 0;$$

$$RB = \frac{M_1 - F_2 \cdot CD - M_2 + F_1 \cdot AD}{BD} = \frac{20 - 30 \cdot 6 - 10 + 18 \cdot 15}{10} = 10 \text{ кН.}$$

$$\sum MB = 0; -F_1 \cdot AB + M_2 - F_2 \cdot BC - RD \cdot BD - M_1 = 0;$$

$$RD = \frac{-F_1 \cdot AB + M_2 - F_2 \cdot BC - M_1}{BD} = \frac{-18 \cdot 5 + 10 - 30 \cdot 4 - 20}{10} = -22 \text{ кН.}$$

Проверка:  $\sum Fi = 0$ ;  $-F_1 + RB + F_2 + RD = -18 + 10 + 30 - 22 = 0$ .

2. Делим балку на участки по характерным сечениям А, В, С, D (рис.13).

3. Определяем в характерных сечениях значения поперечной силы  $Q_u$  и строим эпюру слева направо.

$$Q_{\text{Апр}} = -F_1 = -18 \text{ кН}; Q_{\text{Влев}} = -F_1 = -18 \text{ кН};$$

$$Q_{\text{Впр}} = -F_1 + RB = -18 + 10 = -8 \text{ кН};$$

$$Q_{\text{Слев}} = -F1 + RB = -18 + 10 = -8 \text{ кН};$$

$$Q_{\text{Спр}} = -F1 + RB + F2 = -18 + 10 + 30 = 22 \text{ кН};$$

$$Q_{\text{Длев}} = -F1 + RB + F2 = -18 + 10 + 30 = 22 \text{ кН}.$$

### К ЗАДАЧАМ 51 – 60

К решению этих задач следует приступить после изучения тем: "Передачи вращательного движения" ([1], гл. XIX), "Зубчатые передачи" ([1], §§97,99,100,105,106), "Червячные передачи" ([1], гл. XXII), "Ременные передачи" ([1], гл. XXIII), "Цепные передачи" ([1], гл. XXIV).

В предлагаемых задачах требуется определить кинематические ( $\omega$ ) и силовые ( $P$ ,  $M$ ) параметры для всех валов многоступенчатой передачи привода. Приступая к решению задачи, следует ознакомиться с ГОСТ 2.770-68 и 2.703-68 на условные обозначения элементов и правила выполнения кинематических схем. Валы и звенья нумеруются по направлению силового потока (направлению передачи движения) — от входного вала (вал двигателя) к выходному (рабочему) валу. Индекс в обозначениях параметров валов  $\omega$ ,  $P$  и  $M$  соответствует номеру вала, а в обозначениях  $d$  и  $z$  — номеру насаженного на вал звена (колеса, шкива, звездочки и т. п.). Для общих параметров передачи — КПД  $\eta$  и передаточного отношения (числа) и — принята двойная индексация, соответствующая номерам валов передачи. Параметры любого последующего вала определяют через заданные параметры входного вала при условии, что известны КПД и передаточные отношения отдельных передач привода. При последовательном соединении общее передаточное отношение равно произведению передаточных отношений отдельных передач, то же — для КПД.

В настоящем пособии для передаточного отношения  $\omega_1/\omega_2$  и передаточного числа  $z_2/z_1$  принято единое обозначение  $i$ . Следует помнить, что индекс 1 относится к ведущему, а индекс 2 — к ведомому звену передачи.

Ниже приведена таблица средних значений КПД некоторых передач (с учетом потерь в подшипниках).

Таблица 6

Тип передачи	Закрытая	Открытая
Зубчатая цилиндрическая	0,97	0,95
Зубчатая коническая	0,96	0,95
Цепная	—	0,92
Клиноременная	—	0,95
Червячная при заходности:		
$z_1 = 1$	0,7	—
$z_1 = 2-3$	0,8	—
$z_1 = 4$	0,87	—

**ПРИМЕР 5.** Для привода (рис.14), состоящего из электродвигателя мощностью  $P_{дв} = 4\text{кВт}$  с частотой вращения вала двигателя  $n_{дв} = 1440$  об/мин и двухступенчатой передачи с угловой скоростью выходного вала  $\omega_{вых} = 12,5$  рад/с, определить:

1. общий КПД привода,
2. общее передаточное отношение привода и передаточное число редуктора,
3. угловые скорости, мощности и вращающие моменты на валах.

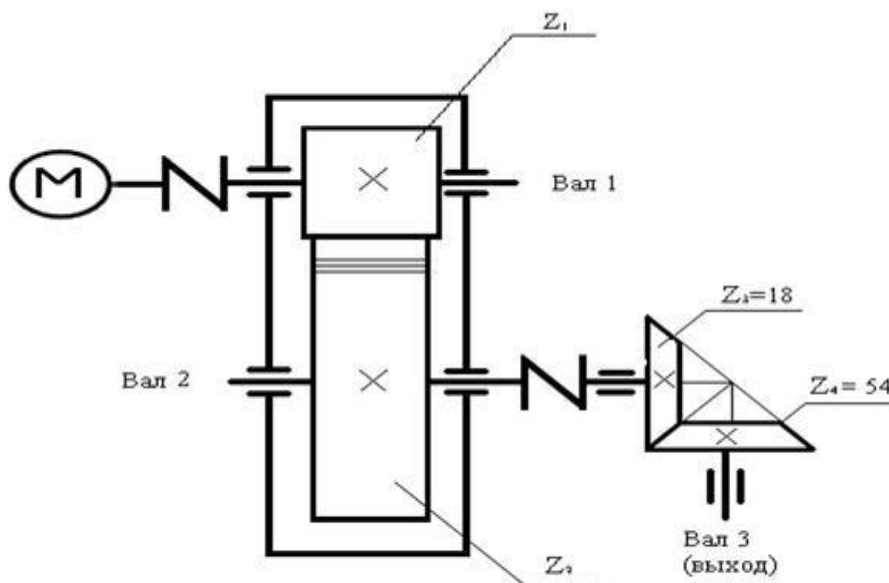


Рис. 14

**Решение**

Передача – двухступенчатая, понижающая, т. е. уменьшающая угловую скорость, так как в каждой ступени диаметр выходного звена больше диаметра входного. Первая ступень – закрытая цилиндрическая прямозубая передача (редуктор). Вторая ступень – открытая коническая зубчатая передача.

1. Определяем общий КПД передачи

$$\eta_{общ} = \eta_1 \cdot \eta_2,$$

где  $\eta_1 = \eta_{цз} = 0,97$ ,  $\eta_2 = \eta_{кз} = 0,95$ , (таблица 6);

тогда  $\eta_{общ} = 0,97 \cdot 0,95 = 0,92$ .

2. Определяем угловую скорость вала двигателя

$$\omega_{дв} = \pi \cdot n_{дв} / 30 = 3,14 \cdot 1440 / 30 = 150 \text{ рад/с.}$$

Общее передаточное отношение привода:

$$u_{13} = \omega_{дв} / \omega_{вых} = 150 / 12,5 = 12.$$

Передаточное число конической передачи:

$$u_{23} = z_4 / z_3 = 54 / 18 = 3.$$

Общее передаточное отношение привода:  $u_{13} = u_{12} \cdot u_{23}$  ;

откуда передаточное число редуктора:

$$u_{12} = u_{13} / u_{23} = 12 / 3 = 4.$$

*3. Определяем угловые скорости на валах привода:*

$$\omega_1 = \omega_{дв} = 150 \text{ рад/с}; \quad \omega_3 = \omega_{вых} = 12,5 \text{ рад/с};$$

$$u_{12} = \omega_1 / \omega_2, \text{ отсюда } \omega_2 = \omega_1 / u_{12} = 150 / 4 = 37,5 \text{ рад/с}.$$

*Мощность на валах:*

$$P_1 = P_{дв} = 4 \text{ кВт};$$

$$P_2 = P_1 \eta_1 = 4 \cdot 0,97 = 3,88 \text{ кВт};$$

$$P_3 = P_2 \eta_2 = 3,88 \cdot 0,95 = 3,68 \text{ кВт};$$

$$\text{или } P_3 = P_1 \eta_{общ} = 4 \cdot 0,92 = 3,68 \text{ кВт};$$

*Вращающие моменты на валах привода:*

$$M_1 = P_1 / \omega_1 = 4 \cdot 10^3 / 150 = 26,7 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_2 = P_2 / \omega_2 = 3,88 \cdot 10^3 / 37,5 = 103,46 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_3 = P_3 / \omega_3 = 3,68 \cdot 10^3 / 12,5 = 294,4 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

*где  $P$  — в Вт,  $\omega$  — в рад/с,  $M$  — в Н·м.*

*В понижающих передачах понижение угловых скоростей валов сопровождается соответствующим повышением вращающих моментов. Мощности на валах снижаются незначительно вследствие потерь на трение в подшипниках и при взаимодействии звеньев.*