

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор колледжа

С.Н. Козлов

29.08.2025

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ИЗУЧЕНИЮ УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА,
ЗАДАНИЯ НА ДОМАШНЮЮ КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ №1
ДЛЯ УЧАЩИХСЯ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
ПО СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ 5-04-0714-01 «ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА»,
5-04-0714-07 «ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И
ТЕХНОЛОГИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА»

Автор: Ольховская Ж.В. – преподаватель высшей квалификационной категории учреждения образования «Могилевский государственный политехнический колледж»;

Рецензент: Костикова Н.А., преподаватель высшей квалификационной категории учреждения образования «Могилевский государственный политехнический колледж»

Разработано на основе учебной программы по учебному предмету профессионального компонента учебного плана учреждения образования по специальностям 5-04-0714-01 «Технологическое обеспечение машиностроительного производства», 5-04-0714-07 «Техническая эксплуатация оборудования и технология сварочного производства» для реализации образовательной программы среднего специального образования, обеспечивающей получение квалификации специалиста со средним специальным образованием, утвержденной директором колледжа, 2025.

Обсуждено и одобрено
на заседании цикловой комиссии
общепрофессиональных предметов
Протокол № _____ от _____
Председатель цикловой комиссии
_____ Д.Д.Янович

Пояснительная записка

Курс учебного предмета «Техническая механика» предусматривает изучение основ теоретической механики, теории машин и механизмов, сопротивления материалов и деталей машин как обязательного условия технического образования.

Изучение учебного предмета «Техническая механика» основывается на знаниях полученных учащимися по учебным предметам «Физика», «Математика», «Инженерная графика», «Материаловедение и технология материалов».

При изучении учебного материала необходимо соблюдать единство терминологии и обозначений в соответствии с действующими стандартами, Международной системой единиц (СИ), обращать особое внимание на знание стандартизации.

Цель учебного предмета – подготовка высококвалифицированных техников, способных активно участвовать в решении следующих задач:

- сокращение сроков разработки и освоения новой техники;
- широкое внедрение гибких переналаживаемых производств, систем автоматизированного проектирования;
- применение в машиностроении конструкционных материалов;
- повышение в экономически оправданных пределах единичных мощностей машин и оборудования;
- снижение затрат на производство.

Задачи изучения учебного предмета:

- дать целостное представление статики конструкций;
- дать представление о структуре в видах механизмов машин;
- сформировать представление об основных деформациях конструкций;
- охарактеризовать виды нагрузок, разновидности напряжений, возникающих вследствие действия внешних и внутренних усилий;
- научить определять напряжение в конструкции от действия сил;
- научить рассчитывать на прочность конструкции и детали машин и делать выводы;
- научить пользоваться справочной литературой.

В результате изучения учебного предмета «Техническая механика» учащиеся должны:

- знать на уровне представления:
 - основные понятия и аксиомы механики;
 - основные законы теоретической механики и сопротивления материалов;

методы испытаний материалов деталей машин и механизмов с использованием законов технической механики;

факторы, воздействующие на детали машин в процессе их работы;

пути уменьшения вредного воздействия неблагоприятных факторов;

знать на уровне понимания:

основы расчета элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при различных видах нагружения бруса;

критерии прочности конструкций и методы расчета деталей и механизмов общего назначения на прочность;

общую методику расчета деталей машин и механизмов;

тенденции совершенствования машин;

уметь:

определять опорные реакции конструкции;

определять параметры движения;

определять основные механические характеристики;

выполнять проектировочные и проверочные расчеты на прочность при изгибе;

определять в процессе расчетов кинематическую схему приводов и проводить определение кинематических параметров с использованием справочной литературы.

Для закрепления теоретического материала и формирования у учащихся необходимых умений учебной программой предусмотрено проведение лабораторных и практических занятий.

Общие методические рекомендации по выполнению домашней контрольной работы №1

Учебный предмет «Техническая механика» состоит из трех разделов:

- теоретическая механика;
- сопротивление материалов;
- детали машин.

Каждый раздел технической механики необходимо изучить в порядке, предусмотренном программой.

В целях закрепления учебного материала и приобретения навыков в использовании расчетных формул, необходимо разобрать примеры и задачи, помещенные в учебнике.

Домашняя контрольная работа должна быть выполнена и оформлена в соответствии с нижеперечисленными требованиями.

Контрольная работа выполняется в отдельной школьной тетради (в клетку).

На обложке тетради пишется:

- название учебного заведения;
- название учебного предмета;
- номер домашней контрольной работы;
- фамилия, имя, отчество и шифр учащегося.

Работу необходимо выполнять аккуратным почерком. Для замечаний преподавателя оставлять поля шириной не менее 40 мм, а в конце тетради – одну-две страницы для рецензии.

Тексты условий задач переписывать обязательно, рисунки к задачам должны быть выполнены в соответствии с требованиями черчения и только карандашом.

Решение задачи делится на пункты. Каждый пункт должен иметь подзаголовок с указаниями, что и как определяется, по каким формулам, на основе каких теорий, законов, правил, методов.

Преобразование формул, уравнений в ходе решения производить в общем виде, а уже затем подставлять цифровые значения исходных данных. Порядок подстановки числовых значений должен соответствовать порядку расположения в формуле буквенных значений этих величин. После подстановки исходных значений вычислить окончательный или промежуточный результат.

В соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 8.471-81 при решении задач, необходимо применять только Международную систему

единиц физических величин (СИ) и стандартные символы для обозначения этих величин.

Основные, дополнительные и производные величины в системе СИ приведены в таблице 1.

Правильность всех вычислений необходимо тщательно проверить, обратить внимание на соблюдение единиц, подставленных в формулу значений величин и оценить правдоподобность полученного ответа.

Выполненную домашнюю контрольную работу нужно своевременно сдать (выслать) в учебное заведение.

После получения зачетной работы учащийся должен внимательно изучить все замечания и ошибки, отмеченные преподавателем на полях тетради и в рецензии, проанализировать свои ошибки и доработать материал.

Если работа не зачтена, то согласно рекомендациям преподавателя, она выполняется заново или частично в той же тетради.

К выполнению домашней контрольной работы можно приступить только после изучения соответствующей темы.

Задачи домашней контрольной работы даны в последовательности тем программы.

Все задачи и расчеты обязательно должны быть доведены до окончательного числового результата.

При затруднении в понимании какого-либо вопроса, нужно обратиться за разъяснениями к преподавателю.

В данное пособие включено шестьдесят задач. Домашняя контрольная работа содержит шесть задач в соответствии с вариантом. Вариант домашней контрольной работы определяется по двум последним цифрам шифра учащегося. Если шифр однозначный (1,2,3,...9), то для получения варианта контрольной работы перед номером следует подставить цифру 0 (01, 02, 03,...09).

Номера задач для домашней контрольной работы, которые должен решить учащийся в соответствии со своим вариантом, приведены в таблице 2.

Критерии оценки домашней контрольной работы

Домашняя контрольная работа оценивается отметкой «зачтено», если:

- работа выполнена согласно варианту (шифра);
- работа выполнена в полном объеме или составляет 75% правильного решения всех задач задания;
- решения задач, выполненных в работе, сопровождается кратким и точным пояснением выполняемых действий; имеет логическое завершение. По тексту решений задач сделаны ссылки на используемые источники.

В конце работы приведен список используемых источников, которым руководствовались в процессе выполнения задания, дата сдачи контрольной работы на проверку и подпись учащегося.

Домашняя контрольная работа оценивается отметкой «не зачтено» если:

- работа полностью или частично не соответствует варианту (шифру);
- работа выполнена не в полном объеме, менее 75%, т.е. выполнены лишь четыре задания из шести;
- отсутствует краткое пояснение к решению задач по ходу выполнения;
- не приведены соответствующие схемы (рисунки), которыми сопровождается условие задач, а также их решение;
- не соблюдены требования методических рекомендаций по оформлению и выполнению контрольной работы.

Таблица 1 – Основные, дополнительные и производные величины в системе СИ

Величина		Единица	
наименование	обозначение	наименование	обозначение
1 Длина, расстояние	l, S	Метр	м
2 Масса	m	Килограмм	кг
3 Время	t	Секунда	с
4 Угловое перемещение и угол разворота	φ	Радян	рад
5 Площадь фигуры или площадь сечения	A	Квадратный метр	m^2
6 Ширина сечения	b	Метр	м
7 Высота сечения	h	Метр	м
8 Диаметр	d	Метр	м
9 Объем	V	Кубический метр	m^3
10 Скорость линейная	v	Метр в секунду	м/с
11 Скорость угловая	ω	Радян в секунду	рад/с
12 Ускорение угловое	ε	Радян на секунду в квадрате	рад/с ²
13 Ускорение свободного падения	g	Метр на секунду в квадрате	м/с ²
14 Сила активная	F	Ньютон	Н
15 Сила тяжести	G	Ньютон	Н
16 Сила реактивная	R	Ньютон	Н
17 Момент пары и момент силы	M, T	Ньютон-метр	Н×м
18 Работа	W	Джоуль	Дж
19 Мощность	P	Ватт	Вт

20 Момент статический	S	Кубический метр	м ³
-----------------------	---	-----------------	----------------

Продолжение таблицы 1

Величина		Единица	
наименование	обозначение	наименование	обозначение
21 Момент сопротивления сечения (полярный и осевой)	ω_p, ω_{oc}	Кубический метр	м ³
22 Момент инерции сечения	I	Метр в четвертой степени	м ⁴
23 Нормальное напряжение	σ	Паскаль	Па
24 Касательное напряжение	τ	Паскаль	Па

Программа учебного предмета

Введение

Содержание, основные задачи и разделы учебной дисциплины, ее связь с общеобразовательными, общепрофессиональными и специальными учебными дисциплинами

Значение механики в технике. Краткая справка о развитии механики

Литература: [6], с.4-10

Раздел 1 Теоретическая механика

Тема 1.1 Основные понятия и аксиомы статики. Связи и их реакции

Основные понятия статики: материальная точка, абсолютно твердое (жесткое) тело, сила (сила как вектор, единицы измерения и способы приложения силы, сила тяжести). Системы сил и их классификация. Эквивалентные и уравновешенные системы сил. Равнодействующая сила.

Задачи статики. Аксиомы статики: закон инерции; условие равновесия двух сил; принцип присоединения и исключения уравновешенных сил, сила – скользящий вектор; правило параллелограмма; закон равенства действия и противодействия. Проекция силы на ось, на две и три взаимно перпендикулярные координатные оси; правило знаков.

Сложение двух сил, приложенных в точке тела, и разложение силы на две составляющие.

Связи, их классификация; реакции связей и определение их направления.

Литература: [6], с.11-17; с.20-24

Тема 1.2 Плоская система сходящихся сил

Плоская система сходящихся сил. Геометрический метод сложения плоской системы сходящихся сил. Силовой многоугольник. Геометрическое условие равновесия плоской системы сходящихся сил.

Определение равнодействующей плоской системы сходящихся сил методом проекций. Аналитическое условие равновесия плоской системы сходящихся сил. Уравнения равновесия.

Методика расчетов реакций элементов плоско расположенных стержневых конструкций с использованием уравнений равновесия.

Литература: [6], с.23-24; с.36-41.

Тема 1.3 Пара сил и момент силы

Пара сил. Вращающее действие пары сил на тело. Плечо и момент пары сил, правило знаков. Момент пары сил как свободный вектор. Возможность переноса пары сил в плоскости ее действия. Эквивалентные и уравновешивающиеся пары сил.

Сложение пар сил, момент равнодействующей пары. Условие и уравнение равновесия системы пар сил. Плечо и момент силы относительно точки и оси, правило знаков.

Литература: [6], с.33-35

Тема 1.4 Плоские системы произвольно расположенных и параллельных сил

Плоская система произвольно расположенных сил. Приведение силы и плоской системы произвольно расположенных сил к данной точке (центру). Главный вектор и главный момент плоской системы произвольно расположенных сил, равнодействующая. Теорема Вариньона о моменте равнодействующей.

Условия и уравнения равновесия: плоской системы произвольно расположенных сил (три формы); плоской системы параллельных сил (две формы).

Балочные системы: виды опор, опорные реакции. Классификация нагрузок (по способу приложения, по характеру действия, по времени действия).

Методика расчетов опорных реакций статически определимых плоско нагруженных балок с использованием уравнений равновесия.

Литература: [6], с.24-26, 26-33; [1], с.41-54, 82-87

Тема 1.5 Связи с трением. Трение скольжения и качения

Трение скольжения: сила трения, угол трения, коэффициент трения скольжения и факторы, влияющие на него. Конус трения. Условие самоторможения.

Трение качения. Коэффициент трения качения и факторы, влияющие на него.

Сравнительная характеристика трения скольжения и качения.

Литература: [6], с.52-56

Тема 1.6 Центр параллельных сил и центр тяжести. Устойчивость равновесия

Сложение системы параллельных сил. равнодействующая и центр параллельных сил, его свойства и формулы для определения его положения. Центр тяжести тела, его свойство. Определение координат центров тяжести тонких пластинок (сечений), составленных из простых геометрических фигур и из стандартных профилей проката. Статический момент сечения.

Определение положения центра тяжести простых геометрических фигур (прямоугольника, треугольника, кругового сектора) и стандартных профилей проката.

Условие равновесия твердого тела, имеющего неподвижную опорную точку (или ось вращения) или опорную плоскость. Коэффициент устойчивости.

Алгоритм решения задач на определение центра тяжести плоских фигур.

Литература: [6], с.41-51

Тема 1.7 Основные понятия кинематики. Кинематика точки

Кинематика как наука о механическом движении. Относительность покоя и движения.

Основные понятия кинематики: система отсчета, траектория, расстояние, путь, время, скорость, ускорение.

Способы задания движения точки: геометрический (естественный) и координатный. Движение точки по прямолинейной траектории: уравнение движения, средняя скорость и ускорение, скорость и ускорение в данный момент времени. Криволинейное движение точки: ускорение касательное, нормальное, полное.

Виды движения точки в зависимости от ускорения (прямолинейное и криволинейное, равномерное и переменное движение точки). Равномерное и равнопеременное движение точки, их кинематические уравнения и графики, и связь между ними. Методика определения параметров движения точки.

Литература: [6], с.57-69

Тема 1.8 Простейшие движения твердого тела

Поступательное движение твердого тела. Свойства поступательного движения твердого тела; определение пройденного пути, скоростей и ускорений точек.

Вращательное движение твердого тела. Угловое перемещение, угловая скорость (средняя и в данный момент времени). Частота вращения. Связь угловой скорости и частоты вращения. Угловое ускорение (среднее и в данный момент времени). Виды вращательного движения твердого тела: равномерное и неравномерное (равнопеременное). Уравнения вращения, основные и вспомогательные формулы.

Линейная скорость и ускорения точек вращающегося тела. Связь линейной скорости, касательного, нормального и полного ускорений точек вращающегося тела с его угловыми скоростью и ускорением.

Методика определения параметров движения твердого тела.

Литература: [6], с.70-82

Тема 1.9 Основные понятия и аксиомы динамики

Основные понятия динамики: масса, материальная точка, сила (постоянная и переменная).

Аксиомы динамики: принцип инерции; основной закон динамики материальной точки (масса материальной точки, единицы массы, зависимость между массой и силой тяжести); закон независимости действия сил; закон равенства действия и противодействия.

Основные задачи динамики (прямая и обратная).

Литература: [6], с.88-90

Тема 1.10 Движение материальной точки. Метод кинетостатики

Свободная и несвободная точки. Сила инерции и общий метод ее определения. Определение направления и модуля силы инерции в зависимости от траектории и ускорения движения материальной точки.

Принцип Даламбера. Сущность метода кинетостатики.

Методика решения типовых задач динамики методом кинетостатики.

Литература: [6], с.91-94

Тема 1.11 Работа и мощность

Работа постоянной силы при прямолинейном движении. Теорема о работе равнодействующей силы. Работа переменной силы при криволинейном движении. Работа силы тяжести. Потенциальная энергия для точки. Работа силы упругости. Работа при качении тела по негладкой плоскости.

Мощность, ее среднее значение, мощность в данный момент времени. Понятие о механическом коэффициенте полезного действия (далее – КПД). КПД системы механизмов (при их последовательном и параллельном соединении).

Работа и мощность при вращательном движении тела; окружная сила и вращающий момент. Связь между вращающим моментом, передаваемой мощностью и частотой вращения.

Литература: [6], с.95-100

Тема 1.12 Общие теоремы динамики

Импульс силы, количество движения. Теорема об изменении количества движения материальной точки. Кинетическая энергия точки. Теорема об изменении кинетической энергии материальной точки.

Механическая система. Основное уравнение динамики вращающегося тела. Моменты инерции однородных тел: прямолинейного стержня, кольца, тонкого круглого диска, цилиндра сплошного и полого относительно оси.

Кинетическая энергия при поступательном, вращательном и плоскопараллельном движениях твердого тела. Теорема об изменении кинетической энергии для системы. Уравновешивание сил инерции. Понятие о статической и динамической балансировке вращающихся материальных тел.

Литература: [6], с.100-102

Раздел 2 Сопротивление материалов

Тема 2.1 Основные положения

Основные задачи науки о сопротивлении материалов (расчеты на прочность, жесткость и устойчивость).

Деформируемое тело. Деформации упругие и пластические. Нагрузки внешние и внутренние. Классификация внешних нагрузок (поверхностные, объемные; статические, динамические, переменные).

Основные гипотезы и допущения, применяемые в сопротивлении материалов: о свойствах деформируемого тела (однородность, изотропность, непрерывность строения); о характере деформаций (принцип начальных размеров, линейная зависимость между нагрузками и вызываемыми ими деформациями, принцип независимости действия сил). Классификация элементов конструкций по геометрическим признакам: брус, оболочка (пластина), массивное тело.

Внешние и внутренние силовые факторы (нагрузки) в элементах конструкций. Метод сечений и его применение для определения внутренних силовых факторов. Простейшие виды нагружения бруса (растяжение и сжатие, срез, кручение, изгиб) и соответствующие им внутренние силовые факторы (общие уравнения для их определения).

Понятие о напряженном состоянии в точке тела, механическое напряжение. Алгоритмическая формула напряжения. Геометрическая характеристика прочности сечения.

Напряжение: полное, нормальное, касательное.

Литература: [6], с.121-132

Тема 2.2 Растяжение и сжатие

Центральное растяжение и сжатие. Продольные (нормальные) силы и нормальные напряжения в поперечных сечениях бруса (гипотеза плоских сечений) при растяжении (сжатии). Построение эпюр продольных сил и нормальных напряжений.

Напряжения в наклонных сечениях бруса (максимальные касательные напряжения).

Деформации при растяжении и сжатии (продольные и поперечные, абсолютные и относительные). Закон Гука. Модуль продольной упругости. Коэффициент Пуассона. Определение абсолютных продольных деформаций и осевых перемещений поперечных сечений бруса. Построение эпюр осевых перемещений.

Механические испытания материалов. Классификация механических испытаний по виду нагружения и характеру действующих нагрузок во времени. Классификация конструкционных материалов (пластичные, хрупкопластичные и хрупкие).

Механические испытания материалов на растяжение и сжатие при статическом нагружении. Диаграмма растяжения низкоуглеродистой стали и ее характерные параметры. Характеристики прочности (пределы пропорциональности, текучести, временное сопротивление) и

пластичности (относительное остаточное удлинение и относительное остаточное поперечное сужение) материала. Диаграмма растяжения хрупкопластичного материала; условный предел текучести. Закон повторного нагружения (наклеп). Диаграмма растяжения хрупких материалов.

Сравнительная диаграмма сжатия пластичных, хрупкопластичных и хрупких материалов; их механические свойства при сжатии.

Опасные (предельные) и допускаемые напряжения. Коэффициент запаса прочности и факторы, влияющие на его величину и выбор.

Условие прочности при растяжении и сжатии. Расчеты на прочность при растяжении и сжатии: проверочный, проектный, определение допускаемой нагрузки.

Методика расчета элементов конструкций на растяжение и сжатие. материала; условный предел текучести. Закон повторного нагружения (наклеп). Диаграмма растяжения хрупких материалов.

Сравнительная диаграмма сжатия пластичных, хрупкопластичных и хрупких материалов; их механические свойства при сжатии.

Опасные (предельные) и допускаемые напряжения. Коэффициент запаса прочности и факторы, влияющие на его величину и выбор.

Условие прочности при растяжении и сжатии. Расчеты на прочность при растяжении и сжатии: проверочный, проектный, определение допускаемой нагрузки. Методика расчета элементов конструкций на растяжение и сжатие.

Литература: [6], с.133-157

Тема 2.3 Срез и смятие

Срез и смятие. Внутренние силовые факторы, возникающие при срезе и смятии.

Геометрические характеристики прочности (условная площадь) при срезе и смятии.

Условия прочности при срезе и смятии. Расчеты на прочность при срезе и смятии: проверочный, проектный, определение допускаемой нагрузки. Методика расчета соединений на срез и смятие.

Литература: [6], с.175-181

Тема 2.4 Кручение.

Кручение. Крутящий момент. Построение эпюр крутящих моментов.

Чистый сдвиг, угол сдвига, закон парности касательных напряжений.

Закон Гука при сдвиге. Модуль сдвига. Зависимость между тремя упругими постоянными для изотропного тела.

Кручение прямого бруса круглого сечения.

Касательные напряжения при кручении, формула для их определения.

Деформации при кручении: угол сдвига, угол закручивания (абсолютный и относительный). Формулы для определения угла закручивания.

Геометрические характеристики сечений и геометрические характеристики прочности при кручении: полярные моменты инерции и сопротивления кручению для круглого и кольцевого сечений бруса.

Характер разрушения при кручении бруса из различных материалов.

Условия прочности и жесткости при кручении. Расчеты на прочность и жесткость при кручении: проверочный, проектный, определение допускаемой нагрузки. Методика расчета бруса на кручение. Совместное действие среза (сдвига) и кручения. Условие прочности бруса, выбор рационального сечения вала при кручении.

Литература: [6], с.182-194

Тема 2.5 Изгиб

Изгиб (прямой и кривой, чистый и поперечный).

Внутренние силовые факторы при прямом изгибе: поперечная сила и изгибающий момент, правила знаков.

Зависимость между изгибающим моментом, поперечной силой и интенсивностью распределенной нагрузки.

Правила построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов по характерным точкам (на примерах статически определимых двухопорных и консольных балок для случаев приложения к ним сосредоточенных сил и моментов, а также равномерно распределенных нагрузок).

Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов для балок, нагруженных плоскими системами параллельных сил.

Чистый изгиб: зависимость между изгибающим моментом и кривизной оси бруса. Нормальные напряжения, возникающие в поперечных сечениях бруса при чистом изгибе, формула для их определения.

Геометрические характеристики сечений при изгибе: осевые моменты инерции и сопротивления. Жесткость сечения при изгибе. Осевые моменты инерции и моменты сопротивления изгибу простейших сечений (прямоугольного, круглого, кольцевого) и стандартных профилей проката. Связь между осевыми и полярными моментами инерции.

Распространение выводов чистого изгиба на поперечный изгиб. Условие прочности при изгибе.

Расчеты на прочность при изгибе: проверочный, проектный, определение допускаемой нагрузки.

Рациональные формы поперечных сечений балок из пластичных, хрупкопластичных и хрупких материалов. Особенности расчета балок из материалов, различно сопротивляющихся растяжению и сжатию.

Касательные напряжения в продольных и поперечных сечениях бруса при прямом изгибе, формула Журавского. Деформации (линейные и угловые) при прямом изгибе.

Определение линейных и угловых перемещений для различных случаев нагружения статически определимых балок. Условия жесткости и расчеты на жесткость при изгибе.

Методика расчета балок на изгиб.

Литература: [6], с.194-208

Тема 2.6 Устойчивость сжатых стержней

Устойчивость сжатых стержней: устойчивое и неустойчивое упругое равновесие. Внутренние силовые факторы. Критическая сила. Формула Эйлера для определения критической силы. Учет влияния формы сечения и способов закрепления концов стержня. Критическое напряжение; гибкость стержня, предельная гибкость. Пределы применимости формулы Эйлера. Эмпирические формулы для критических напряжений (формула Ясинского, случаи сведения расчета на устойчивость к расчету на сжатие).

Литература: [6], с.226-230

Список используемых источников

1. Аркуша, А.И. Техническая механика. Теоретическая механика и сопротивление материалов: Учеб. для средних спец. учеб. заведений/А.И. Аркуша. – 5-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2003. – 352 с.
2. Аркуша, А.И. Техническая механика. Теоретическая механика и сопротивление материалов: Учеб. для машиностр. спец. техникумов. /А.И. Аркуша. – 2-е изд., доп. – М.: Высш. шк., 1989. – 352 с.
4. Гулиа Н.В. Детали машин: Учебник для студ. учреждения сред. проф. образования / Н.В. Гулиа. М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 416с.
5. Гурьев Л.А. Сборник задач по сопротивлению материалов: Учебное пособие / Л.А. Гурьева, В.Ф. Дронченко, И.Г. Гурьев; Под общ. ред. Л.А. Гурьева. – Мн.: Амалфея, 2002. – 352с.
6. Завистовский, В.Э. Техническая механика учеб. пособие / В.Э. Завистовский. – РИПО, 2022.
7. Завистовский, В.Э. Техническая механика: Учеб. пособие / В.Э. Завистовский, Н.М. Захаров. – Мн.: Амалфея, 2000. – 416 с.
8. Ицкович, Г.М. Сопротивление материалов : учеб. для учащихся машиностроит. техникумов / Г.М. Ицкович. 7-е изд., испр. - М.: 1986 - 352с.
9. Куклин, И.Г. Детали машин : учебник / И.Г. Куклин, Г.С. Куклина, В.К. Житков. – 8-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 2008. – 406с.
10. Сафонова, Г.Г. Техническая механика / Г.Г. Сафонов, Т.Ю. Артнюховская, Д.А. Ермакова. – М.: ИНФРА-М, 2009. – 320 с.
11. Сетков В.И. Сборник задач по технической механике: Учеб. пособие для сред. проф. образования / В.И. Сетков. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 224 с.
12. Соколовская, В.П. Техническая механика. Детали машин. Курсовое проектирование : пособие / В.П. Соколовская. - Минск : Выш. шк., 2010. – 103 с.

Методические рекомендации к решению задач по разделу 1 «Теоретическая механика»

В рекомендованных учебниках, а также в руководствах, учащиеся найдут достаточное число примеров задач подобных тем, которые включены в контрольную работу.

Поэтому ниже даны лишь необходимые краткие методические рекомендации к решению задач контрольной работы.

Задачи (1-10)

Во всех задачах рассматривается равновесие плоской системы сходящихся сил и требуется определить реакции двух шарнирно соединенных между собой стержней, удерживающих два груза.

Таким образом к шарниру В в каждой задаче приложены четыре силы, из которых две неизвестны.

Можно избрать три способа решения: аналитический, графический и геометрический.

Для данного типа задач целесообразно использовать аналитический способ решения.

Последовательность решения задачи

1 Выбрать тело (точку), равновесие которого следует рассматривать.

2 Освободить тело (шарнир В) от связей и изобразить действующие на него активные силы и реакции отброшенных связей. Причем реакции стержней следует направить от шарнира В, так как принято предполагать, что стержни растянуты.

3 Выбрать оси координат и составить уравнения равновесия, использовать условия равновесия системы сходящихся сил на плоскости

$$\sum X_i = 0; \quad \sum Y_i = 0$$

Выбирая оси координат, следует учитывать, что полученные уравнения будут решаться проще, если одну из осей направить перпендикулярно одной из неизвестных сил.

4 Определить реакции стержней из решения указанной системы уравнений.

5 Проверить правильность полученных результатов, решив уравнения равновесия относительно заново выбранных координат X и Y.

Пример решения задачи (1-10)

Определить реакции стержней, удерживающих грузы $F_1=70\text{кН}$, $F_2=100\text{кН}$. Массами стержней пренебречь, рисунок 1.

Решение

1 Рассматриваем равновесие шарнира, рисунок 1а.

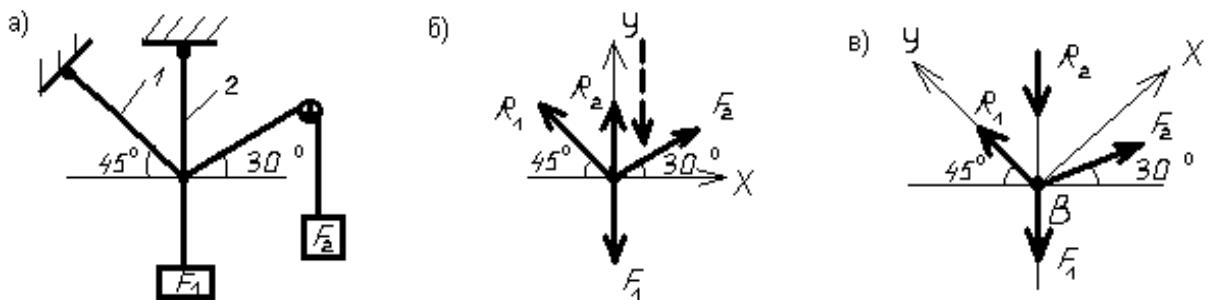


Рисунок 1 – Расчетная схема

2 Освобождаем шарнир В от связей и изображаем действующие на него активные силы и реакции связей, рисунок 1б.

3 Выбираем систему координат, совместив ось Y по направлению с реакцией R_z , рисунок 1 б, и составляем уравнения равновесия для системы сил, действующих на шарнир В.

$$\begin{cases} \sum X_i = 0; \\ \sum Y_i = 0; \end{cases}$$

$$\begin{cases} -R_1 \times \cos 45^\circ + F_2 \times \cos 30^\circ = 0; & (1) \\ R_1 \times \cos 45^\circ + R_2 + F_2 \times \cos 60^\circ - F_1 = 0 & (2) \end{cases}$$

4 Определяем реакции стержней R_1 и R_2 , решая уравнение (1).

$$R_1 = \frac{F_2 \times \cos 30^\circ}{\cos 45^\circ} = \frac{100 \times 0,866}{0,707} = 122 \text{кН}$$

Подставляя найденное значение R_1 в уравнение (2), получаем

$$R_2 = F_1 - F_2 \times \sin 30^\circ - R_1 \times \sin 45^\circ = \\ 70 - 100 \times 0,5 - 122 \times 0,707 = - 66,6 \text{кН}$$

Знак «-» перед значением R_2 указывает, что первоначально выбранное направление реакции неверное - следует направить реакцию R_2 в противоположную сторону, т.е. к шарниру В, рисунок 1б.

Истинное направление реакции R_2 показано штриховым вектором.

5 Проверяем правильность полученных результатов, выбрав новое расположение осей координат X и Y, рисунок 1в.

Относительно этих осей составляем уравнения равновесия:

$$\begin{cases} \sum X_i = 0; & \begin{cases} -R_2 \times \cos 45^\circ + F_2 \times \cos 15^\circ - F_1 \times \cos 45^\circ = 0; & (3) \\ R_1 - F_1 \times \cos 45^\circ - R_2 + F_2 \times \cos 45^\circ - F_2 \times \cos 75^\circ = 0 & (4) \end{cases} \end{cases}$$

Из уравнения (3) находим

$$R_2 = \frac{F_2 \times \cos 15^\circ - F_1 \times \cos 45^\circ}{\cos 45^\circ} = \frac{100 \times 0,965 - 70 \times 0,707}{0,707} = 66,6 \text{кН}$$

Подставляя найденное значение R_2 в уравнение (4), получаем

$$R_2 = F_1 \times \sin 45^\circ + R_2 \times \cos 45^\circ + F_2 \times \cos 75^\circ = \\ 70 \times 0,707 + 66,6 \times 0,707 + 100 \times 0,258 = 122 \text{кН}$$

Значения реакций R_1 и R_2 , полученные при решении уравнений (1) и (2), совпадают по величине и направлению со значениями, найденными из уравнений (3) и (4), следовательно, задача решена правильно.

Задачи (11-20)

Во всех задачах требуется определить реакции опор балок.

Учащимся необходимо приобрести навыки определения реакций опор, так как с этого начинается решение многих задач по сопротивлению материалов и деталей машин.

Последовательность решения задачи

- 1 Изобразить балку вместе с нагрузками.
- 2 Выбрать расположение координатных осей, совместив ось X с балкой, а ось Y направив перпендикулярно оси X .
- 3 Произвести необходимые преобразования заданных активных сил: силу, наклоненную к оси балки под углом α , заменить двумя взаимно перпендикулярными составляющими, а равномерно распределенную нагрузку – ее равнодействующей, приложенной в середине участка распределения нагрузки.
- 4 Освободить балку от опор, заменив их действие реакциями опор, направленными вдоль выбранных осей координат.
- 5 Составить уравнения равновесия статики для произвольной плоской системы сил таким образом и в такой последовательности, чтобы решением каждого из этих уравнений было определение одной из неизвестных реакций опор.
- 6 Проверить правильность найденных опорных реакций по уравнению, которое не было использовано для решения задачи.

Пример решения задачи (11-20)

Определить реакцию опор балки, рисунок 2.

Решение

- 1 Изобразим балку с действующими на нее нагрузками, рисунок 2а.
- 2 Изображаем оси координат X и Y .
- 3 Силу F заменяем ее составляющими $F_x = F \times \cos \alpha$ и $F_y = F \times \sin \alpha$.

Равнодействующая $q \times CD$ равномерно распределенной нагрузки приложена в середине участка CD , в точке K , рисунок 2б.

4 Освобождаем балку от опор, заменив их опорными реакциями, рисунок 2в.

5 Составляем уравнения равновесия статики и определяем неизвестные реакции опор.

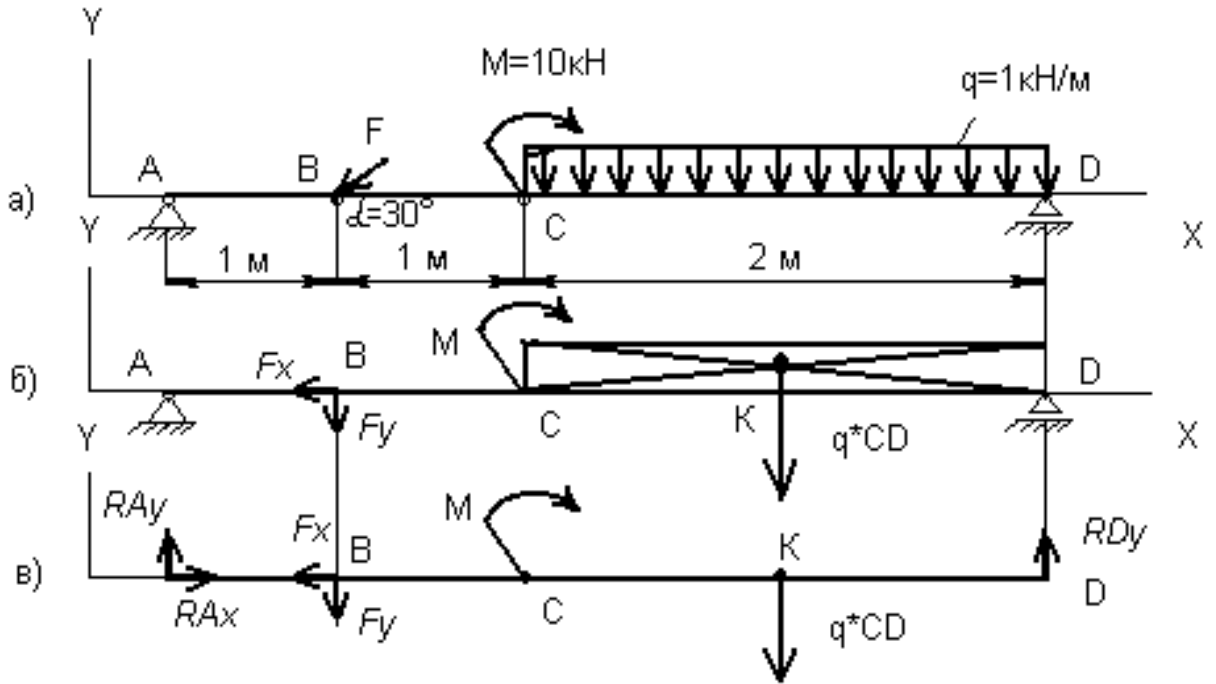


Рисунок 2 – Расчетная схема

Из уравнения суммы моментов всех действующих на балку сил, составленного относительно одной из точек опор, сразу определяем одну из неизвестных вертикальных реакций:

$$\sum M_A (F_i) = F_y \times AB + M + q \times CD \times AK - R_D \times AD = 0 \quad (5)$$

$$R_{Dy} = \frac{F_y \times AB + M + q \times CD \times AK}{AD} = \frac{10 \times 1 + 10 + 2 \times 3}{4} = 6,5 \text{ кН}$$

Определяем другую вертикальную реакцию:

$$\sum M_D (F_i) = R_{Ay} \times AD - F_y \times BD + M - q \times CD \times KD = 0 \quad (6)$$

$$R_{Ay} = \frac{F_y \times BD - M + q \times CD \times KD}{AD} = \frac{F \times \sin \alpha \times CD - M + q \times CD \times KD}{AD} =$$

$$= \frac{20 \times 0,5 \times 3 - 10 + 2}{4} = 5,5 \text{ кН}$$

Определяем горизонтальную реакцию:

$$\sum X_i = R_{Ax} - F_x = 0 \quad (7)$$

$$R_{Ax} = F_x = F \times \cos\alpha = 20 \times 0,866 = 17,3 \text{ кН}$$

6 Проверяем правильность найденных результатов:

$$\sum Y_i = R_{Ay} - F_y - q \times CD + R_{Dy} = 5,5 - 10 - 2 + 6,5 = 0 \quad (8)$$

Условие равновесия $\sum Y_i = 0$ выполняется, следовательно, реакции опор найдены верно.

Методические рекомендации к решению задач по разделу 2 «Сопротивление материалов»

Прежде чем приступить к их решению, учащийся должен научиться безукоризненно владеть методом сечений для определения внутренних силовых факторов. Эти навыки пригодятся для выполнения всех остальных задач.

Задачи (21-30)

Требуют от учащихся умения строить эпюры продольных сил, нормальных напряжений и определять удлинения или укорочения бруса.

При работе бруса на растяжение и сжатие в его поперечных сечениях возникает продольная сила N . Продольная сила в произвольном поперечном сечении бруса численно равна алгебраической сумме проекций на его продольную ось всех внешних сил, действующих на отсеченную часть.

Правило знаков для N : – при растяжении продольная сила положительна, а при сжатии - отрицательна.

При растяжении (сжатии) бруса в его поперечных сечениях возникают нормальные напряжения

$$\sigma = \frac{N}{A}, \quad (9)$$

где A - площадь поперечного сечения, мм^2 ;

N - продольная сила, Н .

Для нормальных напряжений принимается то же правило знаков, что и для продольных сил.

Изменение длины бруса (удлинение или укорочение) равно алгебраической сумме удлинений (укорочений) его отдельных участков и вычисляется по формуле Гука

$$\Delta l = \sum \Delta l_i = \sum \frac{N_i \times l_i}{E \times A_i}, \quad (10)$$

где N_i - продольная сила, Н ;

l_i - длина бруса, мм ;

E - модуль продольной упругости, МПа ;

A_i - площадь сечения в пределах каждого участка бруса, мм².

Последовательность решения задачи

1 Разбить брус на участки, начиная от свободного конца. Границами участков являются сечения, в которых приложены внешние силы, и места изменения размеров поперечного сечения.

2 Определить по методу сечений продольную силу для каждого участка (ординаты эпюры N), построить эпюру продольных сил N .

Проведя параллельно оси бруса базовую (нулевую) линию эпюры, отложить перпендикулярно ей в произвольном масштабе получаемые значения ординат. Через концы ординат провести линии, проставить знаки и заштриховать эпюру линиями, параллельными ординатам.

3 Для построения эпюры нормальных напряжений определяем напряжения в поперечных сечениях каждого из участков. В пределах каждого участка напряжения постоянны, т.е. эпюры на данном участке изображаются прямой, параллельной оси бруса.

4 Перемещение свободного бруса определяем как сумму удлинений (укорочений) участков бруса, вычисленных по формуле Гука.

Пример решения задачи (21-30)

Для данного ступенчатого бруса, рисунок 3а построить эпюру продольных сил, продольных напряжений и определить перемещение свободного конца, если $E=2 \times 10^5$ МПа.

$$F_1 = 30 \text{ кН} = 3 \times 10^3 \text{ Н.}$$

$$F_2 = 38 \times 10^3 \text{ Н; } 38 \text{ кН} = 38 \times 10^3 \text{ Н.}$$

$$F_3 = 42 \text{ кН} = 42 \times 10^3 \text{ Н.}$$

$$A_1 = 1,9 \text{ см}^2 = 1,9 \times 10^2 \text{ мм}^2.$$

$$A_2 = 3,1 \text{ см}^2 = 3,1 \times 10^3 \text{ мм}^2.$$

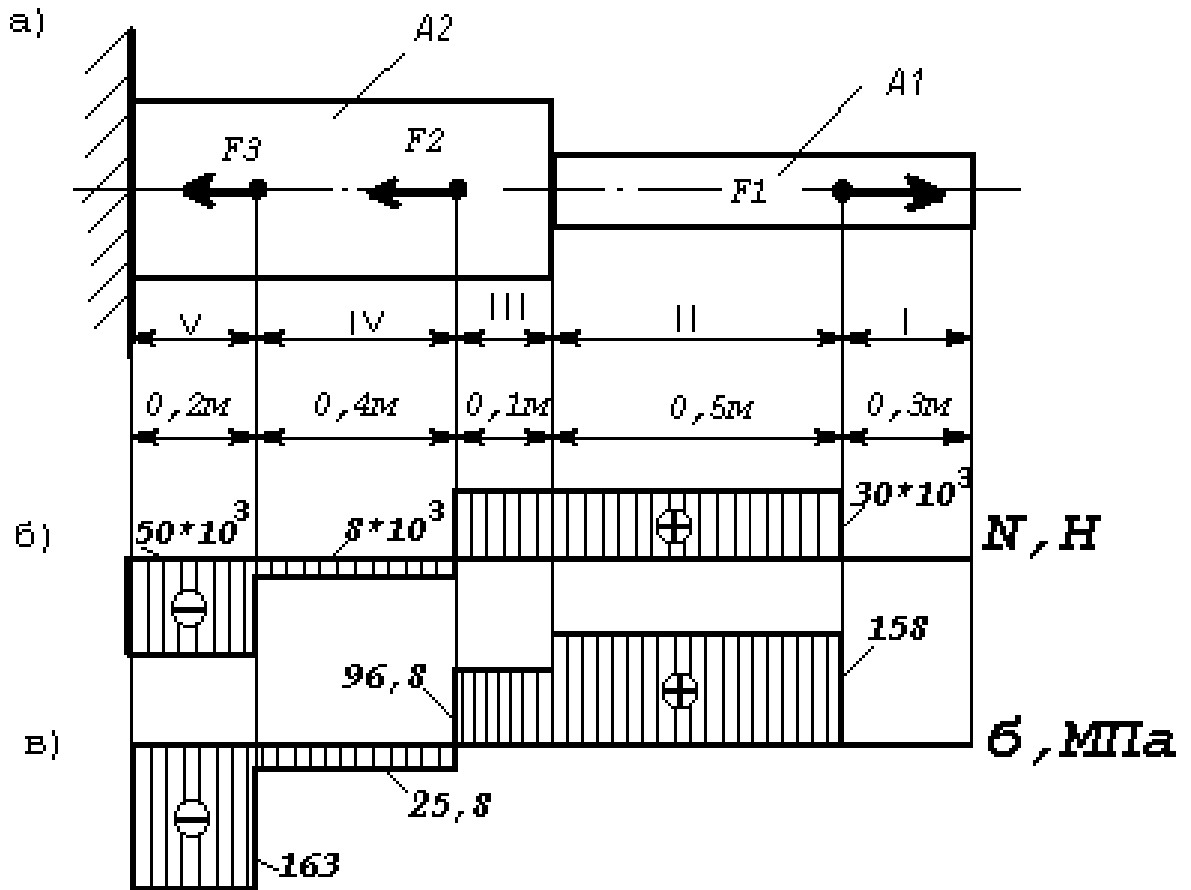


Рисунок 3 – Расчетная схема

Решение

1 Отмечаем участки, как показано на рисунке 3а.

2 Определяем значения продольной силы N на участках бруса:

$$N_1=0; \quad N_2=F_1=30\text{кН}; \quad N_3=F_1=30\text{кН}; \quad N_4=F_1-F_2= -8\text{кН};$$

$$N_5=F_1-F_2-F_3= -50\text{кН}.$$

Строим эпюру продольных сил, рисунок 3б.

3 Вычисляем значения нормальных напряжений:

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = 0,$$

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A_1} = \frac{30 \times 10^3}{1,9 \times 10^2} = 158 \text{ МПа},$$

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{A_2} = \frac{30 \times 10^3}{3,1 \times 10^2} = 96,8 \text{ МПа},$$

$$\sigma_4 = \frac{N_4}{A_2} = \frac{8 \times 10^3}{3,1 \times 10^2} = -25,8 \text{ МПа},$$

$$\sigma_5 = \frac{N_5}{A_2} = \frac{50 \times 10^3}{3,1 \times 10^2} = -163 \text{ МПа}$$

Строим эпюру нормальных напряжений, рисунок 3в.

4 Определяем перемещение свободного конца

$$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 + \Delta l_4 + \Delta l_5,$$

$$\Delta l_1 = \frac{N_1 \times l_1}{E \times A_1} = 0$$

$$\Delta l_2 = \frac{N_2 \times l_2}{E \times A_2} = \frac{30 \times 10^3 \times 0,5 \times 10^3}{2 \times 10^5 \times 1,9 \times 10^2} = 0,394 \text{ мм},$$

$$\Delta l_3 = \frac{N_3 \times l_3}{E \times A_3} = \frac{30 \times 10^3 \times 0,1 \times 10^3}{2 \times 10^5 \times 3,1 \times 10^2} = 0,0484 \text{ мм},$$

$$\Delta l_4 = -\frac{N_4 \times l_4}{E \times A_4} = \frac{8 \times 10^3 \times 0,4 \times 10^3}{2 \times 10^5 \times 3,1 \times 10^2} = -0,0516 \text{ мм},$$

$$\Delta l_5 = -\frac{N_5 \times l_5}{E \times A_5} = \frac{50 \times 10^3 \times 0,2 \times 10^3}{2 \times 10^5 \times 3,1 \times 10^2} = -0,161 \text{ мм},$$

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

Брус удлиняется на 0,23мм.

Задачи (31-40)

К решению этой задачи следует приступить после изучения темы «Кручение».

Кручением называют такой вид нагружения бруса, при котором в его поперечных сечениях возникает только один силовой фактор-крутящий момент M_k (или M_z).

Крутящий момент в произвольном поперечном сечении бруса равен алгебраической сумме внешних моментов, действующих на отсеченную часть: $M_k = \sum M_i$ (имеется в виду, что плоскости действия

всех внешних скручивающих моментов M_i перпендикулярны продольной оси бруса).

Будем считать крутящий момент положительным, если для наблюдателя, смотрящего на проведенное сечение, он представляется направленным по часовой стрелке. Соответствующий внешний момент направлен против часовой стрелки, рисунок 4.

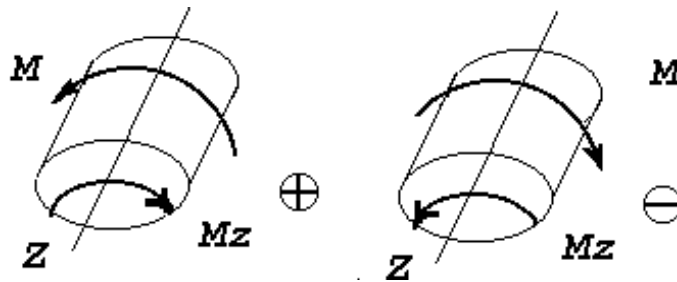


Рисунок 4 – Расчетная схема

Последовательность решения задачи

- 1 Определить внешние скручивающие моменты по формуле

$$M = \frac{P}{\omega}, \quad (11)$$

где P – мощность; кВт;

ω - угловая скорость; рад/с.

- 2 Определить уравнивающий момент, используя уравнение равновесия $\sum M_i = 0$, так как при равномерном вращении вала алгебраическая сумма приложенных к нему внешних скручивающих (вращающих) моментов равна нулю.

- 3 Пользуясь методом сечений, построить эпюру крутящих моментов по длине вала.

- 4 Для участка вала, в котором возникает наибольший крутящий момент, определить диаметр вала круглого или кольцевого сечения из условия прочности и жесткости. Для кольцевого сечения вала принять соотношение диаметров

$$c = \frac{d_o}{d}, \quad (12)$$

где d_0 – внутренний диаметр кольца, мм
 d - наружный диаметр кольца, мм.

Из условия прочности:

$$\omega_p = \frac{M_{zmax}}{[\tau_k]}, \quad (13)$$

где M_{zmax} - наибольший крутящий момент, Н×мм;
 ω_p - полярный момент сопротивления кручению, мм³;
 $[\tau_k]$ - допускаемое касательное напряжение, МПа.

Сечение вала – круг

$$\omega_p = \frac{\pi \times d^3}{16}, \quad (14)$$

Необходимый по прочности диаметр вала

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \times M_{zmax}}{\pi \times [\tau_k]}} \quad (15)$$

Сечение вала - кольцо

$$\omega = \frac{\pi \times d^3}{16} \times (1 - c^4) \quad (16)$$

Необходимый по прочности наружный диаметр кольца

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \times M_{zmax}}{\pi \times [\tau_k] \times (1 - c^4)}} \quad (17)$$

Из условия жесткости:

$$I_p \geq \frac{32 M_{Z_{\max}}}{G \times [\varphi_0]}, \quad (18)$$

где I_p - полярный момент инерции сечения, мм^4 ;

G - модуль упругости при сдвиге, МПа;

$[\varphi_0]$ - допускаемый угол закручивания сечения, рад/с.

Сечение вала – круг

$$I_p = \frac{\pi \times d^4}{32} \quad (19)$$

Необходимый по жесткости диаметр вала:

$$d = \sqrt[4]{\frac{32 \times M_{Z_{\max}}}{\pi \times G \times [\varphi_0]}} \quad (20)$$

Сечение вала - кольцо

$$I_p = \frac{\pi \times d^4}{32} (1 - c^4) \quad (21)$$

Необходимый по жесткости наружный диаметр кольца

$$d = \sqrt[4]{\frac{32 \times M_{Z_{\max}}}{\pi \times G \times [\varphi_0] \times (1 - c^4)}} \quad (22)$$

Пример решения задачи (31-40)

Для стального вала, рисунок 5, постоянного по длине сечения требуется:

1 Определить значения моментов M_2 и M_3 , соответствующие передаваемым мощностям P_2 и P_3 , а так же уравновешивающий момент M_1 .

2 Построить эпюру крутящих моментов;

3 Определить требуемый диаметр вала из расчетов на прочность и жесткость, полагая по варианту (а) поперечное сечение

вала-круг; по варианту (б)-поперечное сечение вала-кольцо, имеющее

$$c = \frac{d_0}{d} = 0,8$$

соотношение диаметров ,

Принять: $[\tau_k]=30\text{МПа}$; $[\varphi_0]=0,02\text{рад/м}=0,02\times 10^{-3}\text{рад/мм}$; $P_2=52\text{кВт}$;
 $P_3=50\text{кВт}$; $\omega=20\text{рад/с}$; $G=8\times 10^4\text{МПа}$

Окончательное значение диаметра округлить до ближайшего четного (или оканчивающегося на пять) числа.

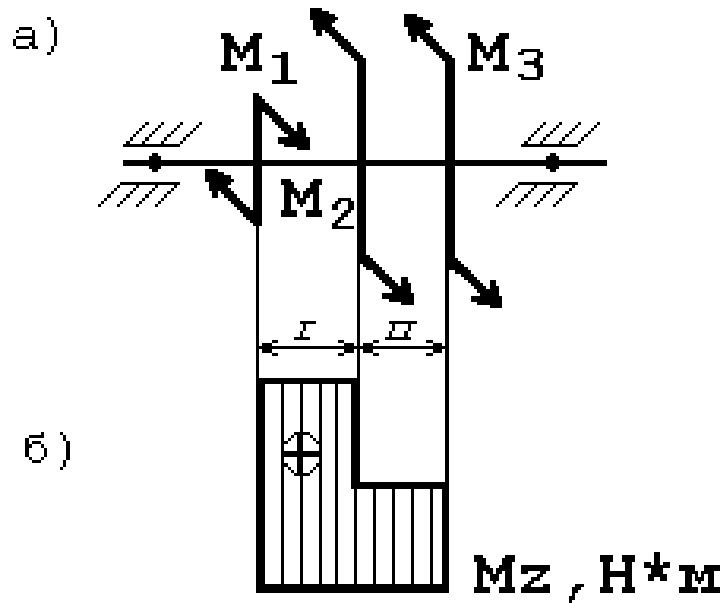


Рисунок 5 – Расчетная схема

Решение

1 Определяем внешние вращающие моменты.

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega} = \frac{52 \times 10^3}{20} = 2600 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_3 = \frac{P_3}{\omega} = \frac{50 \times 10^3}{20} = 2500 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2 Определяем уравновешивающий момент M_1

$$\sum M_i = 0; \quad M_1 - M_2 - M_3 = 0; \quad M_1 = M_2 + M_3 = 5100 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

3 Определяем крутящий момент по участкам вала.

$$M_{Z_I} = M_1 = 5\,100 \text{ Н}\times\text{м},$$

$$M_{Z_{II}} = M_1 - M_2 = 5\,100 - 2\,600 = 2\,500 \text{ Н}\times\text{м}$$

Строим эпюру крутящих моментов, рисунок 5б

4 Определяем диаметр вала из условий прочности и жесткости

$$M_{Z_I \max} = 5\,100 \text{ Н}\times\text{м}$$

Сечение вала – круг

Из условия прочности

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \times M_{Z_{\max}}}{\pi \times [\tau_k]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \times 5100 \times 10^3}{3,14 \times 30}} = 95,2 \text{ мм}$$

Принимаем $d=95 \text{ мм}$

Из условия жесткости

$$d = \sqrt[4]{\frac{32 \times M_{Z_{\max}}}{\pi \times G \times [\varphi_0]}} = \sqrt[4]{\frac{32 \times 5100 \times 10^3}{3,14 \times 8 \times 10^4 \times 0,02 \times 10^{-3}}} = 75,5 \text{ мм}$$

Принимаем $d=76 \text{ мм}$

Сечение вала – кольцо

Из условия прочности

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \times M_{Z_{\max}}}{\pi \times [\tau_k] \times (1-c^4)}} = \sqrt[3]{\frac{16 \times 5100 \times 10^3}{3,14 \times 30 \times (1-0,8^4)}} = 113 \text{ мм}$$

Принимаем $d=114 \text{ мм}$

Из условия жесткости

$$d = \sqrt[4]{\frac{32 \times M_{Z_{\max}}}{\pi \times G \times [\varphi_0] \times (1-c^4)}} = \sqrt[4]{\frac{32 \times 5100 \times 10^3}{3,14 \times 8 \times 10^4 \times 0,02 \times 10^{-3} \times (1-0,8^4)}} = 86,5 \text{ мм}$$

Принимаем $d=86 \text{ мм}$

Требуемые диаметры окончательно принимаем из расчетов на прочность: $d=114\text{мм}$; $d_0=0,8d=0,8\times 114=91,2$. Принимаем $d_0=92\text{мм}$.

Задачи (41-50)

К решению этой задачи следует приступить после изучения темы «Изгиб».

Изгиб - это такой вид нагружения бруса, при котором в его поперечных сечениях возникают изгибающие моменты. В большинстве случаев одновременно с изгибающими моментами возникают и поперечные силы; такой изгиб называют поперечным; если поперечные силы не возникают, изгиб называют чистым. Изгибающий момент M_x в произвольном поперечном сечении бруса численно равен алгебраической сумме моментов внешних сил, действующих на отсеченную часть, относительно центра тяжести сечения, $M_x = \sum \dot{I}$.

Поперечная сила в произвольном поперечном сечении бруса численно равна алгебраической сумме внешних сил, действующих на отсеченную часть, $Q = \sum F$.

Причем все внешние силы и моменты действуют в главной продольной плоскости бруса и расположены перпендикулярно оси бруса.

Правило знаков для поперечной силы: силам, поворачивающим отсеченную часть балки относительно рассматриваемого сечения относительно рассматриваемого сечения по ходу часовой стрелки, приписывается знак плюс, рисунок ба, а силам, поворачивающим отсеченную часть балки относительно рассматриваемого сечения против часовой стрелки, приписывается знак минус, рисунок бб.

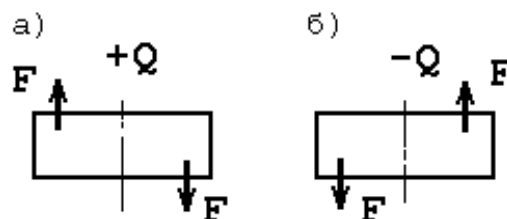


Рисунок 6 – Расчетная схема

Правило знаков для изгибающих моментов: внешним моментом, изгибающим мысленно закрепленную в рассматриваемом сечении отсеченную часть бруса, выпуклостью вниз, приписывают знак «+»,

рисунок 7а, а моментам, изгибающим отсеченную часть бруса выпуклостью вверх, --знак «-», рисунок 7б.

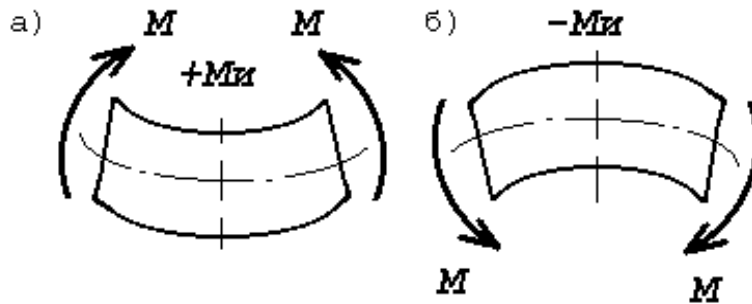


Рисунок 7 – Расчетная схема

Между изгибающим моментом M_x , поперечной силой Q_y и интенсивностью распределенной нагрузки q существуют

дифференциальные зависимости $\frac{\partial M_x}{\partial z} = Q_y$, $\frac{\partial Q_y}{\partial z} = q$.

На основе метода сечений и дифференциальных зависимостей устанавливается взаимосвязь эпюр M_x и Q_y между собой и с внешней нагрузкой, поэтому достаточно вычислить ординаты эпюр для характерных сечений и соединить их линиями. Характерными являются сечения балки, где приложены сосредоточенные силы и моменты (включая опорные сечения), а также сечения, ограничивающие участки с равномерно распределенной нагрузкой.

Правила построения эпюр

Для эпюры поперечных сил:

- на участке, нагруженном равномерно распределенной нагрузкой, эпюра изображается прямой, наклоненной к оси балки;
- на участке, свободном от равномерно распределенной нагрузки, эпюра изображается прямой, параллельной оси балки;
- в сечении балки, где приложена сосредоточенная пара сил, поперечная сила не меняет значения;
- в сечении, где приложена сосредоточенная сила, значение поперечной силы меняется скачкообразно на значение, равное приложенной силе;
- в конечном сечении балки поперечная сила численно равна сосредоточенной силе (активной или реактивной), приложенной в этом сечении. Если в конечном сечении балки не приложена сосредоточенная сила, то поперечная сила в этом сечении равна нулю.

Для эпюры изгибающих моментов:

- на участке, нагруженном равномерно распределенной нагрузкой, эпюра моментов изображается квадратичной параболой (выпуклость параболы направлена навстречу нагрузке);

- на участке, свободном от равномерно распределенной нагрузки, эпюра моментов изображается прямой линией;

- в сечении балки, где приложена сосредоточенная пара сил, изгибающий момент меняется скачкообразно на значение, равное моменту приложенной пары;

- изгибающий момент в концевом сечении балки равен нулю, если в нем не приложена сосредоточенная пара сил. Если же в концевом сечении приложена активная или реактивная пара сил, то изгибающий момент в сечении равен моменту приложенной пары;

- на участке, где поперечная сила равна нулю, балка испытывает чистый изгиб, эпюра изгибающих моментов изображается прямой параллельной оси балки;

- изгибающий момент принимает экстремальное значение в сечении, где эпюра поперечных сил проходит через нуль, меняя знаки с «+» на «-» или с «-» на «+».

В рассматриваемой задаче требуется построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов, а так же подобрать размеры поперечного сечения балки, выполненной из прокатного профиля - двутавра.

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

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq [\sigma], \quad (23)$$

где W_x -осевой момент сопротивления сечения, мм^3 .

Для подбора сечения балки (проектного расчета) из условия прочности определяют необходимое значение осевого момента сопротивления

$$W_x \geq \frac{M_{x\max}}{[\sigma]} \quad (24)$$

По найденному моменту сопротивления W_x подбирают соответствующее сечение по сортаменту.

Для закрепленной одним концом балки строить эпюры целесообразно со свободного конца.

Последовательность решения задачи:

1 Балку разделить на участки по характерным сечениям.
 2 Определить вид эпюры поперечных сил на каждом участке в зависимости от внешней нагрузки, вычислить поперечные силы в характерных сечениях и построить эпюру поперечных сил.

3 Определить вид эпюры изгибающих моментов на каждом участке в зависимости от внешней нагрузки, вычислить изгибающие моменты в характерных сечениях и построить эпюру изгибающих моментов.

4 Для данной балки, имеющей по всей длине постоянное поперечное сечение, выполнить проектный расчет, т. е. определить W_x в опасном сечении, где изгибающий момент имеет наибольшее по модулю значение.

Пример решения задачи (41-50)

Для заданной консольной балки (поперечное сечение - двутавр), $[\sigma]=160\text{МПа}$, построить эпюры Q_y и M_x и подобрать сечение по сортаменту.

Решение

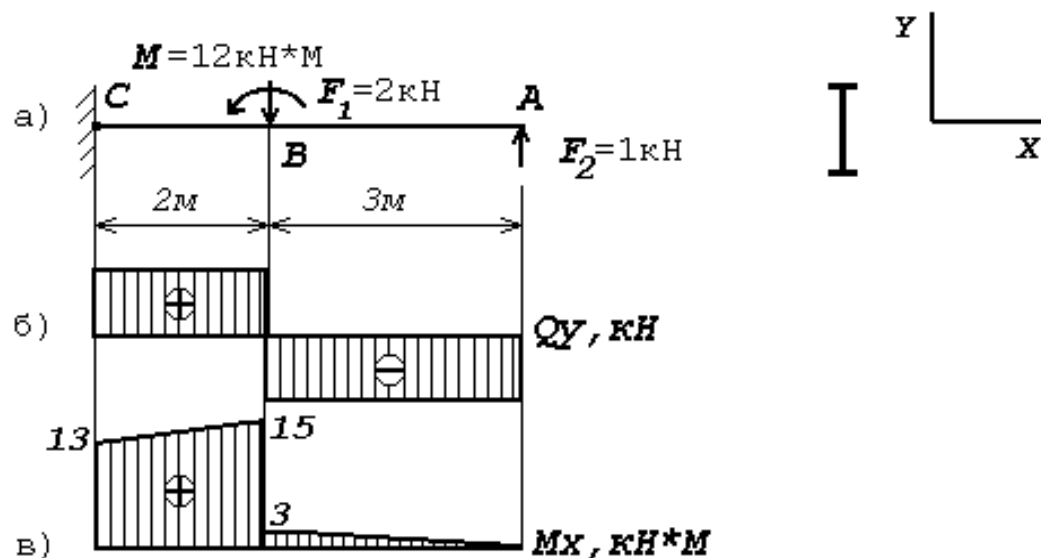


Рисунок 8 – Расчетная схема

1 Делим балку на участки по характерным сечениям А, В, С, рисунок 8а.

2 Определяем значения поперечной силы Q_y в характерных сечениях и строим эпюру, рисунок 8б.

$$Q_A^{\text{леВ}} = -F_2 = -1 \text{ кН},$$

$$Q_B^{\text{пр}} = -F_2 = -1 \text{ кН},$$

$$Q_B^{\text{леВ}} = -F_2 + F_1 = -1 + 2 = 1 \text{ кН}$$

$$Q_C = -F_2 + F_1 = -1 + 2 = 1 \text{ кН}$$

3 Определяем значения изгибающего момента M_x в характерных сечениях и строим эпюру, рисунок 8в.

$$M_A = 0;$$

$$M_B^{\text{пр}} = F_2 \times AB = 1 \times 3 = 3 \text{ кН} \times \text{м};$$

$$M_B^{\text{леВ}} = F_2 \times AB + M = 1 \times 3 + 12 = 15 \text{ кН} \times \text{м};$$

$$M_C = F_2 \times AC + M - F_1 \times BC = 1 \times 5 + 12 - 2 \times 2 = 13 \text{ кН} \times \text{м}$$

4 Исходя из эпюры M_x , рисунок 8в

$$M_x = 15 \text{ кН} \times \text{м} = 15 \times 10^6 \text{ Н} \times \text{мм};$$

$$W_x = \frac{M_{x\text{max}}}{[\sigma]} = \frac{15 \times 10^6}{160} = 93700 \text{ мм}^3 = 93,7 \text{ см}^3$$

В соответствии с ГОСТ 8239-72 выбираем двутавр №16 при $W_x = 109,0 \text{ см}^3$

Задачи (51-60)

Для того чтобы решить шестую задачу, необходимо внимательно изучить тему «Изгиб», методические рекомендации к задаче 5, а так же приведенный далее пример.

Последовательность решения задачи та же, что и пятой, отличие лишь в том, что шестую задачу начинают решать с определения реакций опор балки и проверки правильности найденных реакций.

Пример решения задачи (51-60)

Для заданной двухопорной балки, рисунок 9а, определить реакции опор, построить эпюру 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 $[\sigma]=160$ МПа.

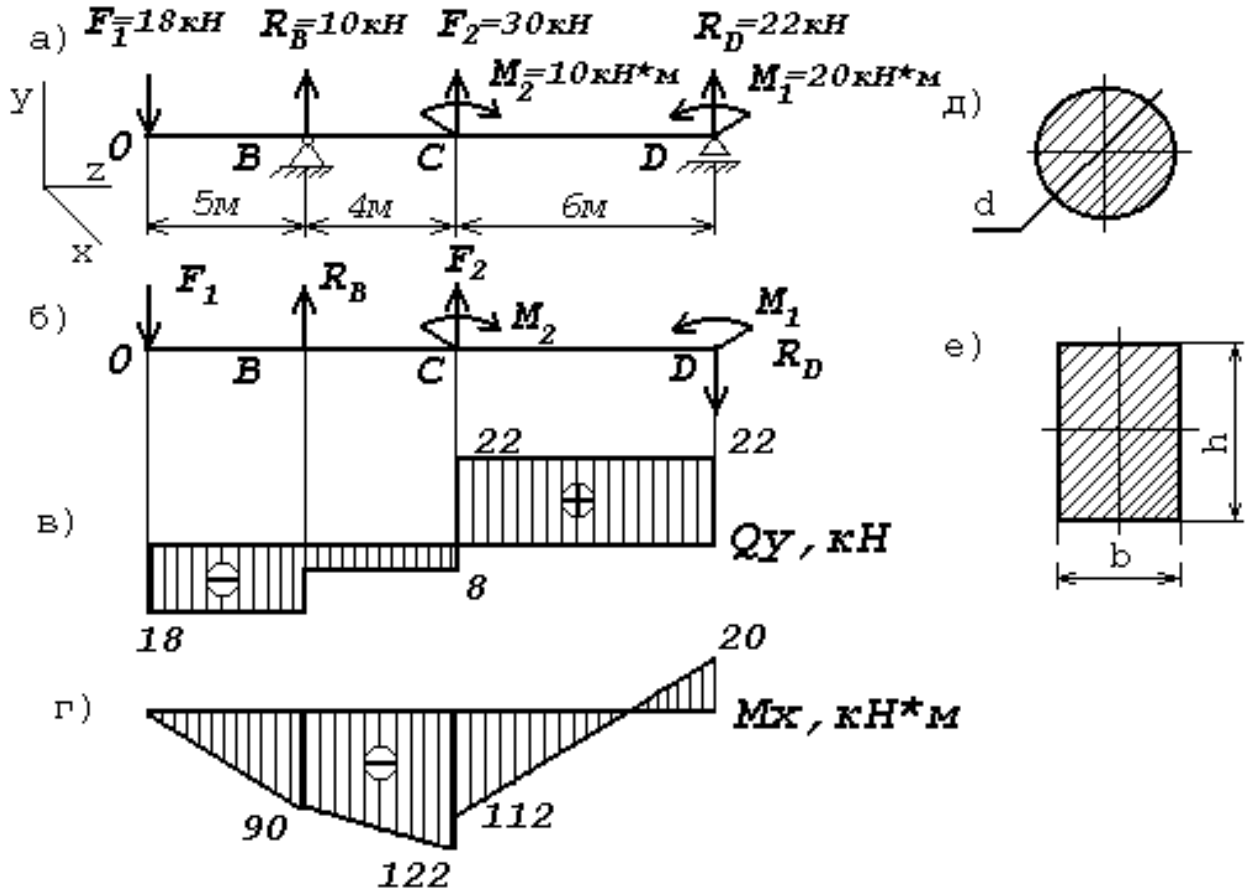


Рисунок 9 – Расчетная схема

Решение

1 Определяем опорные реакции и проверяем их найденные значения:

$$\sum M_D = 0,$$

$$\sum M_D = -M_1 + F_2 \times CD + M_2 + R_B \times BD - F_1 \times OD = 0,$$

$$R_B = \frac{M_1 - F_2 \times CD - M_2 + F_1 \times OD}{BD} = \frac{20 - 30 \times 6 - 10 + 18 \times 15}{10} = 10 \text{кН},$$

$$\sum M_B = 0,$$

$$\sum M_B = -M_1 - F_1 \times OB + M_2 - R_D \times BD - F_2 \times BC = 0,$$

$$R_D = \frac{-M_1 - F_2 \times BC + M_2 - F_1 \times OB}{BD} = \frac{-20 - 30 \times 4 + 10 - 18 \times 5}{10} = -22 \text{ кН}$$

Так как реакция R_D получилась со знаком «-», то изменится первоначальное направление на противоположное. Истинное направление реакции R_D -вниз, рисунок 9б.

Проверка:

$$\sum Y_0 = -F_1 + R_B + F_2 - R_D = -18 + 10 + 30 - 22 = 0$$

Условие статики $\sum Y_i = 0$ выполняется, следовательно, реакции опор определены верно.

Для построения эпюр используем только истинные направления реакций опор.

2 Делим балку на участки по характерным сечениям О, В, С, Д.

3 Определяем в характерных сечениях значения поперечной силы Q_u и строим эпюру слева направо, рисунок 9в.

$$Q_O = -F_1 = -18 \text{ кН},$$

$$Q_B^{\text{лев}} = -F_1 = -18 \text{ кН},$$

$$Q_B^{\text{пр}} = -F_1 + R_B = -18 + 10 = -8 \text{ кН},$$

$$Q_C^{\text{лев}} = -F_1 + R_B = -18 + 10 = -8 \text{ кН},$$

$$Q_C^{\text{пр}} = -F_1 + R_B + F_2 = -18 + 10 + 30 = 22 \text{ кН},$$

$$Q_D^{\text{лев}} = -F_1 + R_B + F_2 = -18 + 10 + 30 = 22 \text{ кН},$$

4 Вычисляем в характерных сечениях значения изгибающего момента M_x и строим эпюру, рисунок 9г.

$$M_O = 0,$$

$$M_B = -F_1 \times AB = -18 \times 5 = -90 \text{ кН} \times \text{м},$$

$$M_C^{\text{пр}} = -F_1 \times OC + R_B \times BC = -18 \times 9 + 10 \times 4 = -122 \text{ кН} \times \text{м},$$

$$M_C^{\text{лев}} = -F_1 \times OC + R_B \times BC + M_2 = -18 \times 9 + 10 \times 4 + 10 = -122 \text{ кН} \times \text{м},$$

$$M_D = -F_1 \times OD + R_B \times BD + M_2 + F_2 \times CD =$$

$$= -18 \times 15 + 10 \times 10 + 10 + 30 \times 6 = 20 \text{кН} \times \text{м}$$

5 Вычисляем размеры сечений данной балки из условий прочности на изгиб по двум вариантам:

а) сечение - прямоугольник с заданным соотношением сторон, рисунок 9е;

б) сечение – круг, рисунок 9д.

Вычисление размеров прямоугольного сечения

$$W_x = \frac{M_{X_{\max}}}{[\sigma]} = \frac{122 \times 10^6}{160} = 0,762 \times 10^6 \text{мм}^3$$

Используя формулу $W_x = \frac{b \times h^2}{6}$ и учитывая, что $h=1,5b$, находим

$$d = \sqrt[3]{\frac{6 \times W_x}{2,25}} = \sqrt[3]{\frac{6 \times 0,762 \times 10^6}{2,25}} = 10^2 \times \sqrt[3]{2,06} = 127 \text{мм}$$

Используя формулу $W_x = \frac{\pi \times d^3}{32}$, находим диаметр круглого сечения.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times W_x}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \times 0,762 \times 10^6}{3,14}} = 196 \text{мм}$$

Таблица 2 – Варианты заданий на домашнюю контрольную работу №1 по учебному предмету
«Техническая механика»

№ вариант а	Номера задач						№ варианта	Номера задач					
00	1	11	21	31	41	51	50	10	11	29	39	45	55
01	2	12	22	32	42	52	51	9	12	30	38	42	54
02	3	13	23	33	43	53	52	8	13	27	31	44	57
03	4	14	24	34	44	54	53	7	14	28	40	43	56
04	5	15	26	36	46	56	54	6	15	25	33	46	59
05	6	16	25	35	45	55	55	5	16	26	32	47	58
06	7	17	28	38	48	58	56	4	17	23	35	48	51
07	8	18	27	37	47	57	57	3	18	24	34	49	60
08	9	19	30	40	50	60	58	2	19	21	37	50	53
09	10	20	29	39	49	59	59	1	20	22	36	41	52
10	1	20	22	40	49	58	60	2	15	24	39	45	53
11	2	11	21	39	48	57	61	4	16	22	40	46	54
12	3	12	23	31	50	59	62	1	17	33	37	43	51
13	4	13	24	32	41	60	63	3	18	21	38	44	52
14	5	14	26	34	43	52	64	6	19	28	35	41	59
15	6	15	25	33	42	51	65	8	20	26	36	42	60
16	7	16	28	36	45	54	66	5	11	27	33	48	57
17	8	17	27	35	44	53	67	7	12	25	34	47	58
18	9	18	30	38	47	56	68	10	13	29	31	50	55
19	10	19	29	37	46	55	69	9	14	30	32	49	56
20	1	19	22	38	46	54	70	1	20	23	32	45	55

Продолжение таблицы 2

№ вариант а	Номера задач						№ вариан та	Номера задач					
21	2	20	21	37	45	53	71	3	11	21	31	50	54
22	3	11	24	40	48	56	72	5	12	27	34	44	52
23	4	12	23	39	47	55	73	7	13	25	33	41	53
24	5	13	26	32	50	58	74	9	14	22	36	43	56
25	6	14	25	31	49	57	75	2	15	29	35	48	51
26	7	15	28	34	42	60	76	4	16	26	39	49	59
27	8	16	27	33	41	59	77	6	17	24	37	42	57
28	9	17	30	36	44	52	78	8	18	30	40	46	58
29	10	18	29	35	43	51	79	10	19	28	38	47	60
30	1	18	22	31	48	59	80	1	13	23	37	49	51
31	2	19	21	40	49	58	81	3	15	21	35	47	59
32	3	20	24	33	42	51	82	5	17	27	31	43	57
33	4	11	23	32	41	60	83	7	19	25	39	45	53
34	5	12	26	35	44	53	84	9	11	22	36	48	60
35	6	13	25	34	43	52	85	2	14	29	33	41	55
36	7	14	28	37	46	55	86	4	16	26	40	44	54
37	8	15	27	36	45	54	87	6	18	24	38	50	52
38	9	16	29	38	47	56	88	8	12	30	34	42	56
39	10	17	22	39	50	57	89	10	12	28	32	46	58
40	2	16	30	39	44	52	90	1	12	22	34	45	56
41	3	17	24	31	41	57	91	2	13	21	33	44	54
42	4	18	23	40	42	51	92	3	14	24	36	47	58

Продолжение таблицы 2

№ вариан та	Номера задач						№ вариан та	Номера задач					
43	5	19	26	33	46	54	93	4	15	23	35	46	54
44	6	20	25	32	45	53	94	5	16	26	38	49	60
45	7	11	28	35	48	56	95	6	17	25	37	48	59
46	8	12	27	34	47	55	96	7	18	28	40	41	52
47	9	13	30	37	50	59	97	8	19	27	39	50	51
48	10	14	29	36	49	58	98	9	20	30	32	43	57
49	1	15	21	38	43	60	99	10	11	29	31	42	53

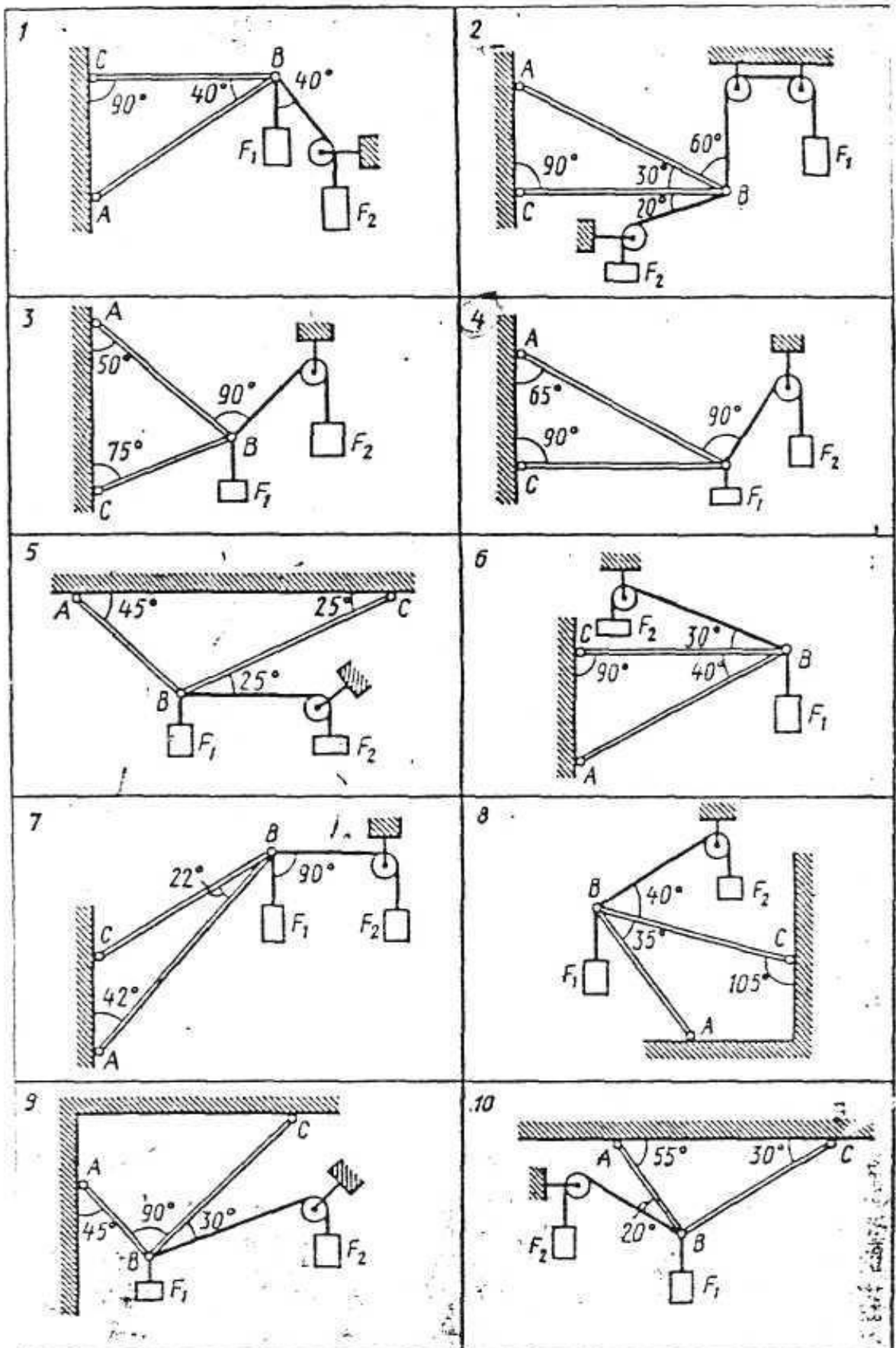
Задания для домашней контрольной работы № 1 по учебному предмету «Техническая механика»

Задачи 1-10

Определить реакции стержней, удерживающих грузы F_1 и F_2 . Массой стержней пренебречь. Схему своего варианта выбирайте на рисунке 10. Числовые данные своего варианта взять из таблицы 3.

Таблица 3 (к задачам 1-10)

№ схемы, рисунок 10		Варианты									
		00	10	20	30	49	59	62	70	80	90
1		00	10	20	30	49	59	62	70	80	90
2		01	11	21	31	40	58	60	75	85	91
3		02	12	22	32	41	57	63	71	81	92
4		03	13	23	33	42	56	61	76	86	93
5		04	14	24	34	43	55	66	72	82	94
6		05	15	25	35	44	54	64	77	87	95
7		06	16	26	36	45	53	67	73	83	96
8		07	17	27	37	46	52	65	78	88	97
9		08	18	28	38	47	51	69	74	84	98
10		09	19	29	39	48	50	68	79	89	99
Груз, кН	F1	0,4	0,3	0,6	0,2	0,5	0,8	0,4	1,2	0,8	0,9
	F2	0,5	0,8	0,4	0,5	0,8	0,4	0,2	0,8	1,0	0,6



Задачи 11-20

Определить реакции опор двухопорной балки. Схему своего варианта выбрать на рисунке 11. Данные своего варианта взять из таблицы 4.

Таблица 4 (к задачам 11-20)

№ задачи	№ схемы, рис. 11	Вариант	q, Н/м	F, Н	M, Н×м	№ задачи	№ схемы, рис. 11	Вариант	q, Н/м	F, Н	M, Н×м
11	1	00	5	40	10	12	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			89	8	30	75
		99	12	54	35			90	10	50	30

Продолжение таблицы 4

№ задачи	№ схемы, рис. 11	Вариант	q, Н/м	F, Н	M, Н×м	№ задачи	№ схемы, рис. 11	Вариант	q, Н/м	F, Н	M, Н×м
13	3	02	5	80	25	14	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
15	5	04	5	50	35	16	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

Продолжение таблицы 4

№ задачи	№ схемы, рис. 11	Вариант	q, Н/м	F, Н	M, Н×м	№ задачи	№ схемы, рис. 11	Вариант	q, Н/м	F, Н	M, Н×м
17	7	06	2	50	35	18	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
19	9	08	4	15	2	20	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

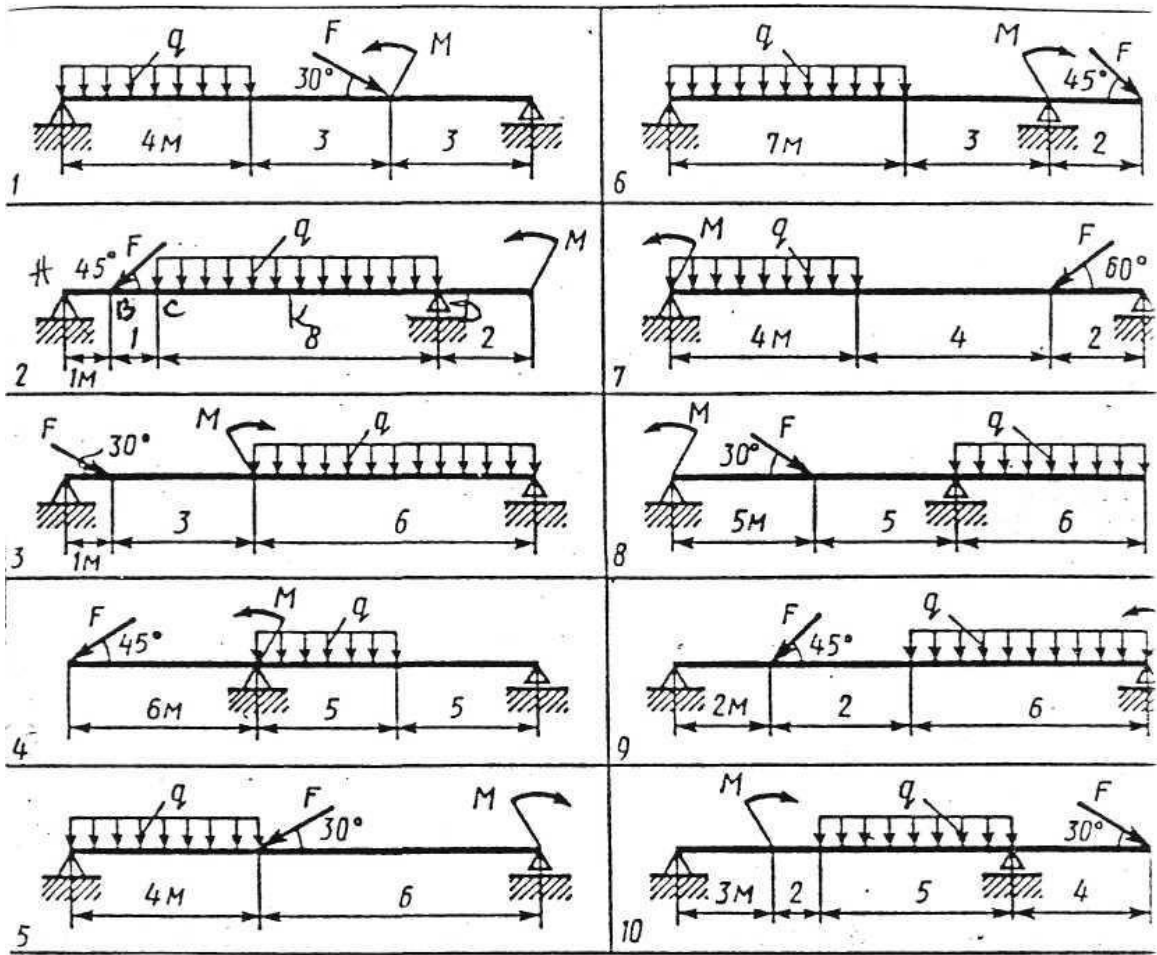


Рисунок 11 – Расчетная схема

Задачи 21-30

Двухступенчатый стальной брус, длины ступеней которого указаны на рисунке 12 (схемы 1-10), нагружен силами F_1, F_2, F_3 .

Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений по длине бруса.

Определить перемещение Δl свободного конца бруса, приняв $E=2 \times 10^5$ МПа. Числовые значения F_1, F_2, F_3 , а также площади поперечных сечений ступеней A_1 и A_2 для своего варианта взять из таблицы 5.

Таблица 5 (к задачам 21-30)

№ задания	схемы рис.12	№ варианта	F ₁	F ₂	F ₃	A ₁	A ₂	№ задания	№ схемы рис. 12	№ варианта	F ₁	F ₂	F ₃	A ₁	A ₂
			кН			см ²					кН			см ²	
21	1	00	30	10	5	1,8	2,6	22	2	01	20	8	14	1,2	1,8
		11	16	15	10	1,1	1,8			10	15	5	13	1,0	1,2
		21	17	13	8	1,0	2,1			20	18	10	15	1,2	1,8
		31	14	16	11	0,9	1,8			30	11	6	12	0,8	1,2
		49	27	14	8	1,7	2,8			39	19	7	13	1,2	1,5
		58	24	11	6	1,3	2,3			59	17	6	13	1,1	1,7
		63	18	12	5	1,1	1,7			61	12	5	15	0,9	1,4
		71	26	13	7	1,6	2,3			74	14	4	12	0,9	1,5
		81	36	20	12	2,5	3,4			84	21	9	10	1,1	1,6
		91	32	16	9	1,8	2,5			90	10	3,5	16	0,6	1,2

Продолжение таблицы 5

№ задания	схемы рис.12	№ варианта	F ₁	F ₂	F ₃	A ₁	A ₂	№ задания	№ схемы рис. 12	№ варианта	F ₁	F ₂	F ₃	A ₁	A ₂
			кН			см ²					кН			см ²	
23	3	02	16	25	28	1,2	1,8	24	4	03	26	9	10	1,9	1,6
		12	8	13	14,5	0,6	1,2			13	16	6	2	1,0	0,7
		23	15	24	29	1,3	2,9			22	24	10	8	2,0	1,7
		33	9	14	16	0,8	1,4			32	16	7	6	1,1	0,9
		42	18	27	31	1,6	3,1			41	27	10	9	2,1	1,8
		56	20	29	33	1,9	1,5			57	25	11	10	2,0	1,8
		62	10	15	18	0,9	1,5			60	15	6	1	0,9	0,6
		70	12	16	19	1,0	1,7			77	18	11	2	0,8	0,5
		80	17	26	30	1,5	3			87	29	12	10	2,2	1,9
		93	11	16	20	1,2	1,8			92	31	14	12	2,4	2,0

Продолжение таблицы 5

№ задания	схемы рис.12	№ варианта	F ₁	F ₂	F ₃	A ₁	A ₂	№ задания	№ схемы рис.12	№ варианта	F ₁	F ₂	F ₃	A ₁	A ₂
			кН			см ²					кН			см ²	
25	5	05	14	16	10	2,1	1,9	26	6	04	28	22	12	2,8	2,6
		15	17	19	13	2,4	2,1			14	19	14	4	2,4	2,1
		25	20	18	12	2,5	2,2			24	26	20	10	2,6	2,2
		35	13	17	9	2,0	1,7			34	20	15	6	1,9	1,7
		44	18	20	14	2,3	1,9			43	30	23	14	2,6	2,4
		54	22	19	13	2,4	2,1			55	18	15	5	2,0	1,7
		67	15	18	12	2,0	1,8			65	29	21	10	2,3	1,8
		73	10	14	11	0,9	0,7			76	25	19	8	2,3	2,0
		83	23	21	15	2,1	1,8			86	21	15	4	2,1	1,9
		95	12	15	9	1,9	1,7			94	31	24	15	2,7	2,4

Продолжение таблицы 5

№ задания	схемы рис.12	№ варианта	F ₁	F ₂	F ₃	A ₁	A ₂	№ задания	№ схемы рис.12	№ варианта	F ₁	F ₂	F ₃	A ₁	A ₂
			кН			см ²					кН			см ²	
27	7	07	17	13	6	1,1	1,5	28	8	06	10	12	13	0,9	0,7
		17	20	17	10	1,3	1,9			16	17	19	20	1,6	1,4
		27	14	10	6	1,1	1,3			26	9	11	12	1,0	0,8
		37	19	15	7	1,0	1,6			36	20	22	24	2,1	1,9
		46	12	8	4	0,8	1,2			45	8	10	12	0,6	0,4
		52	21	18	9	1,3	1,8			53	19	21	24	1,8	1,6
		66	15	11	7	0,8	1,4			64	10	12	15	1,0	0,8
		72	18	14	6	1,2	1,5			79	15	18	20	1,2	1,0
		82	23	19	10	1,3	1,8			89	22	24	27	2,1	1,9
		97	16	12	5	0,9	1,6			96	8	16	15	0,7	0,5

Продолжение таблицы 5

№ задания	схемы рис.12	№ варианта	F ₁	F ₂	F ₃	A ₁	A ₂	№ задания	№ схемы рис. 12	№ варианта	F ₁	F ₂	F ₃	A ₁	A ₂
			кН			см ²					кН			см ²	
29	9	09	40	55	24	2,8	2,4	30	10	08	29	2	54	1,9	1,4
		19	31	46	20	1,9	2,5			18	19	1,1	34	1,3	0,9
		29	25	41	18	1,6	2,1			28	30	4	56	2,0	1,5
		38	28	53	22	2,6	3,2			40	18	1,3	37	1,5	1,3
		48	27	43	21	2,0	2,6			47	30	3	58	2,8	1,6
		50	42	57	25	3,0	3,5			51	21	1,0	37	1,4	1,1
		68	22	39	16	1,4	2,0			69	32	6	60	2,2	1,8
		75	45	59	19	2,8	3,5			78	28	1,5	51	1,8	1,3
		85	24	40	17	1,8	2,1			88	20	0,5	42	1,5	1,3
		99	32	45	18	1,2	1,8			98	35	5	57	2,3	1,7

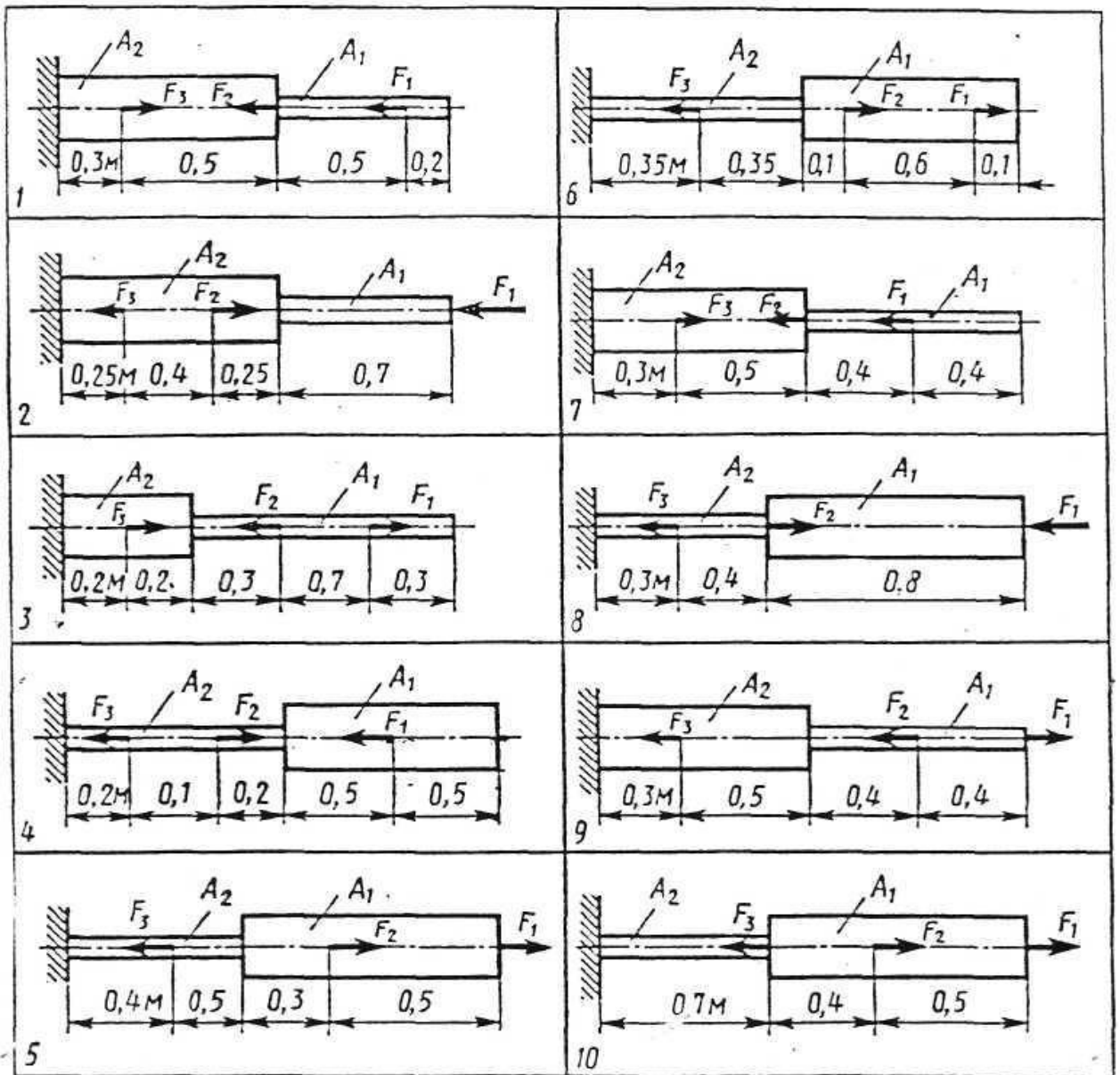


Рисунок 12 – Расчетная схема

Задачи 31-40

Для стального вала постоянного поперечного сечения, рисунок 13, (схемы 1-10).

1 Определить значения моментов M_1, M_2, M_3, M_4 ;

2 Построить эпюру крутящих моментов;

4 Определить диаметр вала и рассчитать на прочность и жесткость, приняв в задачах 31,33,35,37,39 поперечное сечение вала - круг, а в задачах 32,34,36,38,40 - кольцо с соотношением внутреннего и внешнего диаметра

$$\frac{d_0}{d} = c = 0,7$$

Считать $[\tau_k]=30\text{МПа}$; $[\varphi_0]=0,02\text{рад/м}$; $G=8\times 10^4\text{МПа}$

4 Окончательно принимаемое значение диаметра вала должно быть округлено до ближайшего четного или оканчивающегося на пять числа.

Данные своего варианта взять из таблицы 6.

Таблица 6 (к задачам 31-40)

№ задания	№ схемы рис.13	№ варианта	P ₁	P ₄	P ₃	ω , с ⁻¹	№ задания	№ схемы рис.13	№ вариант а	P ₁	P ₄	P ₃	ω , с ⁻¹
			кВт							кВт			
31	1	00	35	20	15	20	32	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
33	3	02	15	10	35	16	34	4	03	60	40	20	20
		15	75	80	25	40			14	150	100	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

Продолжение таблицы 6

№ задания	№ схемы рис.13	№ варианта	P ₁	P ₄	P ₃	ω, с ⁻¹	№ задания	№ схемы рис. 13	№ варианта	P ₁	P ₄	P ₃	ω, с ⁻¹
			кВт							кВт			
35	5	05	100	18	50	20	36	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			65	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				
37	7	07	18	35	40	10	38	8	06	20	50	30	10
		19	16	30	45	12			18	40	115	35	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				

Продолжение таблицы 6

№ задания	№ схемы рис.13	№ варианта	P ₁	P ₄	P ₃	ω , с ⁻¹	№ задания	№ схемы рис. 13	№ варианта	P ₁	P ₄	P ₃	ω , с ⁻¹
			кВт							кВт			
39	9	09	52	100	60	32	40	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

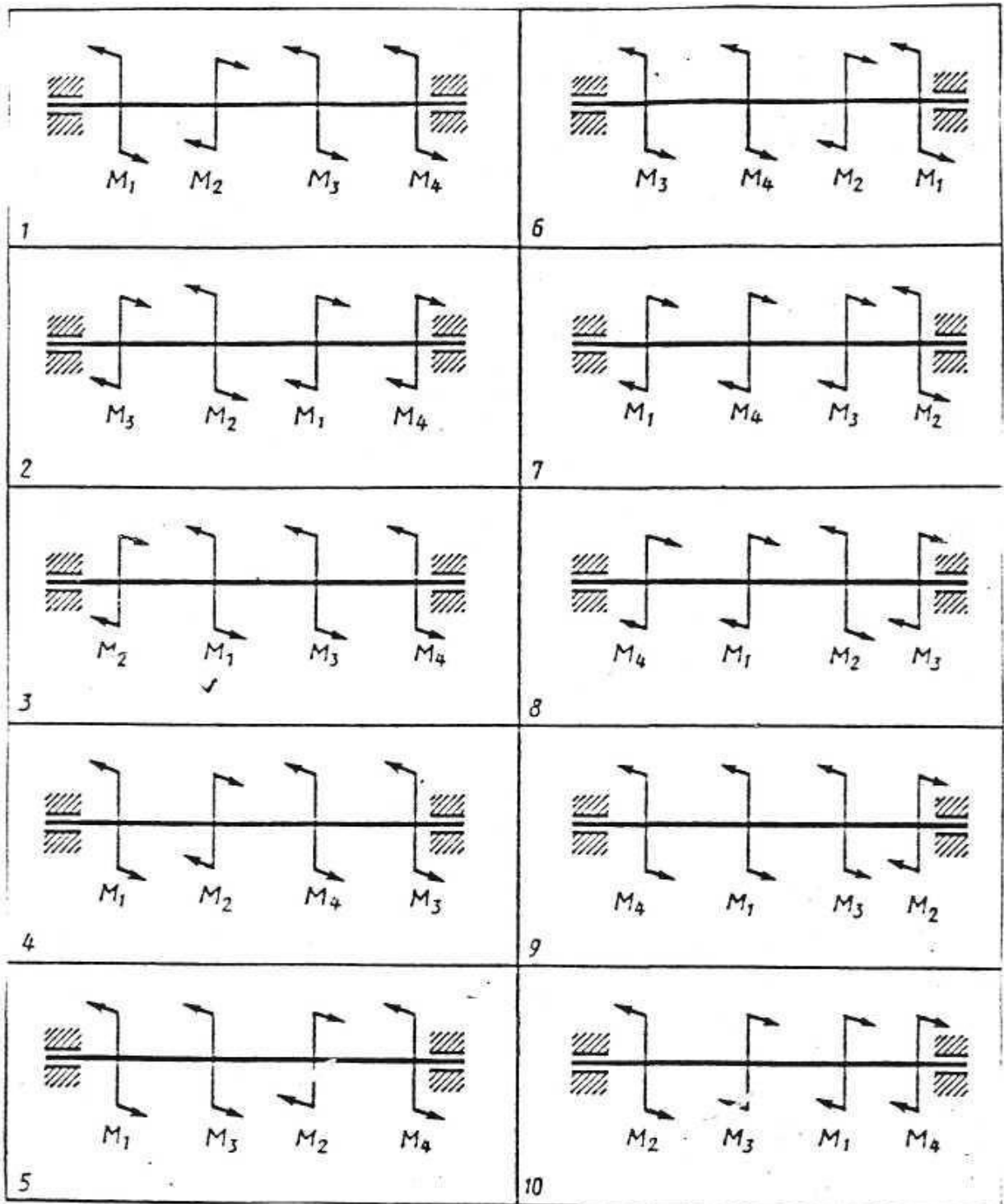


Рисунок 13 – Расчетная схема

Задачи 41-50

Для стальной балки, жестко заземленной одним концом и нагруженной, как показано на рисунке 14 (схемы 1-10), построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.

Принять из условия прочности необходимый размер двутавра, считая $[\sigma]=160\text{МПа}$. Данные для своего варианта взять из таблицы 7.

Таблица 7 (к задачам 41-50)

№ задания	№ схемы рис.14	№ варианта	F ₁	F ₂	M, кН×м	№ задания	№ схемы рис. 14	№ варианта	F ₁	F ₂	M, кН×м
			кН						кН		
41	1	00	1	1	1	42	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			51	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

Продолжение таблицы 7

№ задания	№ схемы рис. 14	№ варианта	F ₁	F ₂	M, кН×м	№ задания	№ схемы рис. 14	№ варианта	F ₁	F ₂	M, кН×м
			кН						кН		
43	3	02	6	1,5	4	44	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		
45	5	05	2	6	10	46	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 7

№ задания	№ схемы рис.14	№ варианта	F ₁	F ₂	M, кН×м	№ задания	№ схемы рис. 14	№ варианта	F ₁	F ₂	M, кН×м
			кН						кН		
47	7	07	1	1,5	5	48	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
		09	5	4	7			08	2	3	5
		10	3	2	9			12	5	1,5	2
49	9	25	5	2	10	24	3	2	6		
		31	2	3	20	39	4	1	10		
		48	6	1	8	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		

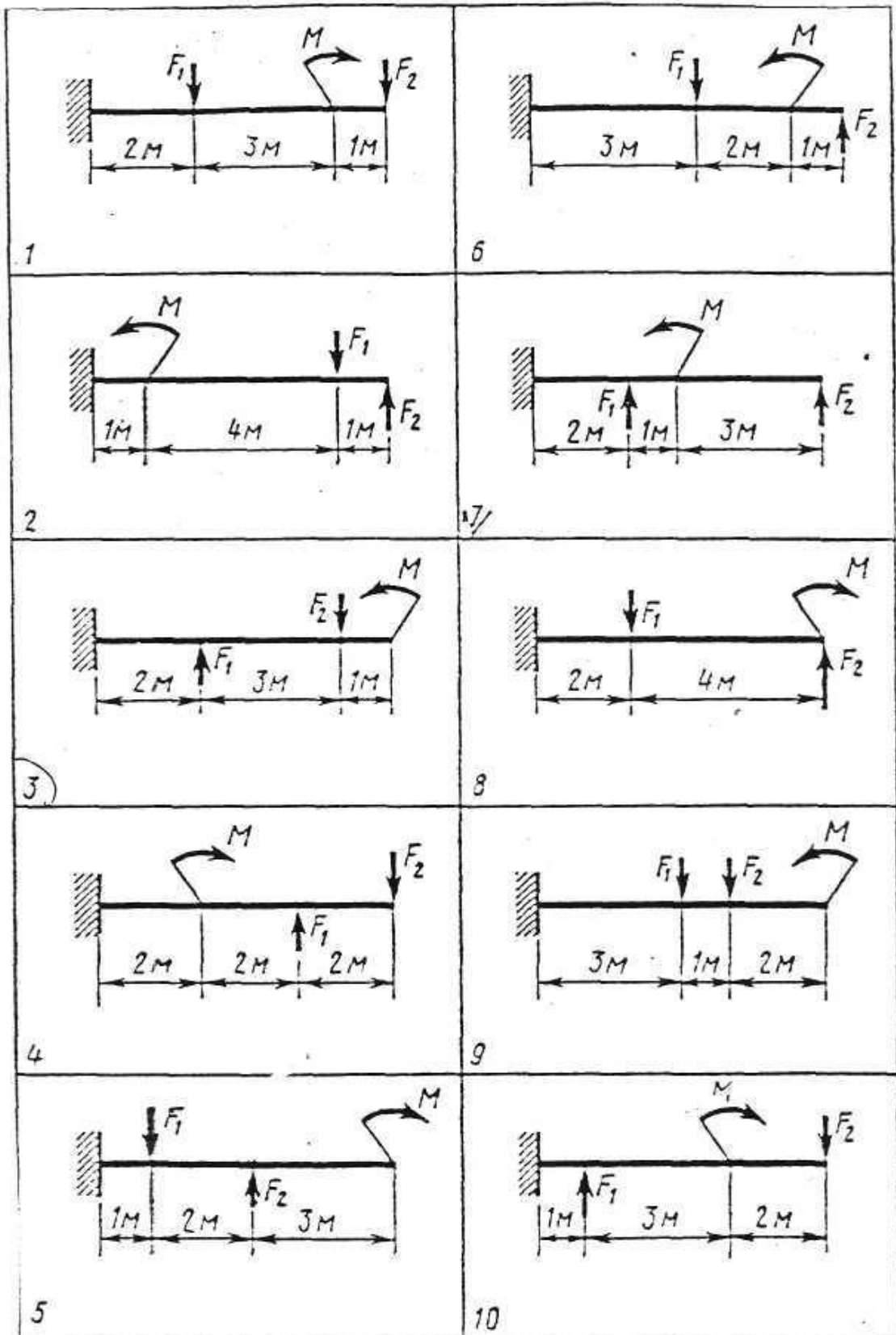


Рисунок 14 – Расчетная схема

Задачи 51-60

Для заданной двухопорной балки, рисунок 15, (схемы 1-10) определить реакции опор, построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. Подобрать из условия прочности размеры поперечного сечения прямоугольника (задачи 51,53,55,57,59) или круга (задачи 52,54,56,58,60), приняв для прямоугольника $h=2b$. Считать $[\sigma]=150\text{МПа}$, данные своего варианта взять из таблицы 8.

Таблица 8 – (к задачам 51-60)

№ задания	№ схемы рис.15	№ варианта	F ₁	F ₂	M, кН×м	№ задания	№ схемы рис. 15	№ варианта	F ₁	F ₂	M, кН×м
			кН						кН		
51	1	00	20	10	12	52	2	01	2	6	10
		15	12	8	20			14	14	5	8
		29	10	20	15			28	20	14	10
		32	8	12	10			35	5	12	6
		42	16	8	25			40	16	10	8
		56	12	20	40			59	4	10	2
		62	8	16	15			63	10	8	12
		75	15	4	8			72	2	5	10
		80	40	20	30			87	6	8	4
		97	30	20	18			96	1	5	3

Продолжение таблицы 8

№ задания	№ схемы рис.15	№ варианта	F ₁	F ₂	M, кН×м	№ задания	№ схемы рис. 15	№ вариант а	F ₁	F ₂	M, кН×м
			кН						кН		
53	3	02	5	20	4	54	4	03	10	15	2
		17	12	16	5			16	1	6	8
		21	10	20	30			20	2	10	3
		34	15	9	6			37	12	8	10
		44	20	3	8			43	4	10	1
		58	4	18	3			51	8	5	4
		60	10	6	12			61	15	12	6
		73	8	12	4			71	3	5	8
		83	5	14	2			86	2	10	12
		99	15	10	6			93	6	4	1
		05	20	1	2			04	3	2	10
		19	15	2	3			18	5	4	8
23	30	4	1	22	12	16	5				
36	25	3	4	38	1	2	4				
55	5	46	10	1,5	0,6	56	6	45	8	5	2
		50	8	3,5	2,4			53	14	6	3
		68	12	2,5	1,6			69	4	7	1
		70	14	2	0,6			74	2	3	5
		85	18	1,5	2,6			88	10	15	6
		91	15	1	0,4			90	8	12	10

Продолжение таблицы 8

№ задания	№ схемы рис.15	№ варианта	F ₁	F ₂	M, кН×м	№ задания	№ схемы рис. 15	№ варианта	F ₁	F ₂	M, кН×м
			кН						кН		
57	7	07	5	2	6	58	8	06	1	2,5	2
		11	8	1	4			10	4	3	10
		25	10	2	5			24	2	4,5	6
		39	12	3	8			31	5	8	10
		41	6	1	3			48	1	3,5	5
		52	4	3	10			55	5	2	7
		66	3	2	8			67	10	4,5	6
		77	8	4	12			78	20	8	2
		82	2	3	7			89	5	9,5	8
		98	9	5	11			92	8	6	1
59	9	09	2	4	1	60	10	08	6,5	1,4	2
		12	4	1,5	10			13	1	2	14
		27	6	2	12			26	3,5	8	5
		30	1	3,5	8			33	5	10	4
		47	2,5	10	4			49	1,5	6	16
		54	15	4	2			57	10	8,4	3
		64	3,5	8	5			65	9,5	1	2,5
		76	1,5	3	20			79	12	3	10
		81	0,5	1	3			84	6,5	5	2
		95	4	2,5	6			94	5,5	2	12

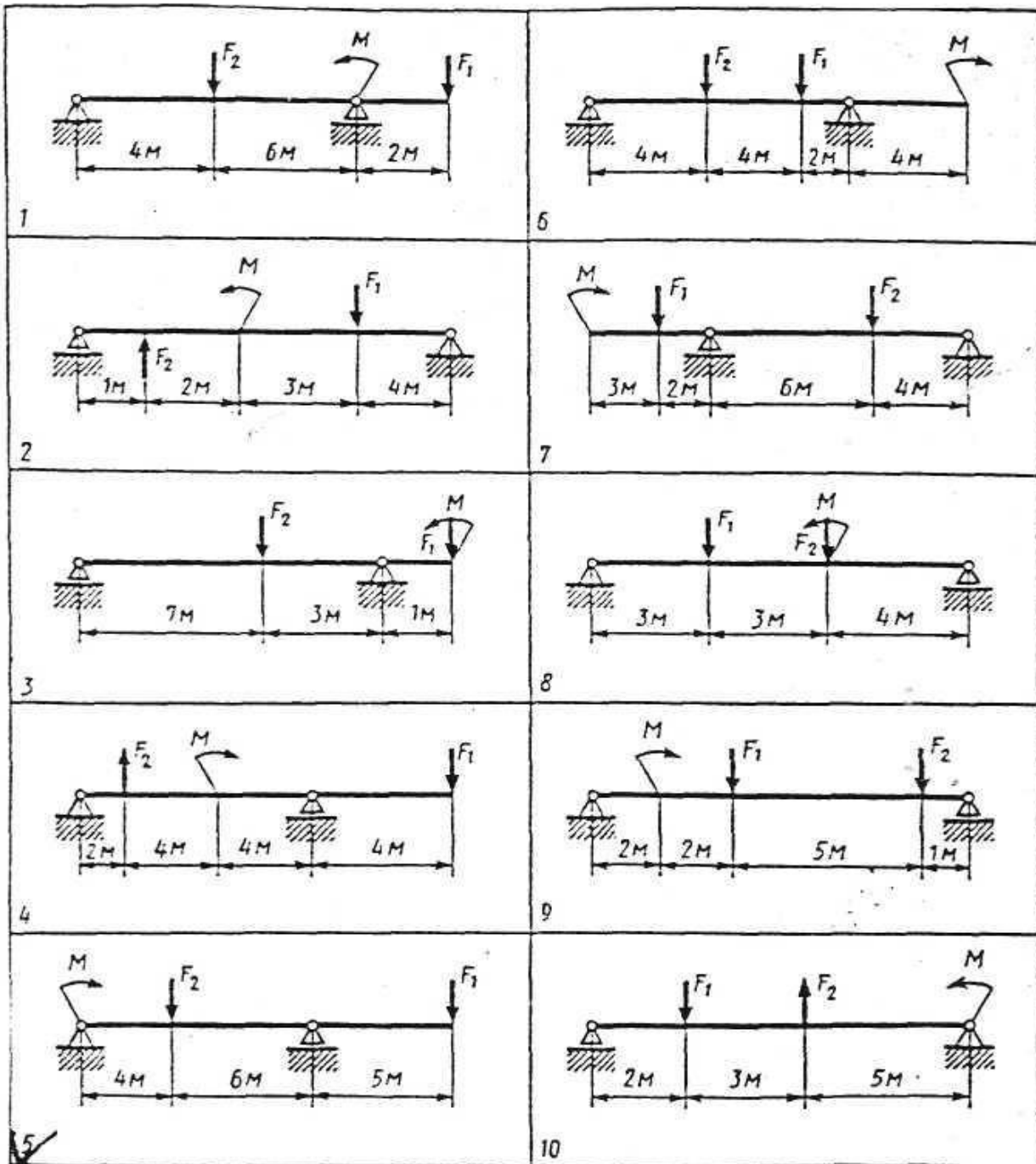


Рисунок 15 – Расчетная схема