

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
УХТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

## **СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ**

Рабочая программа, методические указания и контрольные задания  
для студентов-заочников

Ухта, 2005

УДК 620.10

К 53

Кучерявый, В.И. Сопротивление материалов [Текст]: рабочая программа, методические указания и контрольные задания для студентов-заочников / В.И. Кучерявый. – Ухта: УГТУ, 2005. – 41 с.: ил.

Методические указания предназначены для выбора задач контрольных работ по дисциплине «Сопротивление материалов» для студентов-заочников специальностей: 170200, 170400, 090500, 090700, 090800, 330500, 280300, 280700, 280800, 280100, 180400, 080900.

Содержат также рабочую программу по дисциплине «Сопротивление материалов», которая соответствует государственному образовательному стандарту.

Методические указания рассмотрены и одобрены кафедрой СМ и ДМ от 17.05.2005 г, пр. №7.

Утверждены и рекомендованы к использованию в учебном процессе советом направления «Технология машин и оборудования» от 25.05.2005 г., пр. №7.

Рецензент Шоль Н.Р., доцент, зав.каф. ЛДМ

Редактор: Власов В.П.

В методических указаниях учтены предложения рецензента и редактора.

План 2005 г., позиция 222.

Подписано в печать 20.06.2005 г.

Компьютерный набор. Гарнитура Times New Roman.

Объем 41 с. Тираж 400 экз. Заказ №191.

© Ухтинский государственный технический университет, 2005  
169300, г. Ухта, ул. Первомайская, 13  
Отдел оперативной полиграфии УГТУ.  
169300, г. Ухта, ул. Октябрьская, 13.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель и задачи дисциплины.....	4
2. Содержание дисциплины.....	4
3. Виды работ с распределением времени .....	10
4. Перечень лекционных занятий .....	11
5. Перечень практических занятий .....	12
6. Перечень тем, которые студент должен проработать самостоятельно .....	12
7. Перечень лабораторных работ .....	13
8. Перечень контрольных работ по сопротивлению материалов.....	13
9. Библиографический список.....	13
10. Приложение. Методические указания и контрольные задания .....	14

## **1. Цель и задачи дисциплины**

1.1. Курс сопротивление материалов – наука о прочности, жесткости и устойчивости отдельных элементов конструкций (сооружений и машин). Инженеру любой специальности часто приходится производить расчеты на прочность. Неправильный расчет самого незначительного, на первый взгляд, элемента может повлечь за собой очень тяжелые последствия – привести к разрушению конструкции в целом. При проведении расчетов на прочность необходимо стремиться к сочетанию надежности работы конструкции с ее стоимостью, добиваться наибольшей прочности при минимальном расходе материала. Необходимо улучшать качество проектных решений, применяя новые конструкционные материалы с повышенной прочностью.

Цель дисциплины состоит в том, чтобы научить будущих инженеров правильно выбрать конструкционные материалы и конструктивные формы, обеспечить высокие показатели надежности, долговечности и безопасности напряженных конструкций и узлов оборудования, создать эффективные и экономичные конструкции.

1.2. Задачи изучения дисциплины.

Изучив дисциплину, студент должен:

1.2.1. Иметь представление о поведении прочностных конструкционных материалов при действии внешних нагрузок, перепадах температур во времени, способах измерения различных параметров, определяющих напряженно-деформированное состояние конструкций, составление расчетных моделей и возможности их изменения с целью получения детальной информации, конструкции большинства испытательных машин, методике получения статистических данных о свойствах материалов и назначении прочностных нормативных значений. Сравнить варианты расчетных схем, отыскивать оптимальные решения, связывать воедино инженерную подготовку задачи, расчет и проектирование, учитывая профиль будущей специальности.

1.2.2. Знать и уметь использовать способы определения напряжений и деформаций для стержней, методы расчеты статически неопределимых систем в упругой стадии работы.

1.2.3. Иметь опыт расчета стержней на простые и комбинированные виды нагружения.

## **2. Содержание дисциплины**

### **2.1. Введение**

Определение дисциплины “Сопротивление материалов” как раздела механики деформируемого твердого тела. Ее связь с курсами “Теория упругости и пластичности”, “Строительная механика” и другими общеинженерными и специальными дисциплинами. Достижение отечественной науки в обеспечении механической надежности.

## **2.2. Основные понятия**

Внешние силы и их классификация: поверхностные, объемные и сосредоточенные, статические и динамические. Реальные объекты и их расчетные схемы: стержень, пластина, оболочка и массивное тело. Основные свойства деформируемого твердого тела: упругость, пластичность, хрупкость, релаксация и ползучесть.

Внутренние силы и метод их изучения (метод сечений). Главный вектор и главный момент внутренних сил. Внутренние силовые факторы в поперечном сечении стержня. Продольная и поперечные силы, крутящий и изгибающие моменты. Напряжение полное, нормальное и касательное. Определение равнодействующей внутренних сил через напряжения. Перемещения и деформации. Основные принципы сопротивления материалов.

## **2.3. Растяжение и сжатие прямого стержня**

Продольные силы. Дифференциальные зависимости между продольными силами и нагрузкой. Напряжения в поперечных сечениях. Продольные и поперечные деформации. Закон Гука. Модуль упругости и коэффициент Пуассона. Определение осевых перемещений сечений. Потенциальная энергия упругой деформации. Расчет простейших статически неопределимых систем при растяжении и сжатии. Нормальные и касательные напряжения на двух взаимноперпендикулярных площадках. Закон парности касательных напряжений. Понятие о чистом сдвиге. Закон Гука для сдвига. Связь между упругими постоянными. Температурные и монтажные напряжения. Напряжения от собственного веса. Понятие о стержне равного сопротивления. Концентрация напряжений. Контактные напряжения.

## **2.4. Механические свойства материалов при растяжении и сжатии**

Опытное изучение механических свойств материалов при растяжении и сжатии. Диаграммы растяжения и сжатия пластичных материалов. Основные механические характеристики материала: предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести и предел прочности (временное сопротивление). Особенности деформирования и разрушения пластичных материалов при растяжении и сжатии. Пластические деформации. Линии скольжения. Понятия об истинной диаграмме растяжения и сжатия. Разгрузка и повторное нагружение. Наклеп. Диаграммы растяжения и сжатия хрупких материалов и их основные механические характеристики. Особенности разрушения хрупких материалов при растяжении и сжатии. Понятие о ползучести, релаксации и длительной прочности.

## **2.5. Расчеты на прочность и жесткость при растяжении и сжатии**

Выбор предельного состояния в зависимости от свойств материала, условий работы и назначения конструкции. Расчет по допускаемым напряжениям. Коэффициент запаса. Техничко-экономические факторы, влияющие на нормативный коэффициент запаса. Три рода задач при расчете на прочность: проверка прочности, подбор сечений и определение допускаемой нагрузки. Проверка прочности стержней по методу разрушающих нагрузок и методу продольных состояний. Подбор размеров поперечных сечений из условия жесткости.

## **2.6. Геометрические характеристики поперечных сечений**

Статический момент сечения. Осевой, полярный и центробежные моменты инерции. Осевые моменты инерции для прямоугольника, треугольника, круга и кольца. Зависимость между моментами инерции для параллельных осей. Зависимость между моментами инерции при повороте координатных осей. Главные оси инерции. Главные моменты инерции. Вычисление моментов инерции сложных профилей. Радиус инерции.

## **2.7. Плоское напряженное состояние**

Понятие о плоском напряженном состоянии в точке. Общий случай плоского напряженного состояния. Вывод зависимости между напряжениями и углом наклона площадки. Определение главных напряжений в точке. Экстремальные касательные напряжения.

## **2.8. Сдвиг**

Напряжения и деформации при сдвиге. Закон Гука при сдвиге. Модуль сдвига. Зависимость между константами для идеально упругого изотропного тела. Понятие о расчетах на прочность заклепочных и сварных соединений.

## **2.9. Расчеты на кручение**

Внешние силы, вызывающие кручение прямого стержня. Эпюры внутренних крутящих моментов. Кручение прямого стержня кругового поперечного сечения. Касательные напряжения и угол закручивания. Жесткость поперечного сечения при кручении. Расчет на прочность и жесткость вала кругового и кольцевого поперечного сечения. Потенциальная энергия упругой деформации. Статически неопределимые системы при кручении. Основные результаты теории кручения стержней некругового поперечного сечения.

## **2.10. Расчеты при прямом поперечном изгибе**

Типы опор. Определение реакции в опорах. Классификация видов изгиба. Нахождение внутренних силовых факторов в поперечных сечениях балок при изгибе. Поперечные силы, изгибающие моменты. Дифференциальные зависи-

мости между внутренними силовыми факторами и внешней распределенной нагрузкой. Эпюры внутренних силовых факторов. Зависимость между изгибающим моментом и кривизной изогнутой оси балки. Нормальные напряжения чистого изгиба. Жесткость поперечного сечения балок при изгибе. Касательные напряжения изгиба сплошного сечения (формула Д.И. Журавского). Касательные напряжения балок прямоугольного и кругового сечений. Условия прочности при изгибе. Подбор сечения. Рациональные формы поперечных сечений балок. Главные напряжения при изгибе. Расчет прочности балки на совокупность напряжений по высоте сечения. Касательные напряжения тонкостенных балок. Потенциальная энергия упругой деформации при изгибе. Концентрация напряжений при изгибе.

### **2.11. Понятие о пространственном напряженно – деформированном состоянии**

Составляющие вектора напряжений и их обозначение на координатных площадках трехмерного тела. Понятие о главных напряжениях в трехмерном теле. Экстремальные значения касательных напряжений. Компоненты деформации. Объемная деформация. Закон Гука при пространственном напряженном состоянии. Удельная потенциальная энергия и ее составляющие – энергия изменения объема и энергия изменения формы.

### **2.12. Гипотезы прочности**

Назначение гипотез прочности. Понятие об эквивалентных напряжениях. Хрупкое и вязкое разрушение в зависимости от вида напряженного состояния. Современная трактовка развития трещин и наступления пластических деформаций. Гипотеза прочности при хрупком состоянии материала наибольших нормальных напряжений. Гипотеза наибольших деформаций (удлинений). Гипотеза наибольших касательных напряжений – пластичное состояние материала. Гипотеза удельной энергии формоизменения – пластичное состояние материала. Гипотеза разрушения Мора для материалов с различными пределами прочности при растяжении и сжатии. Общие сведения о новых гипотезах прочности для изотропных и анизотропных материалов.

### **2.13. Определение перемещений при изгибе**

Линейные и угловые перемещения. Дифференциальное уравнение оси изогнутого стержня и его интегрирование. Постоянные интегрирования и граничные условия для их определения. Начальные параметры. Универсальное уравнение упругой линии балки. Теорема Кастилиано, теоремы взаимности работ и перемещений. Интеграл Мора. Способ Верещагина.

### **2.14. Расчет статически неопределимых систем при изгибе по методу сил**

Степень статической неопределимости. Идея метода сил. Основная система. Канонические уравнения. Определения коэффициентов. Перемещения в

статически неопределимых системах. Статическая и деформационная проверки. Расчет простейших плоских и плоско-пространственных рам.

### **2.15. Сложное сопротивление**

Общий случай действия внешних сил стержень. Внутренние силовые факторы и их эпюры в плоских и пространственных ломаных стержнях. Характерные случаи комбинированного нагружения стержня: косоугольный изгиб, внецентренное действие продольной силы, изгиб с кручением. Нормальные напряжения при косоугольном изгибе и их эпюры. Силовая и нулевая линии. Наибольшие напряжения. Определение перемещений. Нормальные напряжения при внецентренном действии продольной силы. Эпюры нормальных напряжений. Силовая и нулевая линии. Ядро сечения. Расчет на прочность вала при изгибе в двух плоскостях. Расчет на прочность вала при совместном растяжении (сжатии) и изгибе с кручением. Статическая прочность вала при изгибе с кручением (гипотезы: максимальных касательных напряжений и удельной энергии формоизменения). Кручение и срез. Расчет пружин с небольшим шагом витка. Вывод формулы для осадки пружины. Расчет рессоры.

### **2.16. Расчет сжатых стержней на устойчивость**

Устойчивые и неустойчивые формы равновесия. Формула Эйлера для критической силы. Влияние способов закрепления концов стержня на критическую силу. Пределы применимости формулы Эйлера. Эмпирические формулы для определений критических напряжений. Практическая формула для расчета на устойчивость. Рациональные формы сечений сжатых стержней. Понятие о продольно-поперечном изгибе.

### **2.17. Расчеты при некоторых динамических нагрузках**

Понятие о динамической нагрузке и коэффициенте динамичности. Подъем и опускание груза с ускорением. Использование принципа Даламбера. Удар об упругую систему с одной степенью свободы. Расчет по балансу энергии. Продольный и поперечный удары по стержню. Приближенный учет массы стержня при ударе. Внезапное приложение нагрузки. Напряжения во вращающемся сплошном диске постоянной толщины (расчет циркулярной пилы).

### **2.18. Расчет на прочность при колебаниях**

Свободные колебания с одной степенью свободы. Вынужденные колебания системы с одной степенью свободы. Резонанс. Динамический коэффициент. Колебания упругих конструкций с многими массами. Понятие о приближенных методах расчета собственных частот: способ Релея, способ Ритца и способ Бубнова-Галеркина. Примеры расчета на прочность и жесткость при колебаниях.

Понятие о средствах борьбы с вибрациями деталей машин и элементов конструкций: уравнивание (балансировка), отстройки от резонанса, введение демпферов, применение виброизолирующих покрытий. Пассивная и активная виброизоляция.

### **2.19. Основы расчета на прочность при напряжениях, переменных во времени**

Возникновение и развитие усталостных повреждений. Механизм усталостного разрушения. Кривая усталости (Велера) при симметричном цикле. Предел выносливости. Диаграммы предельных напряжений и амплитуд цикла. Факторы, влияющие на предел выносливости. Определение коэффициента запаса прочности при симметричном цикле. Определение коэффициента запаса при асимметричном цикле напряжений. Практические меры повышения сопротивления усталости. Понятие о накоплении повреждений. Принцип линейного суммирования повреждений и его применение для оценки долговечности. Рост трещин при циклическом нагружении.

### **2.20. Изгиб и растяжение (сжатие) плоского кривого стержня**

Понятие о кривом стержне большой и малой кривизны. Эпюры внутренних силовых факторов. Нормальные напряжения в поперечном сечении при чистом изгибе в главной плоскости. Эпюры нормальных напряжений. Определение положения нулевой линии для некоторых видов поперечных сечений стержня. Нормальные напряжения от продольной силы.

### **2.21. Изгиб балок на упругом основании**

Понятие о балках на упругом основании и их свойства. Условия контакта подошвы балки и упругого основания. Дифференциальное уравнение оси изогнутой балки на сплошном упругом основании и его интегрирование. Граничные условия. Метод начальных параметров. Случай бесконечно длинных балок.

### **2.22. Расчет сосудов, корпусных конструкций и трубопроводов**

Безмоментная теория тонкостенных осесимметричных оболочек вращения. Уравнения равновесия. Определение меридиональных и окружных напряжений. Расчеты на прочность. Краевые эффекты в цилиндрических оболочках.

Задача Ламе. Применение формул Ламе к расчету толстостенных цилиндров, нагруженных внутренним и (или) внешним давлением. Предельные возможности однослойных цилиндров, нагруженных внутренним давлением. Понятие о расчете цилиндров.

### **2.23. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений**

Измерение деформаций тензometрами. База тензometра. Тензometры механические. Тензometры омического сопротивления (проволочные датчики). Понятие о тензometрической розетке при исследовании плоского напряженного

состояния. Поляриционно-оптический метод исследования напряжений. Понятие о моделировании. Краткие сведения о специальных экспериментальных методах (метод хрупких лаковых покрытий, метод муаровых полос и голографической интерферометрии).

## **2.24. Основные понятия механики разрушения**

Связь механики разрушения с физикой твердого тела. Разрушение материала в конструкции. Механизм вязкого и хрупкого разрушения. Критические температуры хрупкости. Механика разрушения тел с трещинами. Тип особенности поля напряжений вблизи вершины трещины. Коэффициент интенсивности напряжений. Энергетическая концепция хрупкого разрушения. Понятие об устойчивом росте трещины. Допускаемые размеры трещины в напряженных элементах конструкций. Примеры расчетов на прочность деталей с трещинами.

## **2.25. Расчеты за пределами упругости**

Общее представление о поведении материала за пределами упругости. Основные гипотезы. Диаграмма деформирования и ее схематизация. Упругопластические деформации статически определимых и статически неопределимых систем при растяжении (сжатии). Определение допускаемой нагрузки. Упругопластический изгиб и кручение стержней. Разгрузка и остаточное напряжение. Понятие о расчете по разрушающим нагрузкам. Дополнительные резервы надежности в статически неопределимых системах.

## **Заключение**

Современные проблемы определения напряжений, деформаций и перемещений при расчете инженерных конструкций на прочность, жесткость, устойчивость, колебания и надежность с применением численных методов и компьютерного моделирования.

## **3. Виды работ с распределением времени**

Курс II

Семестр 4

Всего часов – 102 ч.

Лекционные занятия – 34 ч.

Практические занятия – 17 ч.

Лабораторные занятия – 17 ч.

Экзамен – 1 (4 семестр)

Расчетно-проектировочные работы (РПР) – 12 ч.

Самостоятельная работа – 17 ч.

#### 4. Перечень лекционных занятий

Лекционные занятия	Тема	Количество часов
1	Введение. Метод сечений. Понятие о напряжениях и деформациях	2
2	Растяжение и сжатие прямого стержня. Вывод формул для напряжений и деформаций	2
3	Механические свойства материалов при растяжении и сжатии. Расчеты на прочность и жесткость. Статически неопределимые задачи. Геометрические характеристики сечений	4
4	Кручение стержней кругового и трубчатого сечений	2
5	Изгиб балок. Вывод формул для нормальных и касательных напряжений. Расчеты на прочность	4
6	Определение перемещений при изгибе. Статически неопределимые системы при изгибе. Метод сил	4
7	Сложное сопротивление. Косой изгиб. Внецентренное растяжение и сжатие	4
8	Напряженно-деформированное состояние. Теории прочности	4
9	Совместное действие растяжения – сжатия, изгиба и кручения. Статический расчет валов	2
10	Устойчивость элементов конструкций	2
11	Динамические расчеты элементов конструкций	2
12	Расчет на прочность при напряжениях переменных во времени	2

## 5. Перечень тем для практических занятий

Практические занятия	Тема	Количество часов
1	Расчеты на прочность и жесткость при растяжении и сжатии	1
2	Статически неопределимые задачи при растяжении и сжатии	1
3	Геометрические характеристики плоских сечений	1
4	Напряженно-деформированное состояние в точке. Главные напряжения	1
5	Расчеты на прочность и жесткость при кручении	2
6	Расчеты на прочность при изгибе	2
7	Определение перемещений при изгибе	1
8	Статически неопределимые задачи при изгибе. Метод сил	
9	Расчеты на прочность при комбинированном нагружении	2
10	Расчеты сжатых стержней на устойчивость	2
11	Расчет стержней на ударную нагрузку	1
12	Расчеты стержней на собственные и вынужденные колебания	1
13	Расчет элементов конструкций на усталостную прочность	2

## 6. Перечень тем, которые студент должен проработать самостоятельно

Самостоятельные занятия	Тема	Количество часов
1	Концентрация напряжений. Контактные напряжения	2
2	Расчет сосудов, корпусных конструкций и трубопроводов	4
3	Расчеты за пределами упругости	2
4	Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений	2
5	Изгиб плоского стержня большой кривизны	2
6	Кручение стержней прямоугольного поперечного сечения	2
7	Расчет плоскопространственных статически неопределимых систем	2
8	Расчет балок на упругом основании	1

## **7. Перечень лабораторных работ**

1. Экспериментальная проверка закона Гука для системы.
2. Испытание на растяжение образцов из малоуглеродистой стали.
3. Испытание на сжатие образцов из малоуглеродистой стали, серого чугуна и древесины.
4. Определение модуля Юнга и коэффициента Пуассона.
5. Определение модуля сдвига из испытаний на кручение.
6. Определение нормальных напряжений в сечениях балки при чистом изгибе.
7. Определение линейных и угловых перемещений в статически определимой балке.
8. Опытная проверка теории косоугольного изгиба.
9. Опытная проверка теории внецентренного растяжения (сжатия).
10. Испытание стальных образцов на продольный изгиб.
11. Испытание стальной трубы на изгиб с кручением с помощью тензометрии.
12. Определение опорного момента в статически неопределимой балке.
13. Определение коэффициента концентрации напряжений.
14. Определение ударной вязкости стали.
15. Определение частот собственных колебаний упругого стержня.
16. Испытание на малоцикловую усталость при изгибе вращающихся образцов.
17. Испытание стального образца на выносливость при повторно-переменном изгибе.
18. Определение коэффициента трещиностойкости малоуглеродистой стали.
19. Поляризационно-оптические методы исследования напряжений.

## **8. Перечень контрольных работ по сопротивлению материалов**

Контрольные работы выполняются по следующим темам: растяжение и сжатие стержня, сдвиг, кручение, геометрические характеристики поперечных сечений, теория напряженного состояния и теории прочности, изгиб прямых стержней, сложное сопротивление, устойчивость сжатых стержней, динамическая нагрузка, упругие колебания, статически неопределимые системы, прочность при циклических нагрузках.

## **9. Библиографический список**

1. Дарков А.Д. Сопротивление материалов. Методические указания и контрольные задания для студентов-заочников всех специальностей технических высших учебных заведений, кроме строительных /А.В. Дарков, Б.Н. Кутуков. – 14-е изд. – М.: Высш. шк, 1985. – 56 с.
2. Кутуков Б.Н. Сопротивление материалов с основани теории упругости и пластичности: Методические указания и контрольные задания для

- студентов-заочников инж.-строит. спец. высш. учеб. заведений /Б.Н. Кутуков, М.М. Кац. –3-е изд. – М.: Высш. шк., 1990. – 80 с.
3. Дарков А.В. Сопротивление материалов /А.В. Дарков, Г.С. Шпиро. – М.: Высш. школа, 1989. – 734 с. (а также последующие издания).
  4. Степин П.А. сопротивление материалов. Учебник для немашиностроительных специальностей вузов / П.А. Степин. 7-е изд. – М.: Высш. школа, 1983. – 303 с.

## **10. Приложение**

Методические указания и контрольные задания приведены в приложении (табл. П.1 и табл. П.1А). Заимствованы из государственных методических указаний [1, 2], которые утверждены Учебно-методическим управлением по высшему образованию и рекомендованы для отделений безотрывной формы обучения технических университетов.

Студенты специальностей МОН, МЛК, БТП, РЭНГМ, БС, ПЭМГ выбирают контрольные задания по таблице П.1 – число контрольных определяется учебным графиком.

Студенты инженерно-строительных специальностей ПГС, ТГВ, ВВ выбирают контрольные задания по таблице П.1А – число контрольных работ определяется учебным графиком.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ЗАОЧНИКОВ

Каждый студент-заочник выполняет то количество контрольных работ, которое предусмотрено учебным графиком. Задачи, входящие в состав контрольных работ, указаны в табл. П.1.

1. Студент обязан взять из таблицы, прилагаемой к условию задачи, данные в соответствии со своим личным номером (шифром) и первыми шестью буквами русского алфавита, которые следует расположить под шифром, например:

шифр – 2 8 3 0 5 2;  
буквы – а б в г д е.

В случае личного номера, состоящего из семи цифр, вторая цифра не учитывается.

Из каждого вертикального столбца любой таблицы, обозначенного внизу определенной буквой, надо взять только одно число, стоящее в той горизонтальной строке, номер которой совпадет с номером буквы. Например, вертикальные столбцы табл. П.5. обозначены буквами: е, г и д. В этом случае, при указанном выше личном номере (шифре) 283052, студент должен взять из столбца е строку номер два (второй тип сечения), из столбца г – строку номер нуль (Швеллер 36) и из столбца д – строку номер пять (равнобокий уголок 90\*90\*6).

**Работы, выполненные с нарушением этих указаний, не засчитываются.**

Таблица П.1. Номер задач, входящих в контрольные работы

№ контрольной работы	Число контрольных работ согласно графику					
	одна	две	три	четыре	пять	шесть
1	5, 7, 8, 13, 17	4, 5, 7, 8	1, 2, 4	1, 2, 4, 5	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4
2	-	13, 15, 17	5, 7, 8	7, 8, 10	5, 6, 7, 8	5, 6, 7, 8
3	-	-	13, 15, 17	13, 14, 15, 17	9, 10, 11	9, 10, 11
4	-	-	-	18, 19, 21, 22	13, 14, 15, 17	12, 13, 14, 15
5	-	-	-	-	18, 19, 21, 22	16, 17, 18
6	-	-	-	-	-	19, 20, 21, 22

Таблица П.1А. Номера задач, входящих в контрольные работы для инженерно-строительных специальностей – ПГС, ВВ, ТГВ.

№ контрольной работы	Число контрольных работ согласно графику			
	Одна	Две	Три	Четыре
1	7, 8, 13, 17	5, 7, 8	2, 5, 7	2, 3, 5, 7
2	—	13, 14, 17	8, 10	8, 10, 11
3	—	—	13, 14, 17	13, 14, 16
4	—	—	—	17, 20

2. Не следует приступать к выполнению контрольных заданий, не изучив соответствующего раздела курса и не решив самостоятельно рекомендованных задач. Если основные положения теории усвоены слабо и студент обратил мало внимания на подробно разобранные в курсе примеры, то при выполнении контрольных работ возникнут большие затруднения. Несамостоятельно выполненное задание не дает возможности преподавателю-рецензенту вовремя заметить недостатки в работе студента-заочника. В результате студент не приобретает необходимых знаний и оказывается неподготовленным к экзамену.

3. Не рекомендуется также присылать в университет сразу несколько выполненных заданий. Это не дает возможности рецензенту своевременно указать студенту на допущенные ошибки и задерживает рецензирование.

4. В заголовке контрольной работы должны быть четко написаны: номер контрольной работы, название дисциплины, фамилия, имя и отчество студента (полностью), название факультета и специальности, учебный шифр, дата отсылки работы, точный почтовый адрес. Необходимо также указывать год издания методических указаний, по которым выполнялась контрольная работа.

5. Каждую контрольную работу следует выполнять в особой тетради или на листах, сшитых в тетрадь нормального формата, чернилами (не красными), четким почерком, с полями в 5 см для замечаний рецензента.

6. Перед решением каждой задачи надо выписать полностью ее условие с числовыми данными, составить аккуратный эскиз в масштабе и указать на нем в числах все величины, необходимые для расчета.

7. Решение должно сопровождаться краткими, последовательными и грамотными, без сокращения слов, объяснениями и чертежами, на которых все входящие в расчет величины должны быть показаны в числах. Надо избегать многословных пояснений и пересказа учебника; студент должен знать, что язык техники – формула и чертеж. При пользовании формулами или данными, отсутствующими в учебнике, необходимо кратко и точно указывать источник (автор, название, издание, страницу, номер формулы).

8. Необходимо указывать единицы всех величин и подчеркивать окончательные результаты.

9. Не следует вычислять большое число значащих цифр, вычисления должны соответствовать необходимой точности. Нет необходимости длину деревянного стержня в стропилах вычислять с точностью до миллиметра, но было бы ошиб-

кой округлять до целых миллиметров диаметр вала, на который будет насажен шариковый подшипник.

10. По получении из университета контрольной работы студент должен исправить в ней все отмеченные ошибки и выполнить все сделанные ему указания. В случае требования рецензента следует в кратчайший срок послать ему выполненные на отдельных листах исправления, которые должны быть вложены в соответствующие места рецензированной работы. Отдельно от работы исправления не рассматриваются.

## ЗАДАЧИ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

### Задача 1

Стальной стержень ( $E = 2 \cdot 10^5$  МПа) находится под действием продольной силы  $P$  и собственного веса ( $\gamma = 78$  кН/м<sup>3</sup>). Найти перемещение сечения I-I (рис. П.1). Данные взять из табл. П.2.

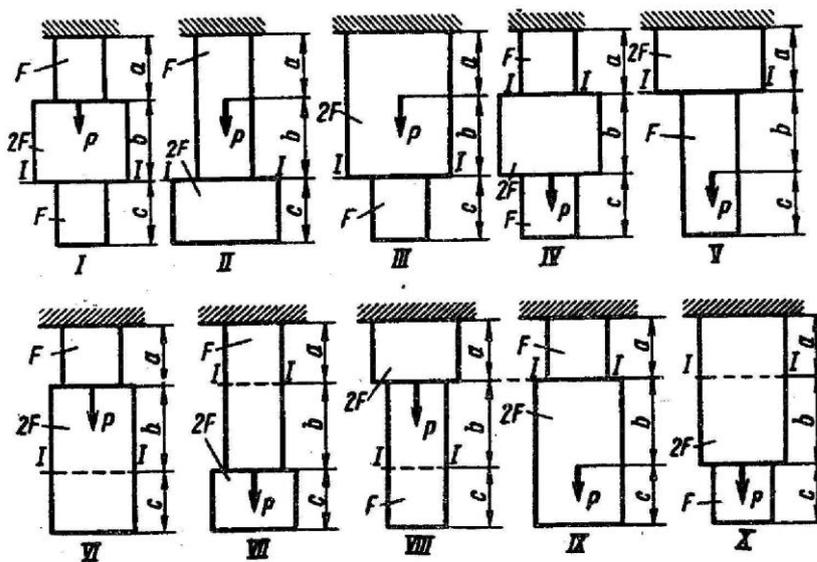


Рис. П.1

### Задача 2

Абсолютно жесткий стержень опирается на шарнирно-неподвижную опору и прикреплен к двум стержням при помощи шарниров (рис. П.2). Требуется: 1) найти усилия и напряжения в стержнях, выразив их через силу  $Q$ ; 2) найти допустимую нагрузку  $Q_{\text{доп}}$ , приравняв большее из напряжений в двух стержнях допустимому напряжению  $[\sigma] = 160$  МПа; 3) найти предельную грузоподъемность системы  $Q_m$  и допустимую нагрузку  $Q_{\text{доп}}$ , если предел текучести  $\sigma_m = 240$  МПа и запас прочности  $k = 1,5$ ; 4) сравнить величины  $\sigma_{\text{доп}}$ , полученные при расчете по допустимым напряжениям (см. п. 2) и допустимым нагрузкам (см. п. 3). Данные взять из табл. П.2.

Таблица П.2

№ строки	Схема по рис. П.1, П.2, П.3, П.4	F, см <sup>2</sup>	a	b	c	P, Н	H, кН	10 <sup>5</sup> β	Напряжение, МПа			
			M						σ <sub>x</sub>	σ <sub>y</sub>	τ <sub>x</sub>	
1	I	11	2,1	2,1	1,1	1100	110	5	10	10	10	
2	II	12	2,2	2,2	1,2	1200	120	4	20	20	20	
3	III	13	2,3	2,3	1,3	1300	130	3	30	30	30	
4	IV	14	2,4	2,4	1,4	1400	140	2	40	40	40	
5	V	15	2,5	2,5	1,5	1500	150	1	50	50	50	
6	VI	16	2,6	2,6	1,6	1600	110	5	60	60	60	
7	VII	17	2,7	2,7	1,7	1700	120	4	70	70	70	
8	VIII	18	2,8	2,8	1,8	1800	130	3	80	80	80	
9	XI	19	2,9	2,9	1,9	1900	140	2	90	90	90	
0	X	20	3	3	2	2000	150	1	100	100	100	
		е	в	г	д	е	г	д	е	г	д	е

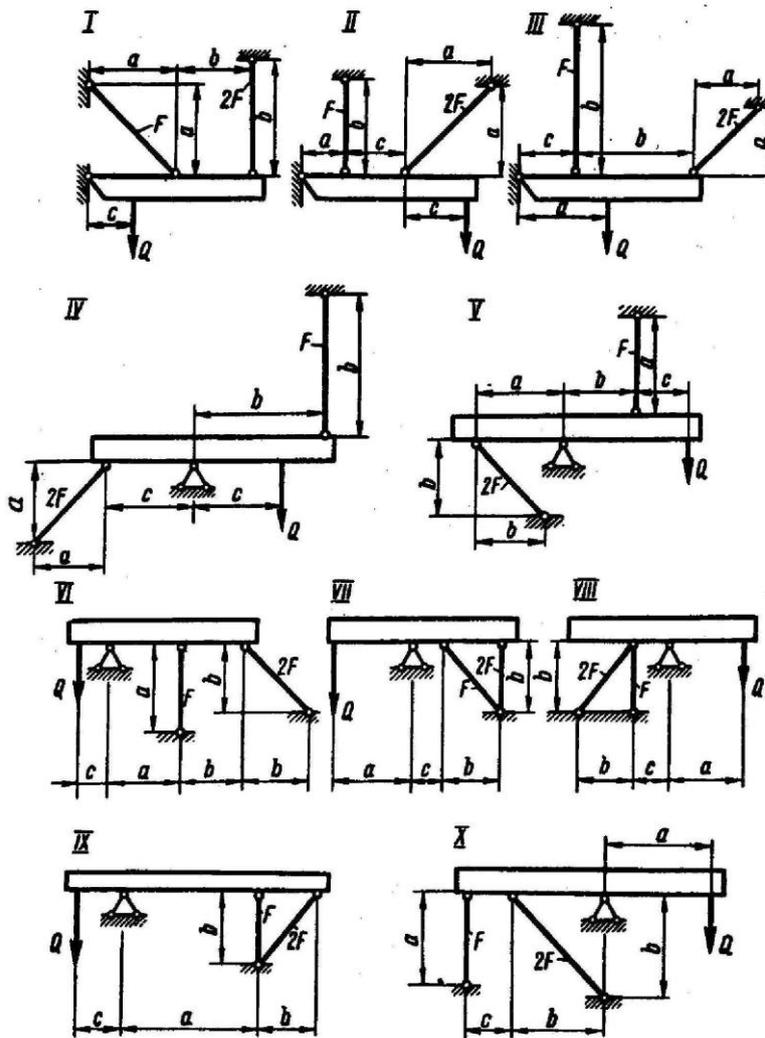


Рис. П.2

Указания. Для определения двух неизвестных сил в стержнях надо составить одно уравнение статики и одно уравнение деформаций.

Для ответа на третий вопрос задачи следует иметь в виду, что в одном из стержней напряжение больше, чем в другом. При увеличении нагрузки напряжение в первом стержне достигнет предела текучести ранее, чем во втором. Когда это произойдет, напряжение в первом стержне не будет некоторое время расти даже при увеличении нагрузки, система станет как бы статически определимой, нагруженной силой  $Q$  (пока еще неизвестной) и усилием в первом стержне:

$$N_1 = \sigma_T F_1 \quad (1)$$

При дальнейшем увеличении нагрузки напряжение и во втором стержне достигнет предела текучести:

$$N_2 = \sigma_T F_2 \quad (2)$$

Написав уравнение статики и подставив в него значения усилий (1) и (2), найдем из этого уравнения предельную грузоподъемность  $Q_T^k$ .

### Задача 3

Жесткий брус прикреплен к двум стальным стержням с площадью поперечного сечения  $F$ , опирающимся на неподвижное основание. К брусу прикреплен средний ступенчатый стальной стержень с зазором  $\Delta = \beta c$  (рис. П.3). Требуется (без учета собственного веса): 1) установить, при какой силе  $H$  зазор закроется; 2) найти реакцию основания в нижнем сечении среднего стержня при заданной силе  $H$  и построить эпюру продольных сил для среднего стержня; 3) найти усилия и напряжения в крайних стержнях при заданной силе  $H$ ; 4) установить, на сколько градусов надо охладить средний стержень, чтобы реакция основания в нижнем сечении среднего стержня при заданной силе  $H$  обратилась в нуль. Данные взять из табл. П.2.

Указания. При решении всех пунктов задачи следует учитывать, что ввиду симметрии системы усилия в крайних стержнях равны между собой.

Для ответа на первый вопрос надо приравнять перемещение нижнего сечения среднего стержня от сил  $H$  зазору  $\Delta$ . Это перемещение равно сумме деформаций участков среднего стержня от продольных сил, возникающих от сил  $H$ , и деформации любого из крайних стержней (для тех схем, в которых силы  $H$  взаимно уравновешены, усилия и деформации для крайних стержней равны нулю).

Для ответа на второй вопрос надо алгебраическую сумму перемещений нижнего сечения среднего стержня от сил  $Y$  и от реакции основания на средний стержень  $R$  приравнять зазору  $\Delta$ . При вычислении этих перемещений надо также учитывать деформации участков среднего стержня от силы  $H$  и деформацию любого из крайних стержней (которая для некоторых схем равна нулю).

Для ответа на третий вопрос надо рассмотреть условия равновесия верхнего бруса, на который передаются силы  $H$  и  $R$  от среднего стержня и два усилия крайних стержней.

Для ответа на четвертый вопрос надо приравнять перемещение нижнего сечения среднего стержня от сил  $H$  (и от деформации любого из крайних стержней, если силы  $H$  не уравновешены) сумме зазора и температурного укорочения среднего стержня:

$$\Delta(H) = \Delta + \Delta_t = \beta c + c \alpha t$$

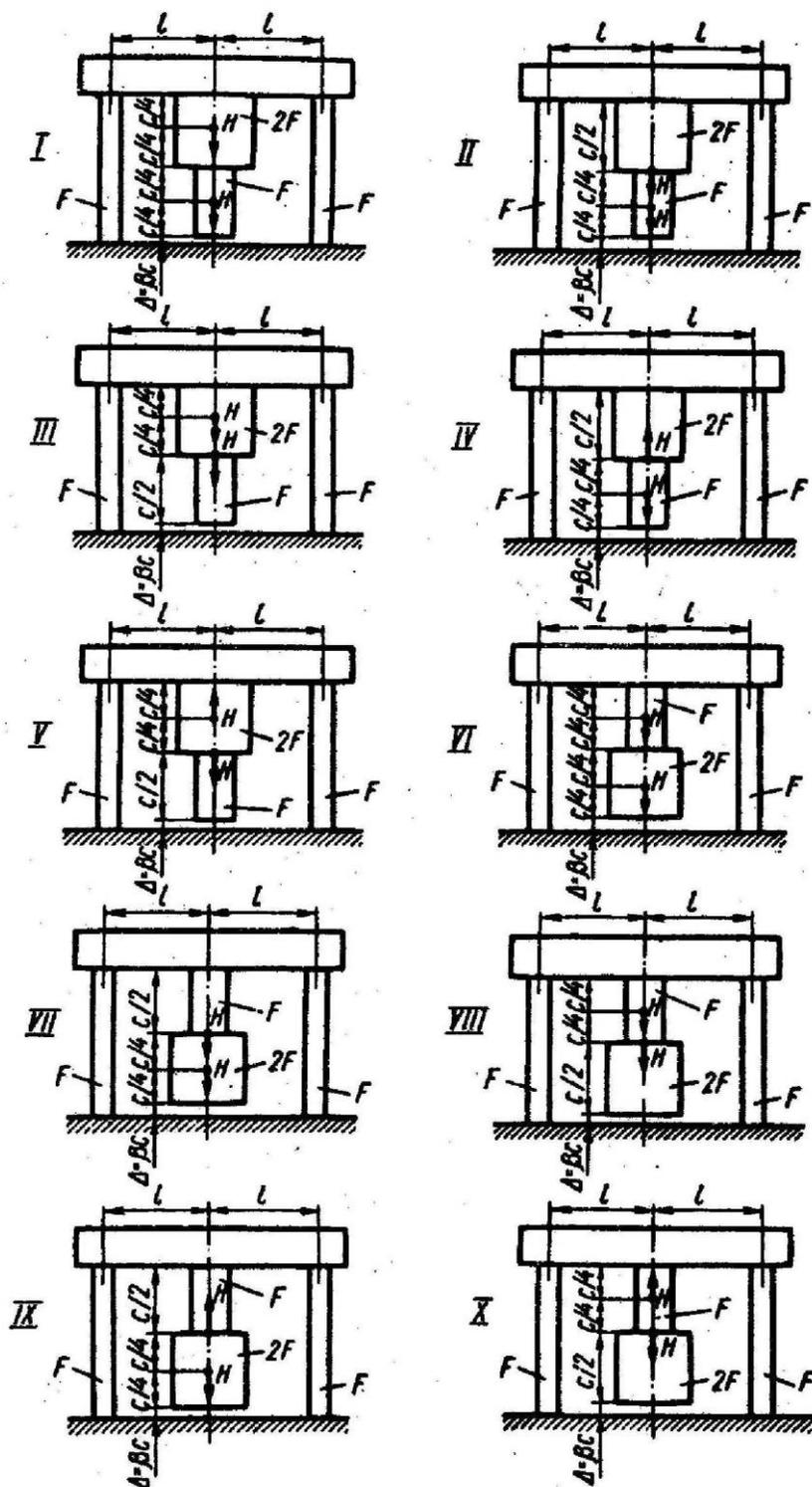


Рис. П.3

### Задача 4

Стальной кубик (рис. П.4) находится под действием сил, создающих плоское напряженное состояние (одно из трех главных напряжений равно нулю). Требуется найти: 1) главные напряжения и направление главных площадок; 2) максимальные касательные напряжения, равные наибольшей полуразности главных напряжений; 3) относительные деформации  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$ ,  $\varepsilon_z$ ; 4) относительное изменение объема; 5) удельную потенциальную энергию деформаций. Данные взять из табл. П.2.

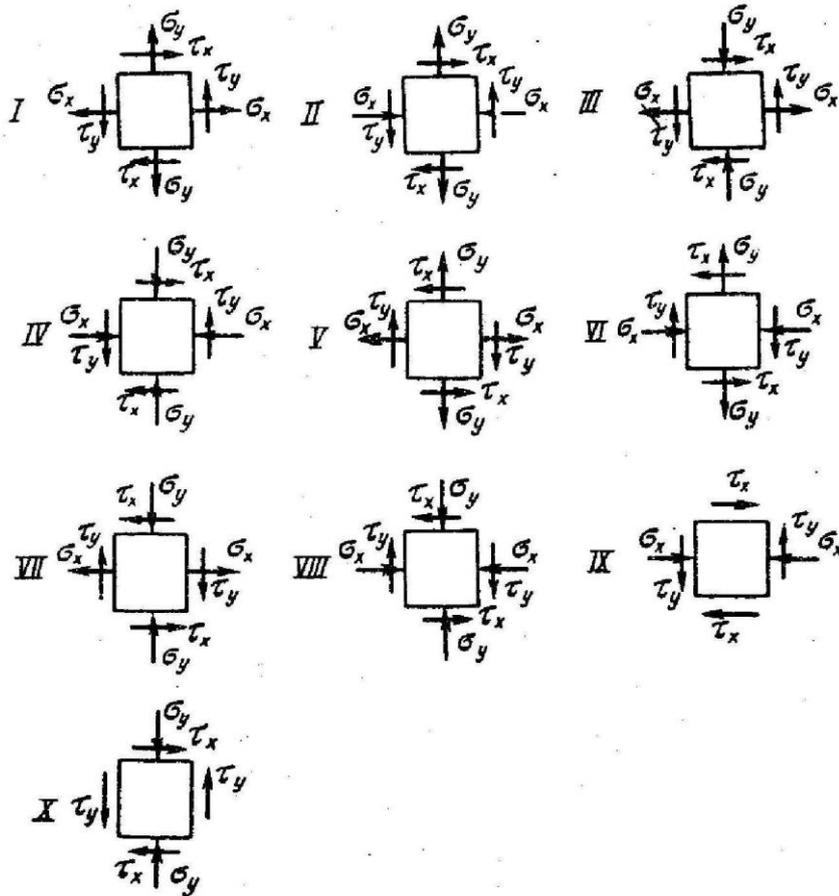


Рис. П.4

### Задача 5

К стальному валу приложены три известных момента:  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  (рис. П. 5). Требуется: 1) установить, при каком значении момента  $X$  угол поворота правого концевого сечения вала равен нулю; 2) для найденного значения  $X$  построить эпюру крутящих моментов; 3) при заданном значении  $[\tau]$  определить диаметр вала из расчета на прочность и округлить его значение до ближайшего, равного: 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100 мм; 4) построить эпюру углов закручивания; 5) найти наибольший относительный угол закручивания (на 1 м). Данные взять из табл. П.3.



Рис. П.5

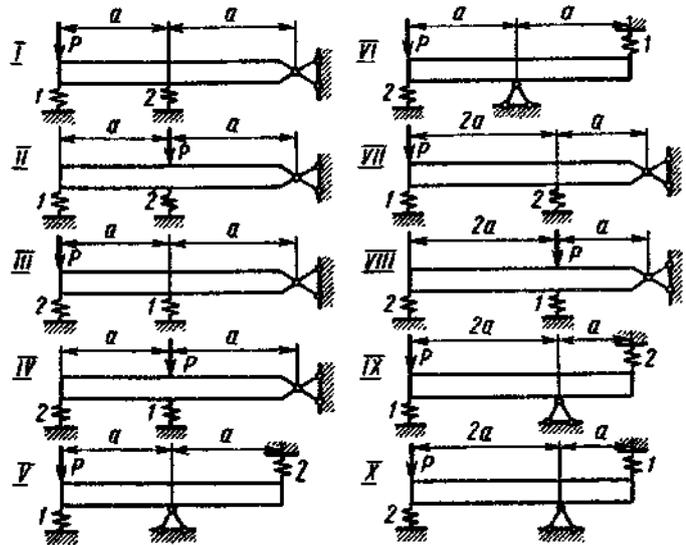


Рис. П.6

Таблица П.3

№ строки	Схема по рис. П.5	Расстояния, м			Моменты, Н • м			[τ], МПа
		a	b	c	M <sub>1</sub> ,	M <sub>2</sub> ,	M <sub>3</sub> ,	
1	I	1,1	1,1	1,1	1100	1100	1100	35
2	II	1,2	1,2	1,2	1200	1200	1200	40
3	III	1,3	1,3	1,3	1300	1300	1300	45
4	IV	1,4	1,4	1,4	1400	1400	1400	50
5	V	1,5	0,5	1,5	1500	1500	1500	55
6	VI	1,6	0,6	1,6	1600	600	1600	60
7	VII	1,7	0,7	1,7	1700	700	1700	65
8	VIII	1,8	0,8	1,8	1800	800	1800	70
9	IX	1,9	0,9	1,9	1900	900	1900	75
0	X	2	2	2	2000	1000	2000	80
	е	г	д	е	г	д	е	в

### Задача 6

Жесткий брус прикреплен к шарнирно-неподвижной опоре и к двум пружинам с одинаковым средним диаметром витков  $D$  и с одинаковым диаметром круглой проволоки  $d$  (рис. П.6). Пружина 1 имеет  $m$  витков, пружина 2 –  $l$  витков. Требуется: 1) найти усилия и напряжения в обеих пружинах; 2) найти осадки обеих

пружин; 3) установить, при каком отношении витков  $m/n$  усилия в обеих пружинах равны между собой; 4) найти усилия, напряжения и осадки при найденном отношении  $m/n$  и заданной величине  $m$  (или  $n$ ). Данные взять из табл. П.4.

Таблица П.4

№ строки	Схема по рис. П. 6	D	d	Число витков		P, H
		см		m	n	
1	I	11	1,1	11	11	110
2	II	12	1,2	12	12	120
3	III	13	1,3	13	13	30
4	IV	14	1,4	14	14	40
5	V	15	1,5	15	15	50
6	VI	6	1,6	6	6	60
7	VII	7	1,7	7	7	70
8	VIII	8	0,8	8	8	80
9	IX	9	0,9	9	9	90
0	X	10	1	10	10	100
	e	д	д	д	е	е

### Задача 7

Для заданного в табл. П.5 поперечного сечения, состоящего из швеллера и равнобокого уголка или из двутавра и разнобокого уголка, или из швеллера и двутавра (рис. П.7), требуется: 1) определить положение центра тяжести; 2) найти осевые (экваториальные) и центробежные моменты инерции относительно случайных осей, проходящих через центр тяжести ( $z_c$  и  $y_c$ ); 3) определить направление главных центральных осей ( $u$  и  $v$ ); 4) найти моменты инерции относительно главных центральных осей; 5) вычертить сечение в масштабе 1:2 и указать на нем все размеры в числах и все оси.

При расчете все необходимые данные следует брать из таблиц сортамента и ни в коем случае не заменять части профилей прямоугольниками.

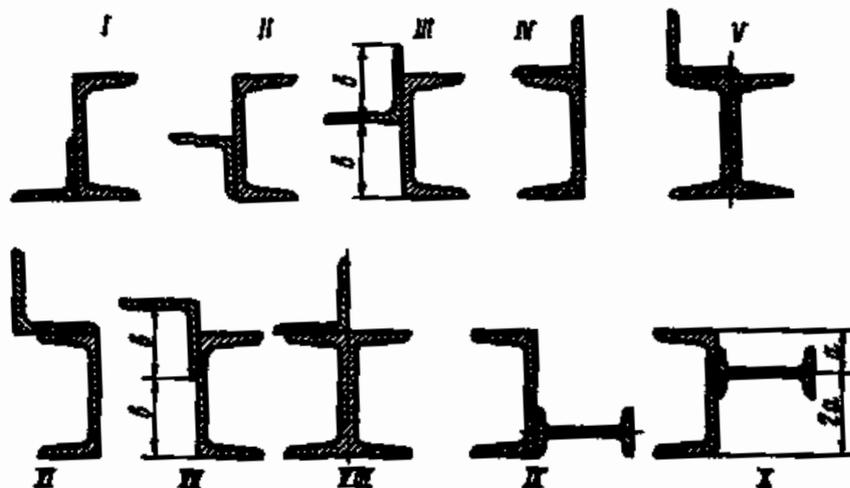


Рис. П.7

Таблиц-

ца

П.5

№ строки	Тип сечения по рис. П.7	Швеллер	Равнобокий уголок	Двутавр
1	I	14	80x80x8	12
2	II	16	80x80x6	14
3	III	18	90x90x8	16
4	IV	20	90x90x7	18
5	V	22	90x90x6	20a
6	VI	24	100x100x8	20
7	VII	27	100x100x10	22a
8	VIII	30	100x100x12	22
9	IX	33	125x125x 10	24a
0	X	36	125x125x12	24
	е	г	д	е

**Задача 8**

Для заданных двух схем балок (рис. П.8) требуется написать выражения  $Q$  и  $M$  для каждого участка в общем виде, построить эпюры  $Q$  и  $M$ , найти  $M_{max}$  и подобрать: а) для схемы (а) деревянную балку круглого поперечного сечения при  $[\sigma]=8$  МПа; б) для схемы (б) стальную балку двутаврового поперечного сечения при  $[\sigma]=180$  МПа. Данные взять из табл. П.6.

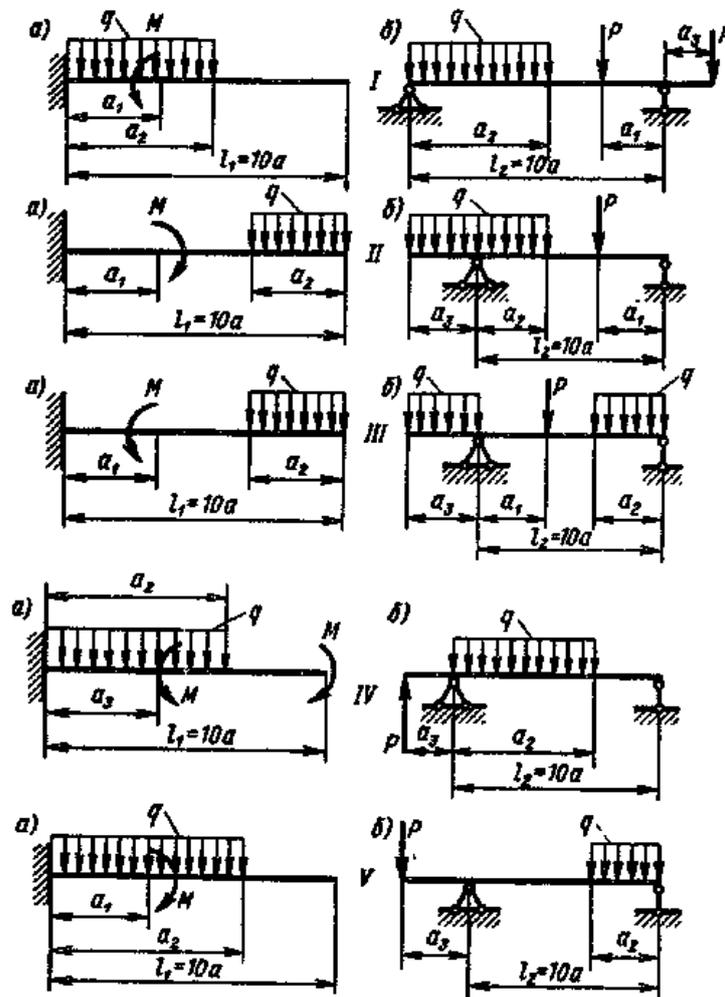
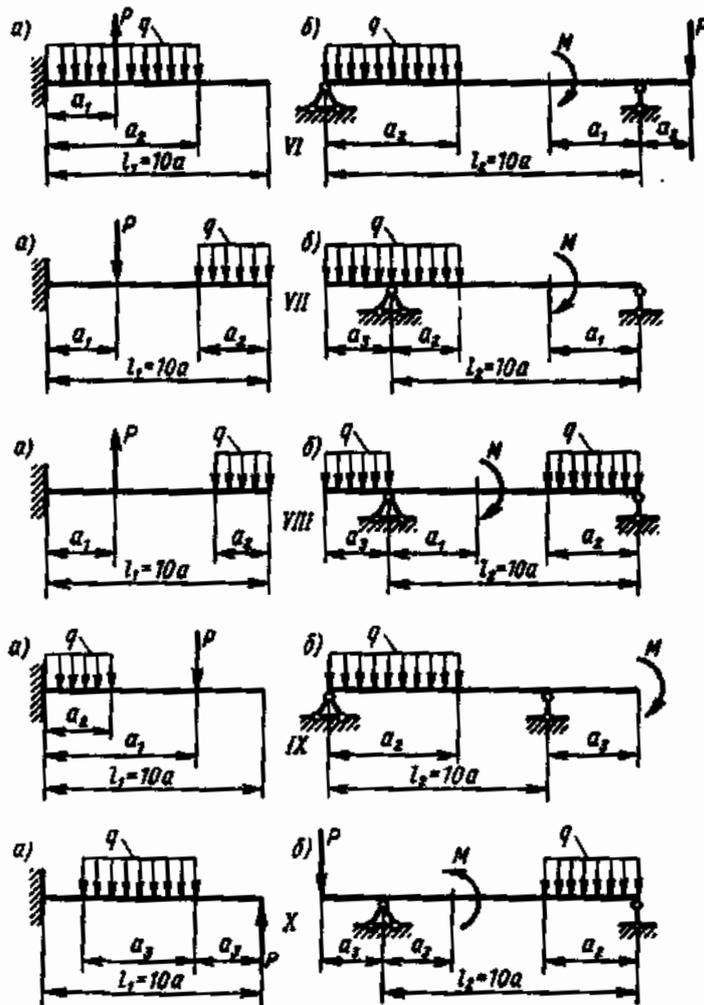


Рис. П.8



Окончание рис. П.8

Таблица П.6

№ строки	Схема по рис. П.8	$l_1$	$l_2$	Расстояния в долях пролета			$M$ , кН·м	Сосредоточенная сила $P$ , кН	$q$ , кН/м
				$a_1/a$	$a_2/a$	$a_3/a$			
1	I	1,1	6	1	9	1	10	10	10
2	II	1,2	7	2	8	2	20	20	20
3	III	1,3	3	3	7	3	3	3	3
4	IV	1,4	4	4	6	4	4	4	4
5	V	1,5	5	5	5	5	5	5	5
6	VI	1,6	6	6	6	1	6	6	6
7	VII	1,7	7	7	7	2	7	7	7
8	VIII	1,8	8	8	8	3	8	8	8
9	IX	1,9	9	9	9	4	9	9	9
0	X	2	10	10	10	5	10	10	10
	е	д	е	г	д	е	г	д	е

### Задача 9

Стальная балка пролетом  $l$  (в метрах) имеет сечение, состоящее из двутавра и двух приваренных к нему горизонтальных листов (рис. П.9). По двум балкам, уложенным параллельно, перемещается двухосная тележка крана, несущая полезную нагрузку и собственный вес, в сумме составляющие  $2P$ , причем на одну ось (на два колеса) передается давление  $\frac{n-1}{n}2P$ , на другую  $\frac{1}{n}2P$ , где коэффициент  $n$  характеризует распределение общей нагрузки между осями. Таким образом, нагрузки на каждую из балок равны:

$$P_1 = \frac{n-1}{n}P \text{ и } P_2 = \frac{1}{n}P,$$

где  $P$  – половина общей нагрузки на тележку (рис. П. 10).

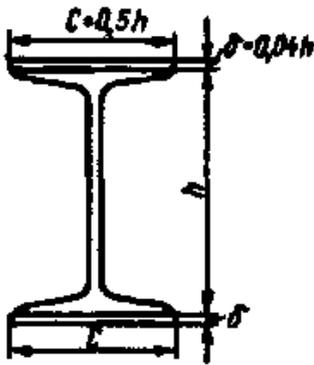


Рис. П.9

Остальные данные взять из табл. П.7. Требуется:

- 1) вычислить момент сопротивления сечения и наибольший изгибающий момент, который балка может безопасно выдержать при  $[\sigma] = 160$  МПа; 2) определить наиболее невыгодное положение тележки в пролете, при котором изгибающий момент получает наибольшее значение; 3) найти наибольшую силу  $P$  (половину общей нагрузки на тележку), которую балка может безопасно выдержать (собственный вес балки не учитывать); 4) рассчитать сварные швы, прикрепляющие листы к двутавру, по наибольшей поперечной силе (когда больший груз тележки стоит у опоры балки);  $[\tau] = 90$  МПа.

Указания. Если первый (левый) груз больше второго (правого), то эпюра изгибающих моментов при опасном положении нагрузки будет иметь вид, указанный на рис. П. 10, б. Левая опорная реакция

$$A = \frac{P_1(l-x)}{l} + \frac{P_2(l-x-a)}{l} = \frac{P(n-1)(l-x)}{nl} + \frac{P(l-x-a)}{nl} = \frac{P}{l} \left( l - x - \frac{a}{n} \right).$$

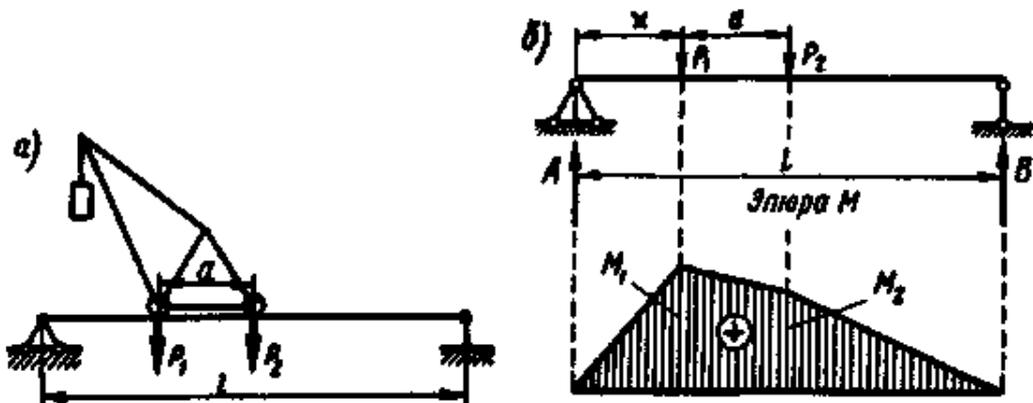


Рис. П.10

Наибольший изгибающий момент под силой  $P_1$

$$M_1 = Ax = \frac{Px}{l} \left( l - x - \frac{a}{n} \right),$$

он изменяется по закону параболы.

Приравняв нулю первую производную от  $M_1$  по  $x$ , найдем положение сечения, в котором возникает максимальный изгибающий момент, и вычислим величину  $M_1$  в зависимости от силы  $P$ .

### Задача 10

Для балки, изображенной на рис. П. 11, требуется: 1) найти изгибающий момент на левой опоре (в долях  $gl^2$ ); 2) построить эпюры  $Q$  и  $M$ ; 3) построить эпюру прогибов, вычислив три ординаты в пролете и две на консоли. Данные взять из табл. П.8.

Указания. Для ответа на первый вопрос нужно выбрать основную систему в виде свободно лежащей на двух опорах балки и составить уравнение деформаций, выражающее мысль, что суммарный угол поворота на левой опоре от заданной нагрузки и от опорного момента равен нулю.

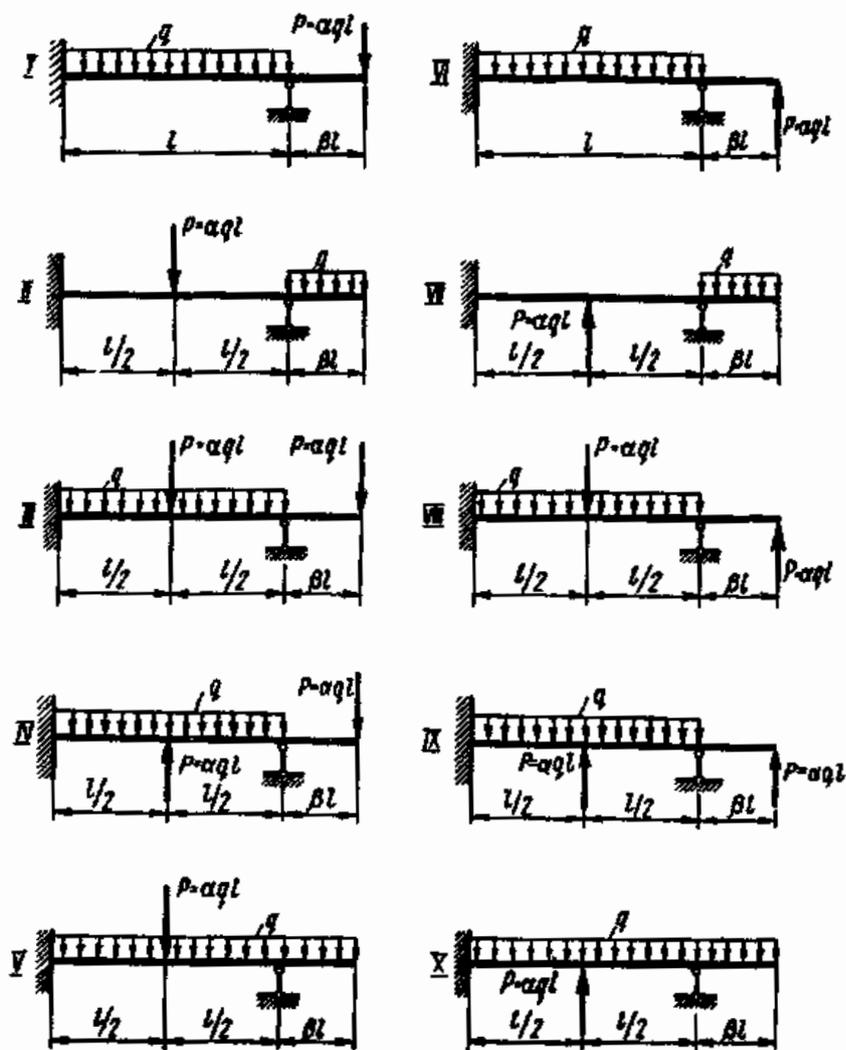


Рис. П.11

Таблица П.7

№ строки	№ двугавра	Пролет балки $l$ , м	Расстояние между осями тележки $a$ , м	Коэффици- ент, $n$
1	60	11	2.1	2.1
2	65	12	2.2	2.2
3	70	13	2.3	2.3
4	30	4	2.4	2.4
5	33	5	2.5	2.5
6	36	6	1.6	2.6
7	40	7	1.7	2.7
8	45	8	1.8	2.8
9	50	9	1.9	2.9
0	55	10	2	3
	г	г	д	е

Таблица П.8

№ строки	Схема		$\alpha$	$\beta$	$k$
	порис. П.11	порис. П.12			
1	I	I	0.1	0.	1.
2	II	II	0.2	0.	2
3	III	III	0.3	0.	3
4	IV	IV	0.4	0.	4
5	V	V	0.5	0.	5
6	VI	VI	0.6	0.	6
7	VII	VII	0.7	0.	7
8	VIII	VIII	0.8	0.	8
9	IX	IX	0.9	0.	9
0	X	X	1	1	10
	е	е	г	д	е

Можно также решить задачу иначе, составив два уравнения: 1) уравнение статики в виде суммы моментов всех сил относительно правой опоры; 2) уравнение метода начальных параметров, выражающее ту мысль, что прогиб на правой опоре равен нулю. Из этих двух уравнений можно найти изгибающий момент и реакцию на левой опоре ( $M_0$  и  $Q_0$ ).

Для ответа на третий вопрос целесообразнее всего использовать метод начальных параметров, так как два начальных параметра ( $y_0$  и  $\theta_0$ ) известны, а два других ( $M_0$  и  $Q_0$ ) будут найдены в процессе выполнения первых двух пунктов контрольной работы.

При построении эпюры прогибов надо учесть, что упругая линия балки обращена выпуклостью вниз там, где изгибающий момент положительный, и выпуклостью вверх там, где он отрицательный. Нулевым точкам эпюры  $M$  соответствуют точки перегиба упругой линии.

### Задача 11

Определить прогиб свободного конца балки переменного сечения (рис. П.12). Данные взять из табл. П.8.

### Задача 12

Деревянная балка (рис. П. 13) прямоугольного поперечного сечения нагружена вертикальной силой  $P$  в точке  $A$  и горизонтальной силой  $P$  в точке  $B$  (обе точки расположены на оси балки). На опорах балки могут возникнуть как вертикальные реакции, так и горизонтальные реакции, направленные перпендикулярно плоскости чертежа. Требуется: 1) построить эпюры  $M_{\text{верт}}$  и  $M_{\text{гор}}$  и установить положение опасного сечения; 2) подобрать размеры поперечного сечения  $h$  и  $b$  при допуске напряжении  $[\sigma]=8$  МПа; 3) определить положение нейтральной линии в опасном сечении балки и построить для этого сечения эпюру нормальных напряжений в аксонометрии. Данные взять из табл. П.9.

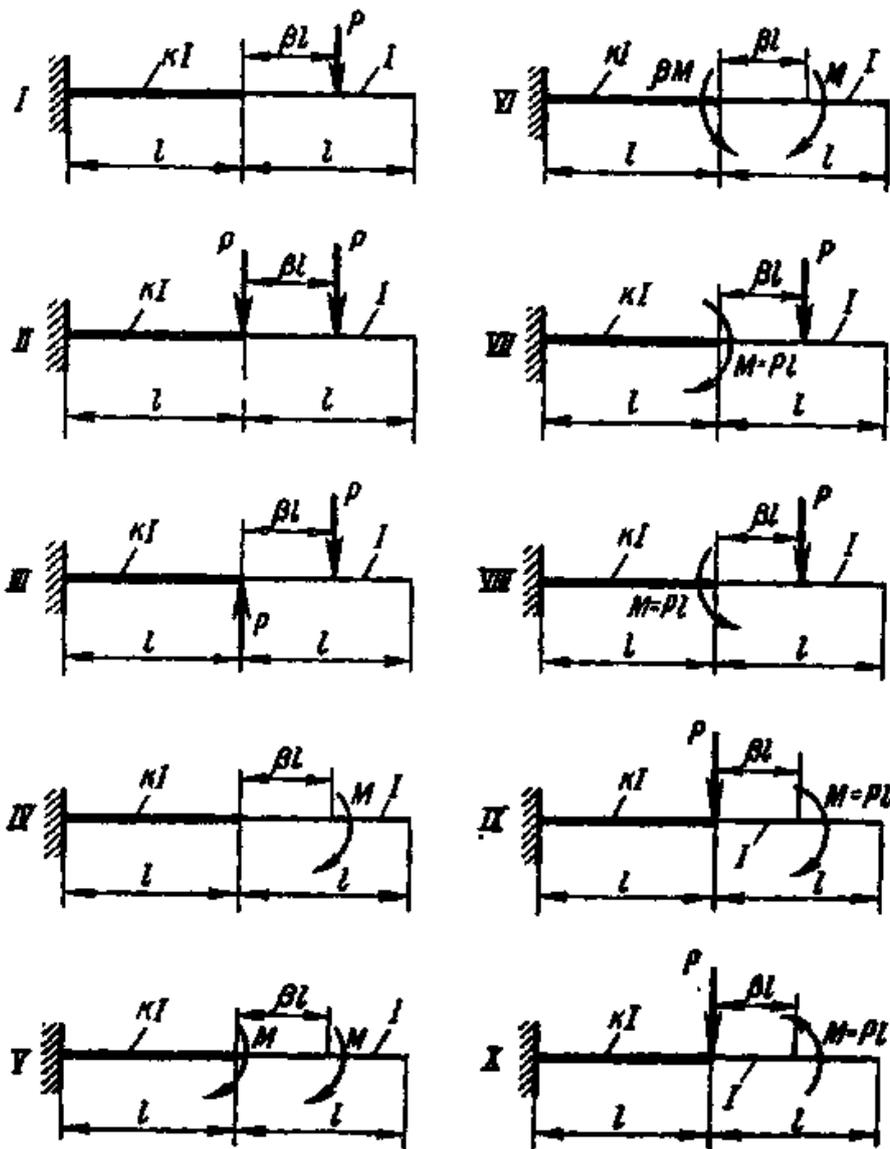


Рис. П. 12

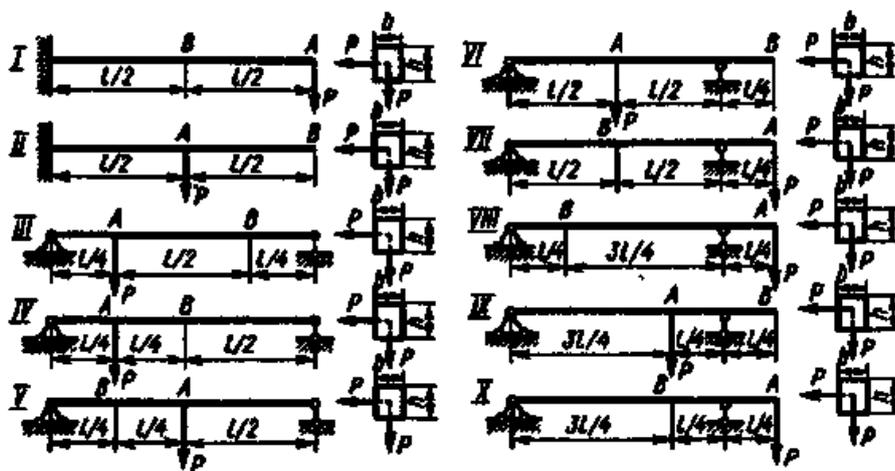


Рис. П. 13

Таблица П.9

№ строки	Схема по П.13	$P$ , кН	$l$ , м	$h/b$
1	I	1	1,1	1,1
2	II	2	1,2	1,2
3	III	3	1,3	1,3
4	IV	4	1,4	1,4
5	V	5	1,5	1,5
6	VI	6	1,6	1,6
7	VII	7	1,7	1,7
8	VIII	8	1,8	1,8
9	IX	9	1,9	1,9
0	X	10	2	2
	e	e	d	e

Таблица П.10

№ строки	Схема по рис. П.14	a	b	$[\sigma_c]$	$[\sigma_p]$
		см		МПа	
1	I	6	6	110	21
2	II	2	2	120	22
3	III	3	3	130	23
4	IV	4	4	140	24
5	V	5	5	150	25
6	VI	6	6	60	26
7	VII	2	2	70	27
8	VIII	3	3	80	28
9	IX	4	4	90	29
0	X	5	5	100	30
	e	г	д	г	д

## Задача 13

Чугунный короткий стержень, поперечное сечение которого изображено на рис. П.14, сжимается продольной силой  $P$ , приложенной в точке  $A$ . Требуется: 1) вычислить наибольшее растягивающее и наибольшее сжимающее напряжения в поперечном сечении, выразив эти напряжения через  $P$ , и размеры сечения; 2) найти допустимую нагрузку  $P$  при заданных размерах сечения и допустимых напряжениях для чугуна на сжатие  $[\sigma_c]$  и на растяжение  $[\sigma_p]$ . Данные взять из табл. П. 10.

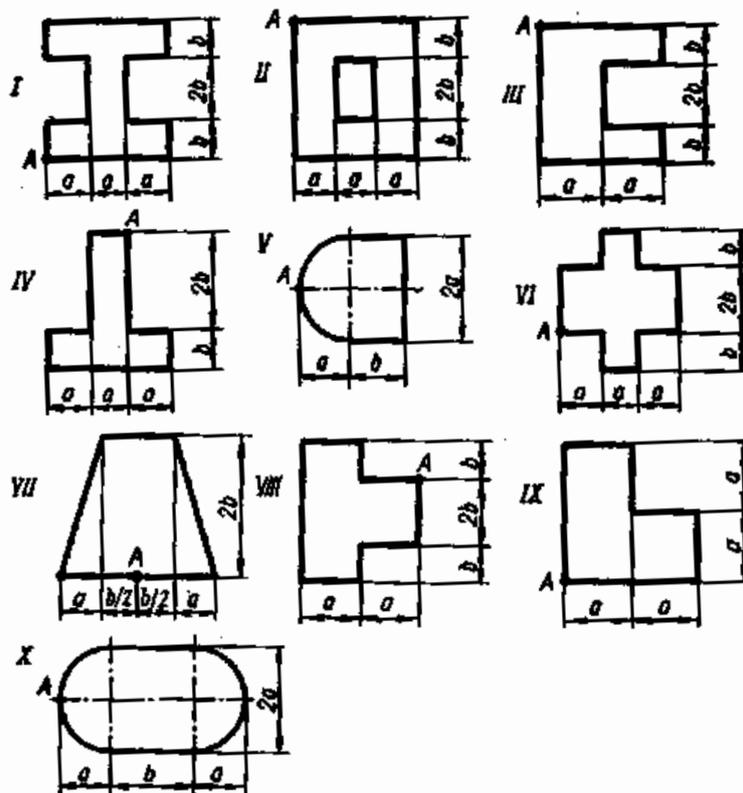


Рис. П.14

### Задача 14

На рис. П.15 изображена в аксонометрии ось ломаного стержня круглого поперечного сечения, расположенная в горизонтальной плоскости и имеющая прямые углы в точках  $A$  и  $B$ . На стержень действует вертикальная нагрузка. Требуется: 1) построить отдельно (в аксонометрии) эпюры изгибающих и крутящих моментов; 2) установить опасное сечение и найти для него расчетный момент по четвертой теории прочности. Данные взять из табл. П. 11.

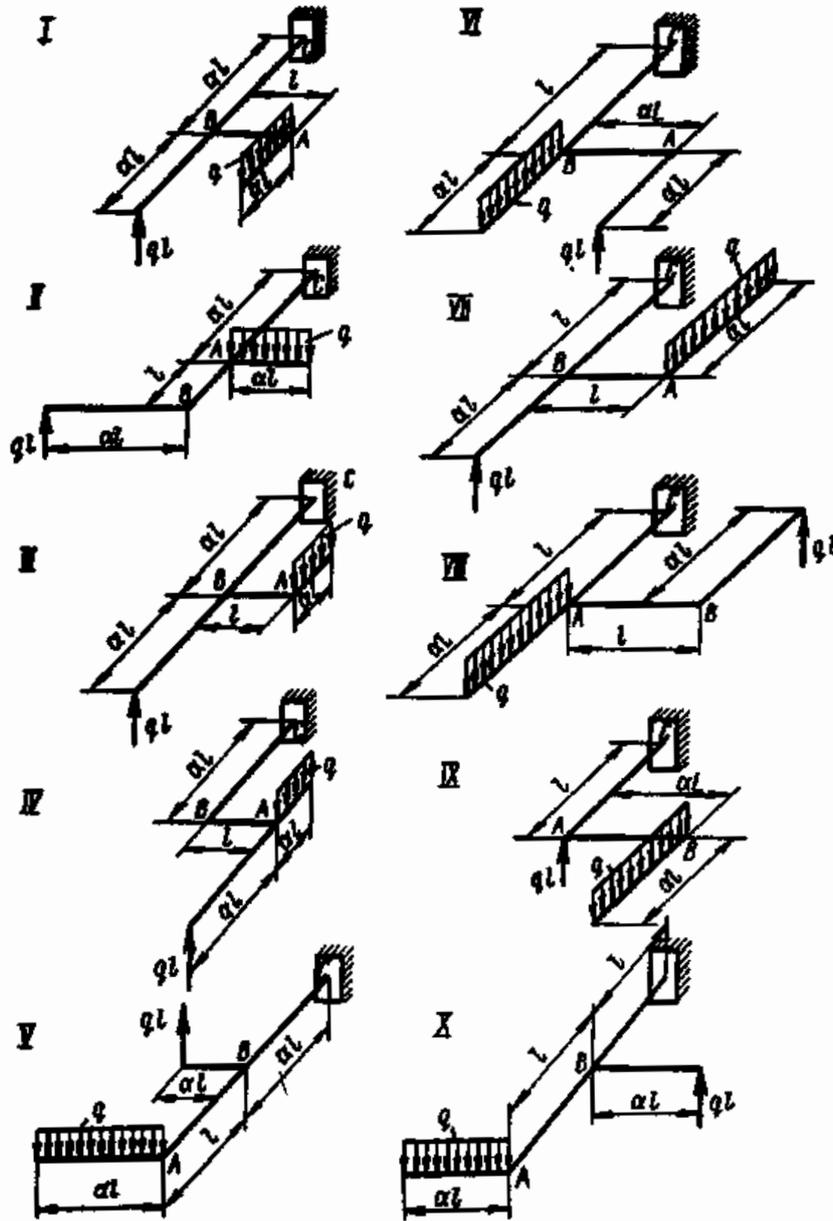


Рис. П.15

Таблица П.11

№ строки	Схема по рис. П.15	$\alpha$	№ строки	Схема по рис. П.15	$\alpha$
1	I	1,1	6	VI	0,6
2	II	1,2	7	VII	0,7
3	III	1,3	8	VII	0,8
4	IV	1,4	9	IX	0,9
5	V	1,5	0	X	1
	д	е		д	е

### Задача 15

Шкив с диаметром  $D_1$  и с углом наклона ветвей ремня к горизонту  $\alpha_1$  делает  $n$  оборотов в минуту и передает мощность  $N$  кВт. Два других шкива имеют одинаковый диаметр  $D_2$  и одинаковые углы наклона ветвей ремня к горизонту  $\alpha_2$  и каждый из них передает мощность  $N/2$  (рис. П. 16). Требуется: 1) определить моменты, приложенные к шкивам, по заданным  $N$  и  $n$ ; 2) построить эпюру крутящих моментов  $M_{кр.}$ ; 3) определить окружные усилия  $t_1$  и  $t_2$ , действующие на шкивы, по найденным моментам и заданным диаметрам шкивов  $D_1$  и  $D_2$ , 4) определить давления на вал, принимая их равными трем окружным усилиям; 5) определить силы, изгибающие вал в горизонтальной и вертикальной плоскостях (вес шкивов и вала не учитывать); 6) построить эпюры изгибающих моментов от горизонтальных сил  $M_{гор}$  и от вертикальных сил  $M_{верт.}$ ; 7) построить эпюру суммарных изгибающих моментов, пользуясь формулой  $M_{изг} = \sqrt{M_{гор}^2 + M_{верт.}^2}$  (для каждого поперечного сечения вала имеется своя плоскость действия суммарною изгибающего момента, но для круглого сечения можно совместить плоскости  $M_{изг}$  для всех поперечных сечений и построить суммарную эпюру в плоскости чертежа; при построении эпюры надо учесть, что для некоторых участков вала она не будет прямолинейной); 8) при помощи эпюр  $M_{кр.}$  (см. п. 2) и  $M_{изг}$  (см. п. 7) найти опасное сечение и определить максимальный расчетный момент (по третьей теории прочности); 9) подобрать диаметр вала  $d$  при  $[\sigma]=70$  МПа и округлить его значение (см. задачу 5). Данные взять из табл. П. 12.

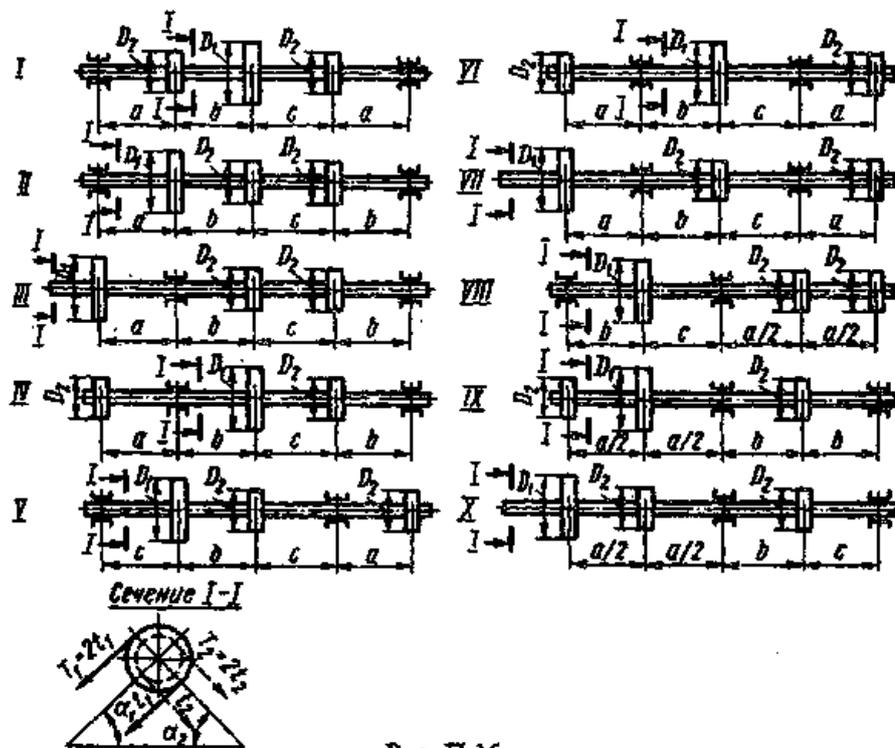


Рис. П.16

Таблица П.12

№ строки	Схема по рис. П.16	N, кВт	n, об/мин	a	b	c	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	$\alpha_1^0$	$\alpha_2^0$
				м						
1	I	10	100	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	10	10
2	II	20	200	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	20	20
3	III	30	300	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	30	30
4	IV	40	400	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	40	40
5	V	50	50	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	50	50
6	VI	60	60	1,6	1,6	1,6	0,6	0,6	60	60
7	VII	70	70	1,7	1,7	1,7	0,7	0,7	70	70
8	VIII	80	80	1,8	1,8	1,8	0,8	0,8	80	80
9	IX	90	90	1,9	1,9	1,9	0,9	0,9	90	90
0	X	100	1000	1	1	1	1	1	0	0
	е	д	е	г	д	е	д	е	д	в

### Задача 16

Построить M, N, Q и найти значения нормальных напряжений в опасном сечении кривого стержня (рис. П. 17). Данные взять из табл. П. 13.

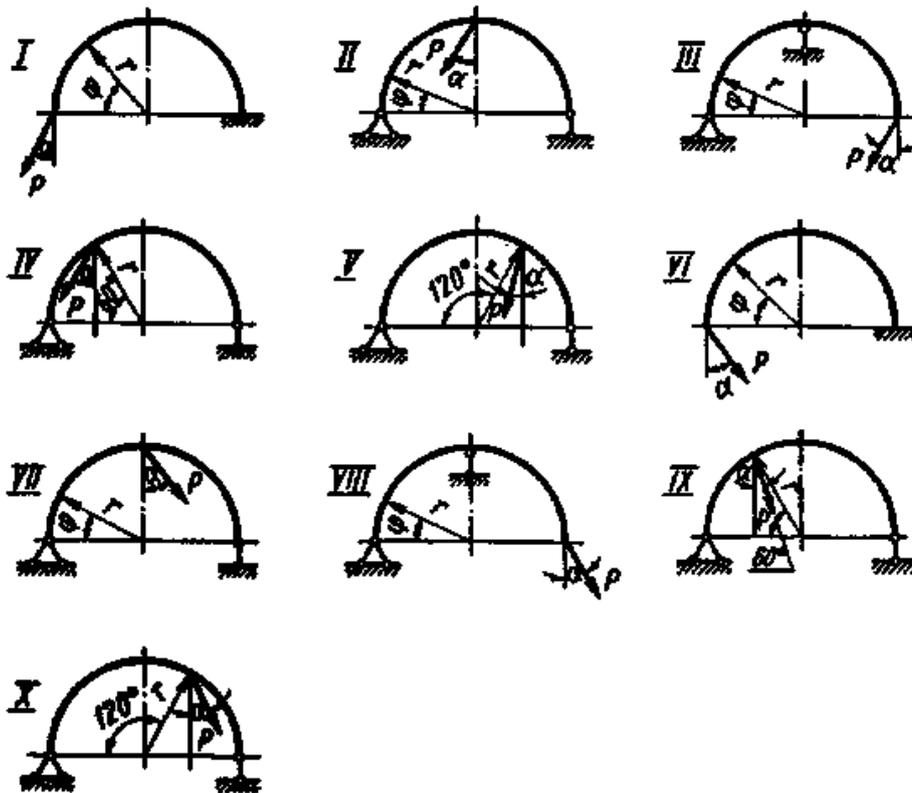
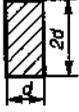
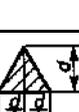
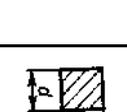
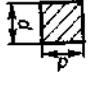
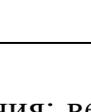


Рис. П.17

Таблица П.13

№ строки	Схема по рис. П.17	$\alpha^0$	P, Н	r	d	Форма сечения
				см		
1	I	10	1100	21	4,1	
2	II	20	1200	22	4,2	
3	III	30	1300	23	4,3	
4	IV	40	1400	24	4,4	
5	V	50	1500	25	4,5	
6	VI	60	1600	26	4,6	
7	VII	70	1700	17	4,7	
8	VIII	80	1800	18	4,8	
9	IX	90	1900	19	4,9	
0	X	0	2000	20	5	

Указания. Силу  $P$  следует разложить на два направления: вертикальное и горизонтальное. Далее надо найти опорные реакции; для произвольного сечения, определяемого полярными координатами  $r$  и  $\varphi$ , написать выражения  $M$ ,  $N$ ,  $Q$  и, задавая различные значения  $\varphi$  (не реже чем через  $30^\circ$ ), построить эпюры по точкам.

При определении радиуса кривизны нейтрального слоя  $r_0$  необходимо вычисления производить точно, так как величина  $r_0$  близка к величине  $r$  и при определении с придется иметь дело с малой разностью величин  $r$  и  $r_0$ .

Для проверки вычислений рекомендуется воспользоваться приближенной формулой  $c=I/rF$ , где  $J$  – момент инерции поперечного сечения относительно центральной оси;  $F$  – площадь поперечного сечения.

### Задача 17

Стальной стержень длиной  $l$  сжимается силой  $P$ . Требуется: 1) найти размеры поперечного сечения при допуске напряжении на простое сжатие  $[\sigma] = 160$  МПа (расчет производить последовательными приближениями, предварительно задавшись коэффициентом  $\varphi=0,5$ ); 2) найти критическую силу и коэффициент запаса устойчивости. Данные взять из табл. П. 14.

Таблица П.14

№ строки	P, кН	l, м	Схема закрепления концов стержня	Формы сечения стержня
1	100	2,1		I  VI
2	200	2,2		
3	300	2,3		II  VII
4	400	2,4		
5	500	2,5		III  VIII
6	600	2,6		
7	700	2,7		IV  IX
8	800	2,8		
9	900	2,9		V  X
0	1000	3		
	Г	Д	Д	е

### Задача 18

На рис. П. 18, а изображена нагруженная в своей плоскости рама, вертикальные элементы которой имеют моменты инерции  $J$ , а горизонтальные элементы –  $kJ$ ; на рис. П. 18, б изображена нагруженная перпендикулярно своей плоскости рама, сделанная из стержня круглого поперечного сечения ( $G=0,4E$ ). Требуется для обеих рам: 1) установить степень статической неопределимости и выбрать основную систему; 2) написать канонические уравнения; 3) построить эпюры  $M$  от единичных сил и от заданной нагрузки; 4) найти перемещения; 5) найти величины лишних неизвестных; 6) построить окончательные эпюры внутренних силовых факторов:  $M$ ,  $N$  и  $Q$  для схемы на рис. 24, а и  $M_n$ ,  $M_k$  и  $Q$  для схемы на рис. П. 18,б. Данные взять из табл. П. 15.

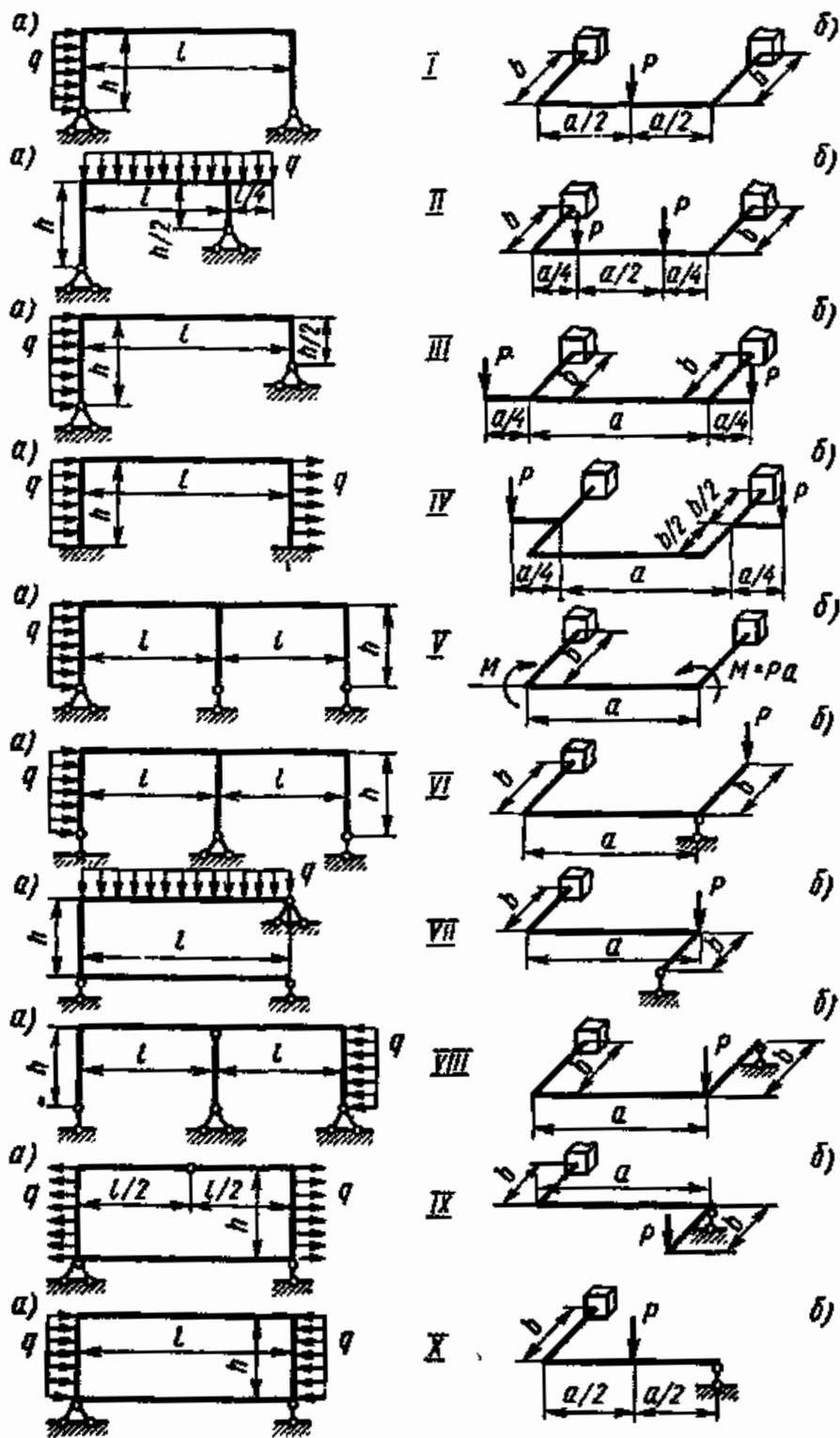


Рис. П.18

Таблица П.15

№ строки	Схема рамы	1	h	q, кН/м	k	P, Н	a	b
		M					M	
1	I	11	2	15	1,1	1100	1,1	1,1
2	II	12	3	20	1,2	1200	1,2	1,2
3	III	3	4	30	1,3	1300	1,3	1,3
4	IV	4	5	4	1,4	1400	1,4	1,4
5	V	5	6	5	1,5	1500	1,5	1,5
6	VI	6	2	6	1,6	600	0,6	0,6
7	VII	7	3	7	1,7	700	0,7	0,7
8	VIII	8	4	8	1,8	800	0,8	0,8
9	IX	9	5	9	1,9	900	0,9	0,9
0	X	10	6	10	2	1000	1	1
	e	г	д	e	в	Г	д	e

### Задача 19

На двух балках двутаврового сечения установлен двигатель весом  $Q$  (рис. П. 19), делающий  $n$  оборотов в минуту. Центробежная сила инерции, возникающая вследствие неуравновешенности вращающихся частей двигателя, равна  $H$ . Собственный вес балок и силы сопротивления можно не учитывать. Требуется найти: 1) частоту собственных колебаний  $\omega_0$ ; 2) частоту изменения возмущающей силы  $\omega$ ; 3) коэффициент нарастания колебаний  $\beta = \frac{1}{1 - (\omega / \omega_0)^2}$  (если коэффициент  $\beta$ , определяемый по этой формуле, окажется отрицательным, то в дальнейшем расчете следует учитывать его абсолютную величину); 4) динамический коэффициент  $k_d = 1 + \frac{f_u}{f_0} \beta = 1 + \frac{H}{Q} \beta$ ; 5) наибольшее нормальное напряжение в балках. Данные взять из табл. П. 16.

### Задача 20

На двутавровую балку, свободно лежащую на двух жестких опорах (рис. П. 20), с высоты  $h$  падает груз  $P$ . Требуется: 1) найти наибольшее нормальное напряжение в балке; 2) решить аналогичную задачу при условии, что правая опора заменена пружиной, податливость которой (т.е. осадка от груза весом 1 кН) равна  $\alpha$ ; 3) сравнить полученные результаты. Данные взять из табл. П. 17.

Указание. При наличии упомянутой в п. 2 пружины  $\Delta_{cm} = \Delta_{\sigma} + \beta \Delta_{np}$ , где  $\Delta_{\sigma}$  прогиб балки, лежащей на жестких опорах, в том сечении, где приложена сила  $P$  (при статическом действии этой силы);  $\Delta_{np}$  – осадка пружины от реакции, возникающей от силы  $P$ ;  $\beta$  – коэффициент, устанавливающий зависимость между осадкой пружины и перемещением точки приложения силы  $P$ , вызванным поворотом всей балки вокруг центра шарнира левой опоры как жесткого целого (коэффициент  $\beta$  находят из подобия треугольников).

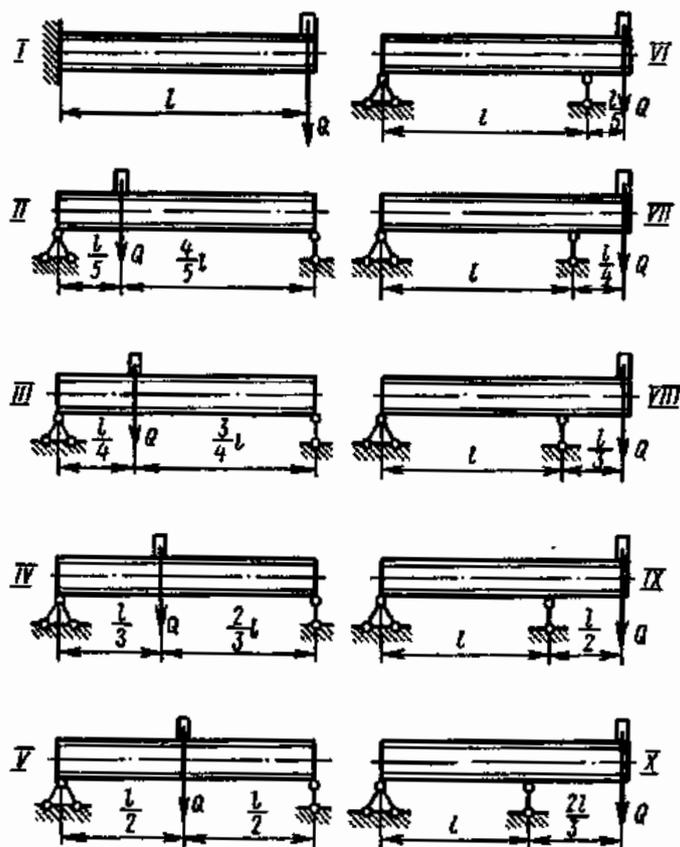


Рис. П 19

Таблица П. 16

№ строки	Схема по рис. П.19	№ двутавра	l, м	Q	H	n, об/мин
				кН		
1	I	16	1,1	11	11	400
2	II	18	1,2	12	2	450
3	III	20а	1,3	13	3	500
4	IV	20	1,4	14	4	550
5	V	22а	1,5	15	5	600
6	VI	22	1,6	16	6	650
7	VII	24а	1,7	17	7	700
8	VIII	24	1,8	18	8	750
9	IX	27а	1,9	19	9	800
10	X	27	2	20	10	850
	е	д	е	г	д	е

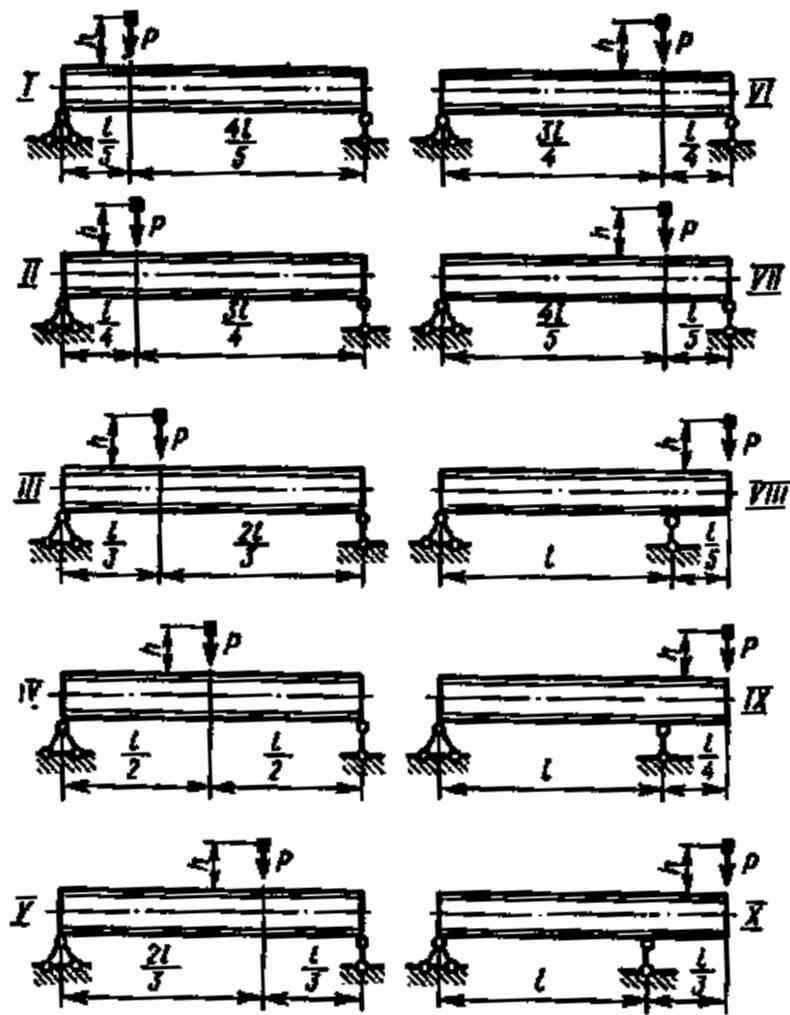


Рис. П.20

Таблица П.17

№ строки	Схема по рис. П.20	№ двугавра	$l$ , м	$P$ , Н	$h$ , см	$10^3 \cdot \alpha$ , м/кН
1	I	20	2,1	1100	11	21
2	II	20а	2,2	1200	12	22
3	III	24	2,3	300	3	23
4	IV	24а	2,4	400	4	24
5	V	27	2,5	500	5	25
6	VI	27а	2,6	600	6	26
7	VII	30	2,7	700	7	27
8	VIII	30а	2,8	800	8	28
9	IX	33	2,9	900	9	29
10	X	36	3	1000	10	30
	е	д	е	г	д	е

### Задача 21

Валик и жестко соединенный с ним ломаный стержень того же поперечного сечения вращаются с постоянной угловой скоростью со вокруг оси  $AB$  (рис. П. 21). Требуется: 1) построить эпюру изгибающих моментов от сил инерции, возникающих на вертикальном  $CD$  и горизонтальном  $DE$  участках ломаного стержня; силы инерции самого валика можно не учитывать (при изображенном на рис. П.21 положении ломаного стержня силы инерции складываются с силами собственного веса, но последними ввиду их незначительности при построении эпюры  $M$  можно пренебречь); 2) найти допустимое число оборотов валика в минуту при допустимом напряжении  $[\sigma] = 100 \text{ МПа}$  и  $\gamma = 78 \text{ кН/м}^3$ . Данные взять из табл. П. 18.

Указания. Для упрощения вычислений рекомендуется производить их сначала в общем виде, обозначив интенсивность сил инерции на горизонтальном участке через  $q$ . Равнодействующие сил инерции на горизонтальном и вертикальном участках, опорные реакции, ординаты эпюры  $M$  надо выразить через  $q$  и  $l$ .

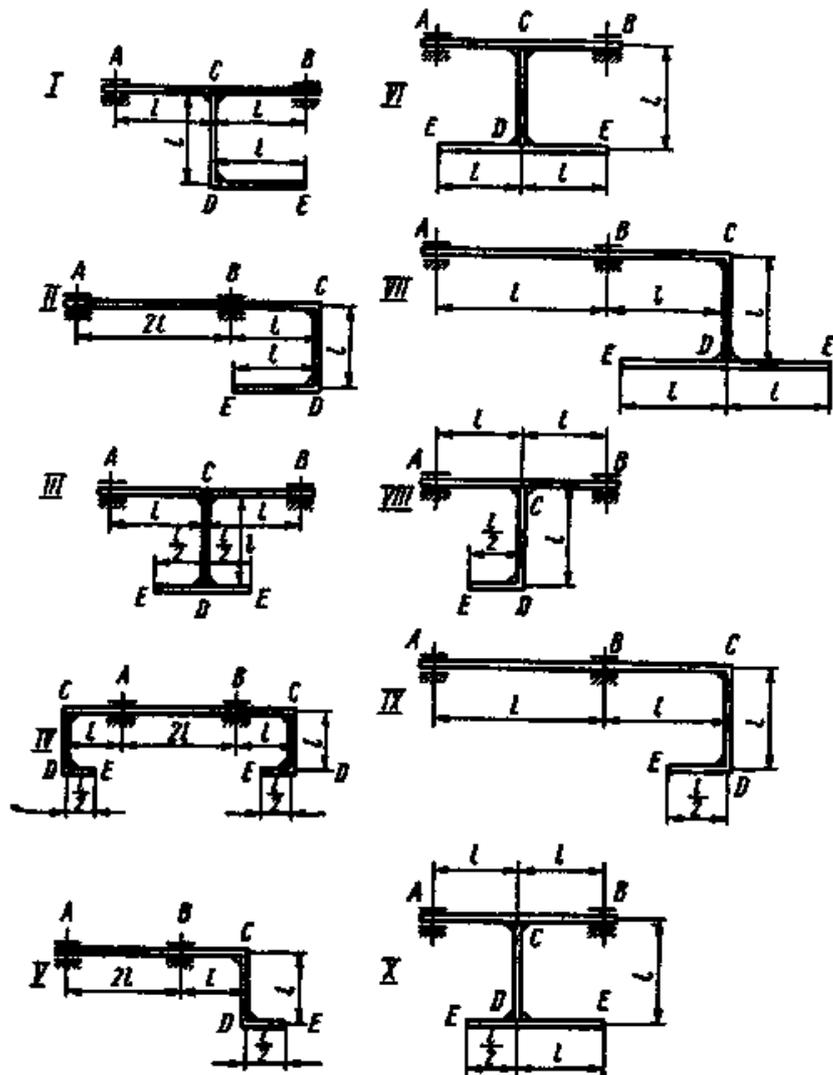


Рис. П.21

## Задача 22

В опасном сечении вала с диаметром  $d$  действует крутящий момент  $M_{кр}$  и изгибающий момент  $M_{изг}$ . Вал сделан из углеродистой стали (предел прочности которой равен  $\sigma_{\sigma}$ , а предел текучести  $\sigma_T$ ) и не имеет резких переходов, выточек, канавок; поверхность его чисто обработана резцом.

Определить коэффициент запаса прочности в опасном сечении вала, приняв нормальные напряжения изгиба изменяющимися по симметричному циклу, а касательные напряжения кручения – по пульсирующему циклу (от нуля до максимального значения).

Коэффициенты концентрации напряжений и масштабные коэффициенты можно считать соответственно одинаковыми для нормальных и для касательных напряжений. Данные взять из табл. П. 19.

Порядок выполнения решения: 1) найти максимальные нормальные напряжения и максимальные касательные напряжения; 2) по эмпирическим формулам найти предел текучести при кручении и пределы выносливости при кручении и изгибе; 3) найти действительный коэффициент концентрации напряжений по формуле  $k = 1,2 + 0,2 \frac{\sigma_{\sigma} - 40}{110}$ ; 4) найти масштабный коэффициент по формуле  $\beta_{\sigma} = 1,2 + 0,1(d - 3)$ , где  $d$  – в сантиметрах; 5) найти коэффициенты запаса прочности по нормальным и касательным напряжениям; 6) найти общие коэффициенты запаса прочности по усталостному разрушению и текучести.

Таблица П.18

№ строки	Схема по рис. П.21	$l$ , см	Диаметр валика $d$ , мм
1	I	15	21
2	II	20	22
3	III	25	23
4	IV	30	24
5	V	35	25
6	VI	40	16
7	VII	45	17
8	VIII	50	18
9	IX	55	19
0	X	60	20
	е	д	г

Таблица П.19

№ строки	$d$ , мм	$M_{кр}$	$M_{изг}$	$\sigma_{\sigma}$	$\sigma_m$
		Н · м		МПа	
1	31	210	210	510	240
2	32	220	220	520	240
3	33	230	230	530	250
4	34	240	240	540	250
5	35	250	250	550	260
6	36	260	260	560	260
7	37	270	270	570	270
8	38	280	280	580	270
9	39	290	290	590	280
0	40	300	300	600	280
	е	д	е	д	д