

Министерство высшего и среднего специального образования
СССР

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

Кафедра строительной механики

539.3/ 6(07)

В 932

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ
(Для студентов-заочников специальности ПГС)

Одобрено методической
комиссией инженерно-
строительного факультета

Челябинск, 1982

УДК. 539.37.6 (07)

8932

Методические указания и контрольные задания по сопротивлению материалов. (Для студентов-заочников специальности ПГС)
/Составители: В.Л.Высоковский, В.А.Черемных; Под ред. В.А.Икрина.- Челябинск: ЧПИ, 1982. - 56 с.

Изложены общие методические указания, рабочая программа курса, рекомендуемая литература, задания для контрольных работ и предложение с необходимыми справочными данными.

Ил. 19, табл. 26, список лит. - 9 назв.

Рецензент В.А.Валуи

27493/83

ЧЕЛЯБИНСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Сопротивление материалов является одним из основных курсов, обеспечивающих подготовку специалистов в области строительства. В нем излагаются методы расчетов на прочность, жесткость и устойчивость элементов конструкций. Эти расчеты рассматриваются в связи с поведением материалов в различных условиях нагружения и работы в зависимости от их состояния. При проведении расчетов на прочность необходимо стремиться к сочетанию надежности работы конструкции с ее дешевизной, добиваясь достаточной прочности при наименьшем расходе материала.

Сопротивление материалов — одна из сложных дисциплин, изучаемых в высших технических учебных заведениях. Сложность ее заключается не столько в новых идеях, сколько в необходимости использовать для реализации этих идей знания математики и теоретической механики. Из математики широко используются такие разделы, как дифференциальное и интегральное исчисление, дифференциальные уравнения, из теоретической механики, в первую очередь, статика.

Изучение курса должно обязательно сопровождаться составлением конспекта и решением задач. Необходимо научиться делать выводы формул. При этом следует обращать особое внимание на механическую сущность явления и на те допущения и ограничения, которые делаются в процессе выводов.

Для преодоления возникающих при решении задач затруднений надо использовать имеющиеся в учебных пособиях указания и решения, а также личные консультации на кафедре. Знание теории без умения решать задачи, так же как и умение решать задачи без знания теории, ценности не представляют.

После изучения каждой темы необходимо ответить на вопросы для самоконтроля. Этим закрепляется усвоение пройденного мате-

риала. Встречаясь в новой теме с затруднениями в вопросах, которые были изучены ранее, лучше своевременно вернуться к их проработке. Иначе вместо крепких знаний будут накоплены лишь обрывочные сведения.

В лаборатории студент обязан изучить методы механических испытаний материалов, экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений, применяемые испытательные машины и измерительные приборы. В ходе лабораторной работы необходимо зафиксировать в журнале экспериментальные данные и обработать результаты наблюдений.

Курс "Сопротивление материалов" условно разделен на две части.

Первая часть включает темы I - 9 рабочей программы. Контрольных работ две: работа № I "Геометрические характеристики поперечных сечений бруса и построение эпюр внутренних силовых факторов" (задачи № I-7); работа № 2 "Расчеты на прочность и жесткость при растяжении, сжатии, кручении и изгибе" (задачи № 8-II).

Лабораторных работ пять: работы № I, 2, 3, 4, 10 (в соответствии с пособием [4]).

В конце семестра зачет. На зачете студент должен показать умение решать задачи, знание выводов основных формул (геометрические характеристики, растяжение-сжатие, кручение, изгиб), понимание результатов лабораторных работ.

Вторая часть курса охватывает темы 10 - 15 рабочей программы. Контрольных работ две: работа № 3 "Сложное сопротивление и условные расчеты на прочность" (задачи № 12 - 15) ; работа № 4 "Расчет балок по предельному равновесию, устойчивость и удар" (задачи № 16 - 19).

Лабораторных работ четыре: работы № 12, 13, 17, 19.

В конце семестра экзамен.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА

Часть I

Тема I. Введение. Основные понятия

Определение науки сопротивления материалов. Связь сопротивления материалов со строительной механикой, теорией упругости и пластичности и другими общеинженерными и специальными дисциплинами. Значение курса сопротивления материалов в свете задач, поставленных программой КПСС о создании материально-технической базы коммунизма в СССР, и решений XXIV съезда КПСС.

Реальный объект и расчетная схема. Классификация тел по геометрическому признаку: брус (стержень), оболочка (пластина), массив.

Внешние силы и их классификация: объемные и поверхностные, сосредоточенные и распределенные, активные и реактивные, постоянные и временные, статические и динамические. Типы опор и связей. Расчет по деформированному и недеформированному состояниям.

Основные свойства твердого деформируемого тела: упругость, пластичность и ползучесть. Деформации и перемещения. Деформации линейные и угловые (сдвиги).

Гипотезы (допущения) в сопротивлении материалов.

Внутренние силы. Напряжение полное, нормальное и касательное. Понятие напряженно-деформированного состояния в точке тела.

Л и т е р а т у р а : [1] , гл. I ; ([2] , гл. I)^ж .

Тема 2. Геометрические характеристики поперечных сечений бруса

Статический момент. Определение положения центра тяжести плоской фигуры. Центральные оси.

Осевой, полярный и центробежный моменты инерции. Моменты инерции простейших фигур (прямоугольник, треугольник, круг и кольцо).

^ж В круглых скобках здесь и далее указана дублирующая литература.

Изменение моментов инерции при параллельном переносе и повороте координатных осей. Главные оси инерции. Главные моменты инерции. Вычисление главных моментов инерции фигур сложной формы.

Л и т е р а т у р а: [1], гл. VI, § 47-50, 52; ([2], гл. 5, § 1.5-7.5, 9.5); [3], задачи: 4.38, 4.39, 4.43.

Т е м а 3. Эпюры внутренних силовых факторов

Внутренние силы. Метод сечений. Главный вектор и главный момент внутренних сил. Внутренние силы в поперечном сечении бруса. Продольная и поперечные силы, крутящий и изгибающий моменты. Их выражения через напряжения. Виды простейших деформаций бруса: растяжение - сжатие, сдвиг, кручение и изгиб.

Эпюры внутренних силовых факторов. Дифференциальные зависимости, связывающие внутренние силовые факторы (при растяжении - сжатии, кручении и изгибе) с интенсивностью внешней распределенной нагрузки. Построение эпюр продольных сил, крутящих моментов, поперечных сил и изгибающих моментов для бруса с прямой осью и пространственных рам. Проверки построенных эпюр.

Л и т е р а т у р а: [1], гл. I, § 4; гл. II, § 6; гл. VII, § 53; гл. VIII, § 64, 65; гл. XI, § 95; ([2], гл. I, § 3.1; гл. 2, § 1.2; гл. 6, § 1.6; гл. 7, § 2.7-6.7); [3], задачи: 4.1, 4.2, 4.4, 4.16; [5], § 1-17, 22.

Т е м а 4. Растяжение и сжатие прямого бруса

Центральное растяжение или сжатие. Напряжения в поперечных сечениях бруса. Основные допущения. Эпюра напряжений. Продольные и поперечные деформации. Закон Гука при растяжении и сжатии. Модуль упругости E и коэффициент Пуассона μ . Жесткость при растяжении и сжатии. Перемещение поперечных сечений бруса. Эпюры перемещений. Учет собственного веса бруса.

Принцип Сен-Венана, принцип независимости действия сил.

Л и т е р а т у р а: [1], гл. II, § 6-8, 22; ([2], гл. 2, № 1.2-3.2, 5.2, 7.2); [3], задачи: 1.2, 1.3, 1.6, 1.9, 1.18, 1.20, 1.23, 1.27, 1.36.

Т е м а 5. Механические свойства материалов при растяжении и сжатии

Опытное изучение механических свойств материалов при растяжении и сжатии. Диаграммы растяжения и сжатия ($P-\sigma$ и $\sigma-\epsilon$). 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. Понятие об истинной диаграмме растяжения и сжатия. Разгрузка и повторное нагружение. Наклёп. Диаграммы растяжения и сжатия хрупких материалов и основные механические характеристики. Особенности разрушения хрупких материалов при растяжении и сжатии.

Влияние скорости нагружения, температуры и других факторов на прочностные характеристики материалов. Последствие (упругое и пластическое). Понятие о ползучести, релаксации и длительной прочности. Особенности механических свойств пластмасс.

Работа внешних и внутренних сил, потенциальная энергия деформации при растяжении и сжатии.

Л и т е р а т у р а : [1], гл. II, § 10-18; ([2], гл. 2, § 4.2, 6.2) ; [4] .

Т е м а 6. Понятие о расчете конструкций по предельным состояниям

Основные понятия о прочности, надежности и долговечности конструкций. Различные взгляды на пределы нагружения. Виды предельных состояний.

Два подхода к расчету на прочность: по напряжению в опасной точке (по допускаемым напряжениям) и по предельному равновесию. Коэффициент запаса. Техничко-экономические факторы, влияющие на величину коэффициента запаса.

Нагрузки нормативные и расчетные. Нормативное и расчетное сопротивление. Условия прочности и жесткости. Основные виды задач в сопротивлении материалов: поверочный расчет, подбор сечения, определение допустимой нагрузки.

Л и т е р а т у р а : [1], гл. II, § 20, 21, ([2], гл. 2, § 8.2; гл. I7, § 5.17).

Т е м а 7. Теория напряженного состояния

Понятие о плоском напряженном состоянии. Общий случай плоского напряженного состояния. Закон парности касательных напряжений. Напряжения в наклонной площадке. Главные площадки и главные напряжения. Величина наибольших касательных напряжений и площадки их действия.

Понятие о пространственном напряженном состоянии. Главные площадки и главные напряжения при пространственном напряженном состоянии. Наибольшие касательные напряжения. Виды напряженного состояния: объемное, плоское, линейное.

Обобщенный закон Гука. Модуль сдвига G . Зависимость между G , E и μ для изотропного тела. Удельная потенциальная энергия деформации и ее подразделение на энергию изменения объема и энергию изменения формы.

Л и т е р а т у р а: [1], гл. III, § 23-27, 29, 31, 33-35; [2], гл. 3, § 1.3-4.3, 6.3-9.3; [3], задачи: 2.8, 2.16, 2.25, 2.27.

Т е м а 8. Кручение

Внешние силы, вызывающие кручение прямого бруса. Кручение прямого бруса круглого сечения. Основные допущения. Напряжения в поперечных сечениях бруса. Угол закручивания. Жесткость при кручении. Анализ напряженного состояния в точках бруса при кручении. Виды разрушений при кручении бруса из разных материалов. Расчет на прочность и жесткость сплошных и полых валов.

Основные результаты теории кручения брусьев прямоугольного сечения. Понятие о мембранной аналогии.

Л и т е р а т у р а: [1], гл. VII, § 53-57, 60; [2], гл. 6, § 1.6-4.6, 6.6; [3], задачи: 3.41, 3.59, 3.65, 3.74, 3.77; [4].

Т е м а 9. Изгиб °

Изгиб прямого бруса в главной плоскости. Внешние силы, вызывающие изгиб. Чистый и поперечный изгиб. Нормальные напряжения при чистом изгибе. Основные допущения. Зависимость между изгибающим моментом и кривизной оси бруса. Жесткость при изгибе.

Распространение выводов чистого изгиба на поперечный изгиб. Касательные напряжения при изгибе брусьев сплошных сечений (формула Д.И. Куравского). Касательные напряжения в стенках и

полках двутавров и швеллеров. Понятие о центре изгиба.

Анализ напряженного состояния в точках балки при изгибе. Траектории главных напряжений. Расчет на прочность при изгибе по напряжению в опасной точке. Рациональные сечения балок.

Определение перемещений при изгибе. Дифференциальное уравнение оси изогнутого бруса. Точное и приближенное уравнение кривизны. Непосредственное интегрирование дифференциального уравнения. Граничные условия. Метод начальных параметров.

Л и т е р а т у р а: [1], гл. УИ, § 62, 66-67, 69-70, 77; гл. IX, § 78-81; ([2], гл. 7, § 1.7-9.7, § II.7, 12.7, 15.7-16.7); [3], задачи: 4.53, 4.58 д, ж, 4.70, 4.72, 4.87, 4.88, 4.96, 5.1, 5.5, 5.8, 5.17, [4].

Часть II

Т е м а IО. Сложное сопротивление

Общий случай действия внешних сил на брус. Основные принципы, используемые при определении напряжений.

Характерные случаи сложного сопротивления: косо́й изгиб, внецентренное действие продольной силы, изгиб и кручение.

Нормальные напряжения при косо́м изгибе. Эпюра нормальных напряжений. Силовая плоскость и нейтральная линия. Опасные точки. Расчет на прочность. Определение перемещений.

Нормальные напряжения при внецентренном действии продольной силы. Эпюра нормальных напряжений. Силовая и нейтральная линии. Ядро сечения.

Определение напряжений в поперечном сечении бруса круглого и прямоугольного сечений в общем случае сложного сопротивления (изгиб с кручением, изгиб и кручение с растяжением или сжатием).

Л и т е р а т у р а: [1], гл. XI, § 94-100; ([2], гл. 9, § 1.9-6.9); [3], гл. 6, задачи: 6.2, 6.4, 6.14, 6.22, 6.24, 6.28, 6.31, 6.43, 6.47, 6.54; [4].

Т е м а II. Оценка прочности материала при сложном напряженном состоянии

Назначение теорий прочности. Общий порядок решения задачи об оценке прочности материала при сложном напряженном состоянии. Понятие эквивалентного (приведенного) напряжения.

Условие прочности при сложном напряженном состоянии.

Хрупкое и вязкое разрушение материала. Зависимость характера разрушения от материала и вида напряженного состояния. Выбор критерия эквивалентности заданного напряженного состояния с линейным растяжением.

Первая, вторая и третья классические теории прочности. Энергетическая теория прочности. Теория прочности Мора. Критический анализ и область применения каждой из них. Формулы третьей и четвертой теории прочности для частного случая напряженного состояния, имеющего место в брус.

Л и т е р а т у р а: [1], гл. XII, § 101-104, § 107; ([2], гл. 8, § 1.8, 2.8; [3], задачи: 6.74, 6.76, 6.82, 6.83, 6.87.

Т е м а 12. Условные расчеты на прочность

Основные допущения, принимаемые при условных расчетах на срез, смятие и растяжение (сжатие). Расчет болтовых и заклепочных соединений на прочность. Расчет на прочность сварных соединений и деревянных врубок.

Л и т е р а т у р а: [1], гл. IV, § 41; ([2], гл. 4, § 4.4); [3], гл. 3, задачи: 3.1, 3.5, 3.14, 3.22, 3.23, 3.27, 3.32, 3.33.

Т е м а 13. Расчет балок на изгиб по предельному равновесию

Понятие об идеализации диаграмм деформирования материала. Диаграмма Прандтля.

Упруго-пластический изгиб. Стадии работы балки в процессе нагружения.

Несущая способность сечения балки из идеального упруго-пластического материала при чистом изгибе. Пластический момент сопротивления сечения. Понятие шарнира пластичности. Сопоставление методов расчета балок по предельному равновесию и по напряжению в опасной точке. Понятие об остаточных напряжениях и деформациях. Общий порядок их определения.

Л и т е р а т у р а: [1], гл. VIII, § 74, 75; [6], гл. I, гл. 2, § 2.1, 2.2; [3], гл. 8, задачи: 8.18, 8.19, 8.21, 8.22, 8.26.

Т е м а 14. Устойчивость сжатых стержней (продольный изгиб)

Понятие об устойчивых и неустойчивых формах равновесия.

Устойчивость прямолинейной формы равновесия центрально сжатого стержня (формула Эйлера). Влияние способа закрепления концов стержня на величину критической силы. Пределы применимости формулы Эйлера. Устойчивость прямолинейной формы равновесия центрально сжатого стержня за пределом упругости. Эмпирические формулы. Диаграмма критических напряжений.

Расчет на устойчивость с использованием коэффициента уменьшения расчетного сопротивления. Условия устойчивости и прочности. Влияние местных ослаблений.

Л и т е р а т у р а : [1], гл. XV, § 126-130, 132; ([2], гл. 13, § 1.13-4.13); [3], гл. 7, задачи: 7.1, 7.2, 7.5, 7.11, 7.13, 7.15, 7.17, 7.20, [4].

Т е м а 15. Динамическое действие нагрузки

Понятие динамической нагрузки. Учет сил инерции в движущихся деталях. Использование принципа Даламбера.

Ударное действие нагрузки. Основные предположки расчета. Расчет по балансу энергии. Определение напряжений и перемещений при растягивающем и изгибающем ударах (без учета массы упругой системы). Способы уменьшения ударных напряжений. Свойства материалов при ударной нагрузке и оценка прочности при ударе.

Л и т е р а т у р а : [1], гл. XVI, § 135-137; [2], гл. 14, § 1.14-4.14; [3], гл. 9, задачи: 9.1, 9.3, 9.15, 9.20, 9.21, 9.38, 9.52, 9.59, [4].

Рекомендуемая литература

Основная

1. Смирнов А.Ф. и др. Сопротивление материалов.-М., Высшая школа, 1969.
2. Дарков А.В., Широ Г.С. Сопротивление материалов.-М., Высшая школа, 1969.
3. Беляев Н.М. Сборник задач по сопротивлению материалов.-М., Наука, 1968 (и предыдущие издания, начиная с 1957 г.).
4. Лабораторные работы по курсу "Сопротивление материалов".- Челябинск: ЧПИ, 1975.
5. Широков В.Н. Эпюры внутренних силовых факторов (учебное пособие).- Челябинск: ЧПИ, 1975.

6. Высоковский В.Л., Сбитнев В.Ф. Расчет конструкций по несущей способности (учебное пособие).—Челябинск: ЧПИ, 1975.

Дополнительная

7. Панарин П.Я. и Тарасенко И.И. Сопротивление материалов.— М.—Л.: ГСИ, 1962.
8. Икрин В.А. Конспект лекций по сопротивлению материалов.— Челябинск: ЧПИ, часть I, 1971; часть II, 1973, часть III, 1974.
9. Ободовский Б.А., Ханни С.Е. Сопротивление материалов в примерах и задачах.—Харьков: ХГУ, 1971.

У К А З А Н И Я

по выполнению контрольных работ

Контрольные работы должны выполняться в строгом соответствии с планом-графиком изучения курса "Сопротивление материалов" при соблюдении следующих требований.

1. Вариант задания определяется в соответствии с личным номером (шифром) студента. При этом используются четыре последние цифры шифра. Например, при шифре 69-2308 вариант задания - 2308 (в задаче I следует принять $a=1,1$ см, $b=11$ см, $c=24,5$ см, тип сечения - 8). Если личный номер состоит из трех и менее цифр, то надо повторить его и взять четыре последние цифры (при шифре 69-308 получается вариант 8308).

Работы, вариант которых не соответствует этому требованию, не проверяются.

2. При выполнении заданий может возникнуть необходимость в дополнительных данных. Они приведены в Приложении.

3. Прежде чем приступать к выполнению контрольных работ, необходимо изучить соответствующие разделы курса. Если основные положения теории усвоены слабо и не проработаны разобранные в учебнике примеры, при выполнении контрольных работ возникнут большие затруднения.

Несамостоятельно выполненные задания не дают знаний, и, следовательно, затраченное на них время является потерянными и для студента и для рецензента.

4. В заголовке контрольной работы должны быть написаны номер контрольной работы, название дисциплины, фамилия, имя и отчество студента (полностью), название факультета и специальности, учебный шифр, номер группы, дата отсылки работы, точный почтовый адрес.

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

6. Перед решением каждой задачи надо выписать полностью ее условие с исходными данными. По этим данным составить аккуратный эскиз, определяющий условие задачи в соответствии с вариантом. Вычеркивание схем и чертежей должно выполняться строго в масштабе с применением чертежных инструментов. На схемах следует проставлять как буквенные обозначения, так и численные значения размеров и нагрузок с указанием их размерности.

Не нужно указывать на схемах те нагрузки, размеры и другие данные, которые, согласно варианту задания, равны нулю. Если нагрузка в таблице вариантов задана с минусом, то надо показать ее направленной в противоположную сторону по сравнению с указанной на схеме.

7. Путь решения следует выбирать наиболее рациональный. Решение должно сопровождаться краткими, последовательными и грамотными, без сокращения слов пояснениями и четкими, выполненными в масштабе эскизами, на которых все входящие в расчет величины должны быть показаны. Надо избегать многословных объяснений и пересказа учебника. При пользовании формулами, отсутствующими в рекомендованных основных учебниках, необходимо кратко и точно указывать источник (автор, название, издание, год издания, страница, номер формулы).

8. Каждый пункт решения должен содержать расчетную формулу, цифровое повторение этой формулы и ответ. В промежуточных и окончательных ответах необходимо проставлять размерность получаемых величин.

9. Точность результата в сопротивлении материалов с учетом исходных предпосылок считается равной 3%, что обеспечивается промежуточными вычислениями с точностью до трех-четырех значащих цифр. Определять большее число значащих цифр не имеет смысла. Поэтому вычисления можно выполнять с помощью 250-миллиметровой логарифмической линейки.

10. Решение каждой задачи контрольной работы должно быть тщательно проверено. Следует оценивать правдоподобность полученных результатов с точки зрения физической сущности задачи и ее исходных данных.

II. Получив проверенную работу, следует внимательно ознакомиться с замечаниями рецензента и внести соответствующие исправления.

Если работа не зачтена, решение всей задачи или указанной рецензентом ее части приводится в той же тетради (раздел "Работа над ошибками").

Все страницы должны быть пронумерованы, а около исправлений следует указывать, к каким страницам они относятся. Не следует что-либо зачеркивать или стирать в работе, проверенной рецензентом.

Устные консультации по контрольным работам проводятся на кафедре в соответствии с расписанием. Можно получить и письменную консультацию. При этом необходимо указать, что именно нельзя при решении той или иной задачи.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Контрольная работа № I

Для фигур, изображенных на рис. I и 2, найти положения главных центральных осей и величины главных моментов инерции.
Исходные данные принять согласно соответствующих таблиц.

Задача № I

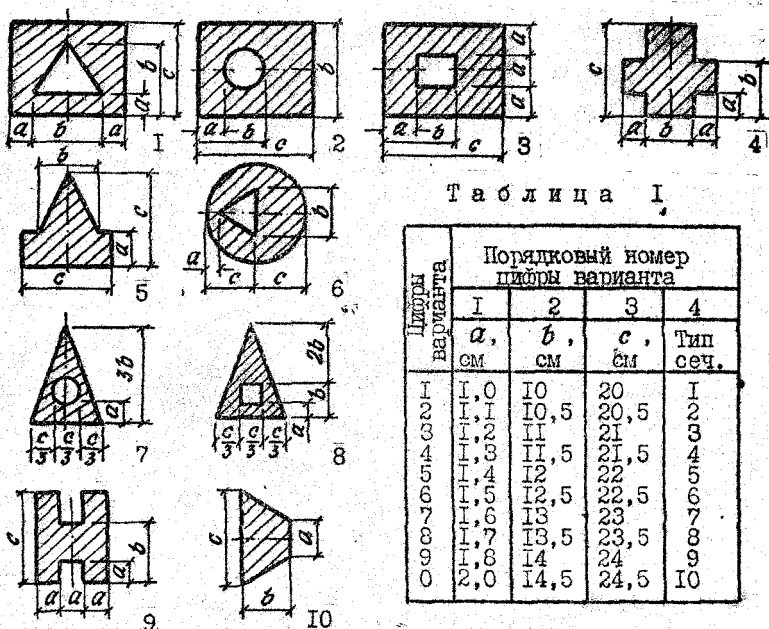
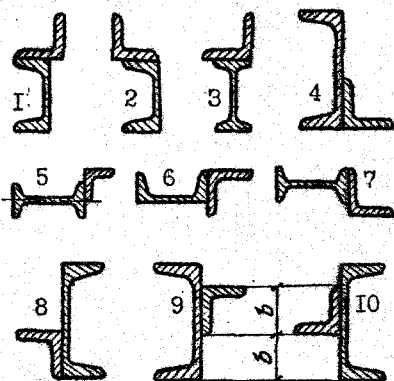


Рис. I

Примечание. См. указания после задачи № 2.



Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта			
	1	2	3	4
	Извлечен	двутавр	Равнобокий уголок	Тип сеч.
1	20	10	140 x 12	1
2	20a	12	160 x 10	2
3	22	14	160 x 11	3
4	22a	16	160 x 12	4
5	24	18	160 x 14	5
6	24a	18a	160 x 16	6
7	27	20	160 x 18	7
8	30	20a	160 x 20	8
9	33	22	180 x 11	9
0	36	22a	180 x 12	10

Рис. 2

Указания к задачам № 1 и 2

В плане решения задачи № 1 учесть наличие оси симметрии. Для проверки полученных решений рекомендуется:

1. Оценить положение центра тяжести всей фигуры, используя аналогию с точкой приложения равнодействующей параллельных сил.
2. Используя чертеж, качественно оценить сравнительную величину осевых и знак центробежного моментов инерции.
3. Убедиться, что одна из главных центральных осей совпадает с направлением "наибольшей вытянутости" фигуры.
4. Убедиться, что сумма осевых моментов инерции остается постоянной, и проверить выполнение условия их экстремальности для главных центральных осей.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется статическим моментом относительно оси ?
2. Чему равен статический момент относительно оси, проходящей через центр тяжести фигуры ?
3. Как определяются координаты центра тяжести составной фигуры ?
4. Какие оси называются центральными ?
5. Что называется осевым моментом инерции фигуры ?
6. Что называется полярным моментом инерции фигуры ?

7. Что называется центробежным моментом инерции фигуры относительно пары взаимно перпендикулярных осей ?
8. Чему равна сумма осевых моментов инерции фигуры относительно двух взаимно перпендикулярных осей ?
9. Какие оси называются главными осями инерции ?
10. В каких случаях можно установить без вычислений положение главных осей ?
11. Какие оси называются главными центральными осями инерции ?
12. Чему равен центробежный момент инерции относительно главных осей ?
13. Относительно каких центральных осей осевые моменты инерции имеют наибольшие и наименьшие значения ?
14. Как определяется угол поворота осей до положения главных ?
15. Какие оси являются главными осями инерции, если $J_x = J_y$ и $J_{xy} = 0$?
16. В какой последовательности определяются значения главных центральных моментов инерции составной фигуры ?
17. Как определяются осевые моменты инерции относительно осей, параллельных центральным ?
18. Как определяется центробежный момент инерции относительно осей, параллельных центральным ?
19. Относительно какой из параллельных осей осевой момент инерции фигуры будет наименьшим ?
20. Как изменяются осевые моменты инерции при повороте осей ?
21. Изменяется ли сумма осевых моментов инерции относительно двух взаимно перпендикулярных осей при повороте координатной системы ?
22. Как изменяется центробежный момент инерции при повороте осей ?
23. Чему равны моменты инерции прямоугольника относительно главных центральных осей ?
24. Чему равен момент инерции треугольника относительно центральной оси, параллельной основанию ?
25. Чему равны моменты инерции круга и кольца относительно центральных осей ?
26. Чему равны полярные моменты инерции круга и кольца относительно их центров ?
27. Как определяется центробежный момент инерции уголка относительно центральных осей, параллельных полкам ?

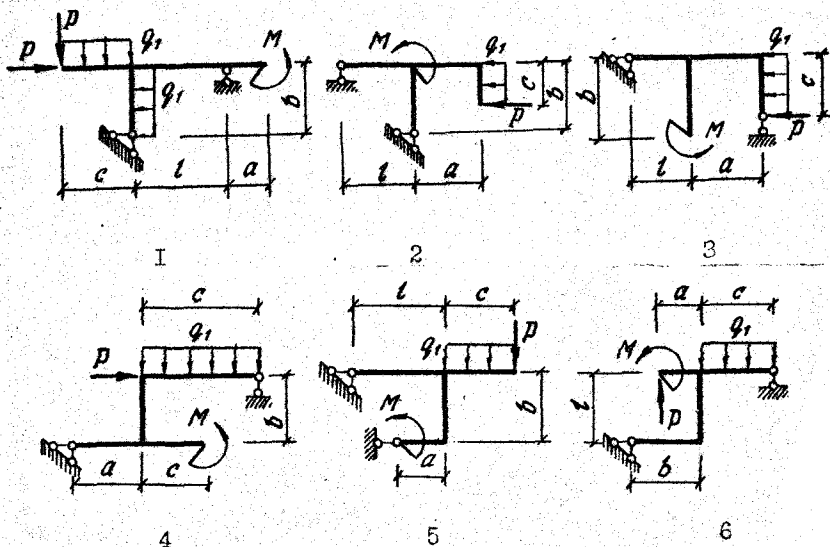
Таблица 5

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта									
	1			2		3		4		
	q_1 , М	b , М	d , М	N_1 , кНМ	N_2 , кНМ	P_1 , кН	P_2 , кН	q_1 , кН/М	q_2 , кН/М	q_3 , кН/М
1	4	3	3	4	-5	1	2	1,5	2,4	0
2	2,4	1,2	1,8	5	-6	2	-3	-1,2	-1,8	0
3	4,8	3,6	2,4	6	-4	4	1	1,8	3,6	0
4	3,2	1,8	0,6	3	-2	3	2	-2	-4,5	0
5	2,8	2,4	1,4	2	-6	2	-1	2,4	4,8	0
6	6	3	5	-5	3	1	3	-2,8	-3	0
7	2,4	1,8	3	5	-4	4	2	3	0	3
8	2,8	3,6	3,4	-4	3	3	1	3,2	0	5
9	4,3	1,2	5	3	-6	2	-4	-3,4	-5,4	0
0	3,6	1,2	3	2	5	-1	5	3,6	6	0

Задача № 6

Для одной из рам, изображенных на рис. 6, построить эпюры продольных сил, поперечных сил и изгибающих моментов.

Исходные данные взять согласно табл. 6.



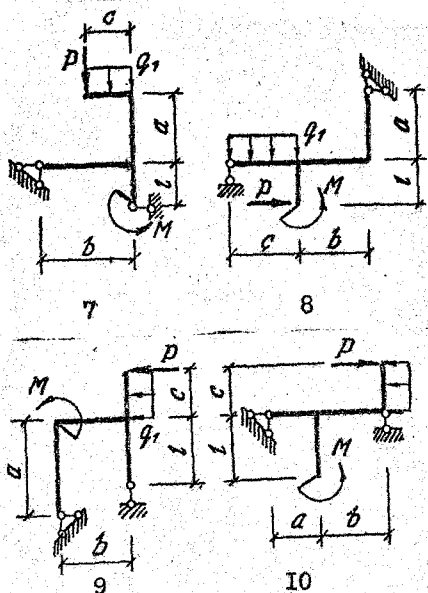


Рис. 6

Задача № 7

Для одной из рам, изображенных на рис. 7, построить эпюры внутренних силовых факторов. При решении задачи считать, что внешние силы лежат в главных плоскостях соответствующих участков рамы.

Исходные данные принять согласно табл. 7.

Таблица 6

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта						
	1		2		3		4
	$\frac{a}{l}$	$\frac{b}{l}$	$\frac{c}{l}$	$\frac{M}{Q_1 l}$	$\frac{P}{Q_1}$	$\frac{Q_1}{Q}$	№ сх.
1	1	1	4	1	0	1	1
2	1	2	3	2	0	0	2
3	1	3	2	1	-3	2	0
4	1	2	1	4	0	-1	4
5	1	2	1	4	0	-1	5
6	2	1	3	3	2	0	6
7	2	1	2	2	0	-2	7
8	1	2	1	3	-2	0	8
9	1	2	1	4	-3	-2	0
0	1	2	1	3	-1	0	3
	1	2	1	4	2	0	0
	1	2	1	3	1	1	10

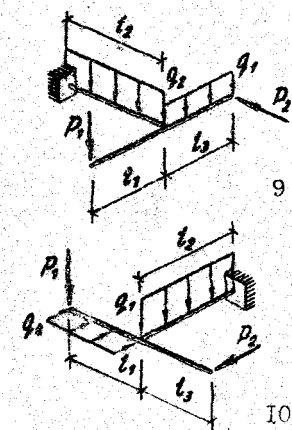
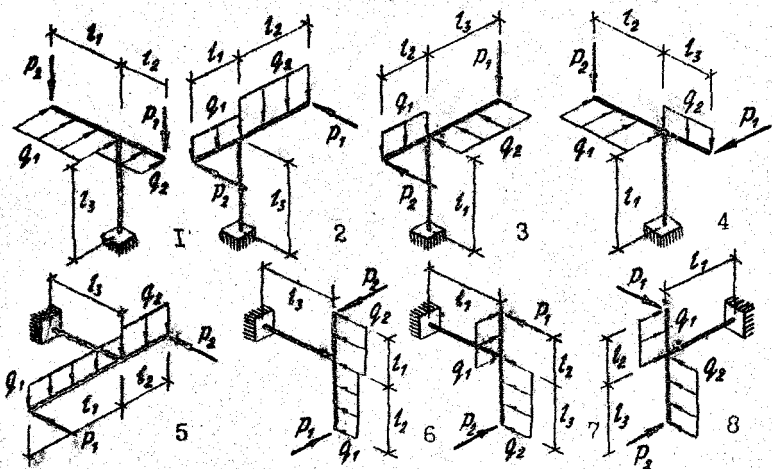


Таблица 7

Шифр варианта	Порядковый номер щиты варианта							
	1		2		3		4	
	l_1	l_2	l_3	Q_1	Q_2	P_1	P_2	сх.
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	3	4	1	0	1	1	2
3	1	1	1	1	1	1	1	3
4	1	1	1	1	1	1	1	4
5	1	1	1	1	1	1	1	5
6	2	2	3	4	1	0	1	6
7	1	2	3	3	0	1	1	7
8	1	2	2	2	1	1	1	8
9	1	1	1	1	1	1	1	9
10	1	1	1	1	1	1	1	10

Рис. 7

Указания к задачам № 3-7

Необходимо знать и уметь пользоваться дифференциальными зависимостями, связывающими внутренние силовые факторы с интенсивностью внешней распределенной нагрузки.

Порядок построения эпюр рекомендуется следующий.

1. Определить и проверить опорные реакции (если они нужны для решения задачи).
2. Разбить брус на участки.
3. Используя метод сечений, определить внутренние силовые факторы в сечениях на обоих концах каждого участка.
4. Отложить найденные значения на эпюрах и соединить полученные точки линиями, характер которых определяется дифференциальными зависимостями. Если на участке эпюра имеет экстремум, он обязательно должен быть вычислен.
5. Используя дифференциальные зависимости и следствия из них, проверить правильность построенных эпюр.
6. Ординаты эпюры изгибающих моментов принято откладывать со стороны растянутых волокон. Это значит, что положительные ординаты на в балке откладываются вниз. Знаки на эпюрах изгибающих моментов не надо ставить.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется внутренними силовыми факторами?
2. Какой случай нагружения бруса называют центральным растяжением или сжатием?
3. Как определяется численное значение продольной силы?
4. Какое правило знаков используется для продольных сил?
5. Что такое эпюра продольной силы?
6. Какой дифференциальной зависимостью связана продольная сила с внешней нагрузкой?
7. Каковы следствия из дифференциальной зависимости между продольной силой и внешней нагрузкой?
8. Какой вид имеет эпюра продольной силы для бруса, нагруженного несколькими осевыми сосредоточенными силами?
9. Какой вид имеет эпюра продольной силы для бруса, нагруженного равномерно распределенной нагрузкой?

10. Где имеет место скачок на эпюре продольной силы для бруса с прямой осью ?
11. При каком нагружении прямой брус испытывает деформацию кручения ?
12. Как определяется численное значение крутящего момента ?
13. Какое правило знаков принято для крутящих моментов ?
14. Что такое эпюра крутящего момента ?
15. Какой дифференциальной зависимостью связан крутящий момент с внешней нагрузкой ?
16. Каковы следствия из дифференциальной зависимости между крутящим моментом и внешней нагрузкой ?
17. Какова размерность интенсивности распределенного крутящего момента ?
18. Какой вид имеет эпюра крутящего момента для бруса, нагруженного несколькими сосредоточенными моментами ?
19. Какой вид имеет эпюра $M_{кр}$ для бруса, нагруженного равномерно распределенным крутящим моментом ?
20. Где имеет место скачок на эпюре $M_{кр}$?
21. Какие типы опор применяются для закрепления балок к основанию ?
22. Сколько кинематических ограничений накладывает плоская шарнирно подвижная связь ? Как она изображается на расчетной схеме ? Что представляет собой реакция шарнирно подвижной опоры ?
23. Сколько кинематических ограничений накладывает плоская шарнирно неподвижная связь ? Как она изображается на расчетной схеме ? Что представляет собой реакция шарнирно неподвижной опоры ?
24. Сколько кинематических ограничений накладывает плоская скользящая заделка ? Как она изображается на расчетной схеме ? Что представляют собой реакции скользящей заделки ?
25. Сколько кинематических ограничений накладывает защемление ? Как оно изображается ? Что представляют собой реакции защемления ?
26. Как может быть осуществлено неподвижное (геометрически неизменяемое) и статически определенное закрепление балок к земле ?
27. При каком числе связей балка становится статически неопределимой ?

28. Какие уравнения используются для определения значений опорных реакций ?
29. Как определяются опорные реакции многопролетной статически определенной шарнирной балки ?
30. Как проверить правильность определения опорных реакций ?
31. Что такое чистый изгиб ?
32. Что такое поперечный изгиб ?
33. Как определяется численное значение поперечной силы в сечении балки ?
34. Какое правило знаков используется для поперечных сил ?
35. Что называется эпурой поперечной силы ?
36. Какая существует дифференциальная зависимость между поперечной силой и интенсивностью распределенной нагрузки, перпендикулярной оси бруса ? Дайте вывод этой зависимости.
37. Каковы следствия из дифференциальной зависимости между Q_y и q_y ?
38. Где имеют место скачки на эпуре Q ?
39. Когда Q меняется по линейному закону ?
40. Когда Q меняется по нелинейному закону ? Как в этом случае установить направление выпуклости кривой ?
41. Как определяется численное значение изгибающего момента в сечении бруса ?
42. Чему равна производная изгибающего момента по продольной координате ?
43. Каковы следствия из дифференциальной зависимости между M и Q ?
44. В какую сторону обращена выпуклость эпюры M при распределенной нагрузке, направленной вниз ?
45. Как связано изменение величины изгибающего момента M с площадью эпюры Q ?
46. Как отражается на эпуре M скачок на эпуре Q ?
47. Какова связь между изгибающими моментами в сечениях, прилегающих к жесткому углу плоской рамы ?

Контрольная работа № 2

Задача № 8

Для одного из стержней, показанных на рис. 8, требуется:

1. Построить эпюру продольных сил (в долях P).
2. Построить эпюру нормальных напряжений (в долях P/l).
3. Из расчета на прочность определить силу P .
4. Построить эпюру продольных перемещений (в долях P/E) и вычислить максимальное перемещение от найденного значения силы P .

Исходные данные принять согласно рис. 8 и табл. 8.

Т а б л и ц а 8

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта								
	1		2		3		4		
	l см	$\frac{a}{l}$	$\frac{b}{l}$	$\frac{P_1}{P}$	$\frac{P_2}{P}$	класс стали	F см ²	$\frac{F_1}{F}$	№ сх.
1	21	1,1	3,0	2	-1	С 38/23	2,0	1,2	1
2	22	1,2	2,8	-1	2	С 44/29	2,5	1,4	2
3	23	1,3	2,6	-2	3	С 46/38	3,0	1,6	3
4	24	1,4	2,4	-1	2	С 52/40	3,5	1,8	4
5	25	1,5	2,2	3	-2	С 60/45	4,0	2,0	5
6	26	1,6	2,0	-2	-3	С 70/60	4,5	2,2	1
7	27	1,7	1,8	-1	3	С 85/75	5,0	2,4	2
8	28	1,8	1,6	-1	-1	С 38/23	5,5	2,6	3
9	29	1,9	1,4	-1	-3	С 44/29	6,0	2,8	4
0	30	2,0	1,2	-2	-2	С 46/38	6,5	3,0	5

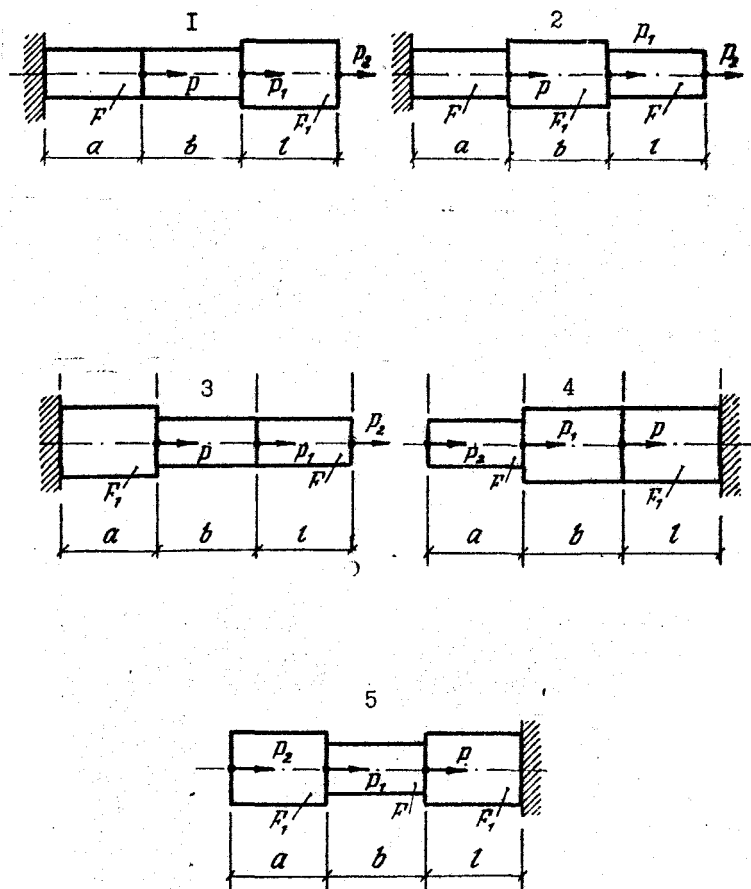


Рис. 8

Для стержня, показанного на рис. 9 требуется:

1. Построить эпюру крутящих моментов (в долях M).
2. Построить эпюру максимальных касательных напряжений (в долях M/d^3).
3. Из расчета на прочность определить величину момента M .
4. Построить эпюры полных и относительных углов закручивания.
5. Найти величину момента M из условия жесткости. Материал бруса - сталь класса С 44/29. Допустимый угол $[\theta] = 5$ град./м. Остальные исходные данные принять согласно табл. 9.

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта							
	1		2		3		4	
	a	b	c	$\frac{M_1}{M}$	d	$\frac{d_1}{a}$	$\frac{d_2}{d}$	$\frac{M_2}{M}$
1	2	1	2	1,8	3	1,0	0,7	1,1
2	2	1	2	1,9	4	1,1	0,8	0,8
3	2	1	2	2,0	5	1,2	0,9	1,0
4	1	1	2	2,1	6	1,3	1,0	1,1
5	1	1	2	2,2	2	1,4	1,1	1,2
6	2	2	1	2,3	3,5	1,0	0,8	0,8
7	1	1	2	2,4	4,5	1,1	0,9	1,0
8	1	2	1	2,5	5,5	1,2	1,0	1,2
9	1	1	2	2,6	6,5	1,3	1,1	0,9
0	1	1	1	2,7	2,5	1,4	1,2	0,9

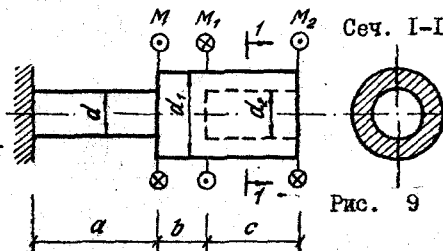


Рис. 9

Задача № 10

Для балки, изображенной на рис. 10 требуется:

1. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов (соответственно в долях ql и ql^2).
2. Из расчета на прочность определить размеры сечения балки в трех вариантах: двутавровое, прямоугольное с заданным соотношением сторон $h : b$ и круглое.
3. Изобразить сечения в одном масштабе и найти отношение весов балок трех указанных сечений.
4. Определить максимальные касательные напряжения для балок всех вариантов и сравнить их между собой.
5. В опасном сечении двутавровой балки в точке, взятой в пределах стенки на расстоянии $h/4$ от верха сечения, определить величину главных напряжений и положение главных площадок, а также найти максимальные касательные напряжения.

Материал балок - сталь С46/33.

Исходные данные
принять согласно табл. 10.

Таблица 10

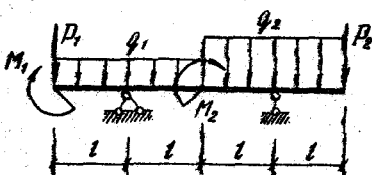


Рис. 10

№ варианта	Порядковый номер цифр варианта								
	1	2		3	4				
	l м	M_2 $q_1 l^2$	M_2 $q_1 l^2$	P_2 q_1	q_1 q	P_2 q_1	q_2 q	q кН/м	k b
1	2	0	1	0	-1	0	0	8	2,0
2	1,5	0	-1	0	0	1	0	10	2,2
3	1	2	0	3	-3	-1	0	12	2,3
4	2	0	-2	-1	0	0	3	15	2,4
5	1,5	1	0	0	2	-2	0	20	2,5
6	1	-1	0	-2	0	0	-2	8	2,6
7	1,2	0	3	0	-2	0	2	10	2,7
8	2	1	0	2	0	0	0	12	2,8
9	1,5	0	2	0	1	0	0	15	2,9
0	1	-2	0	1	0	0	1	20	3,0

Задача № II

Для балки, показанной на рис. II а, с одним из поперечных сечений, изображенных на рис. II б, требуется:

1. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.
2. Из расчета на прочность определить величину допустимой нагрузки (интенсивности q).

Длина участка балки $l = 3$ м, материал - сталь класса С 52/40.

Исходные данные принять согласно табл. II.

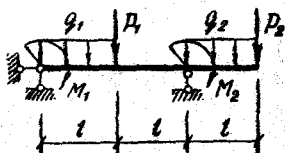
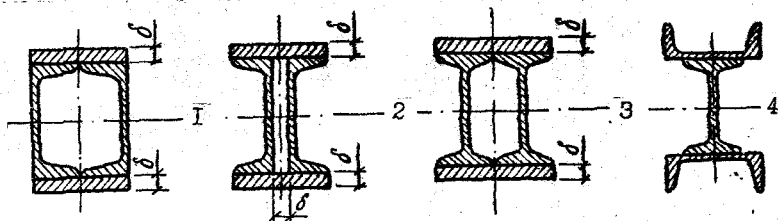
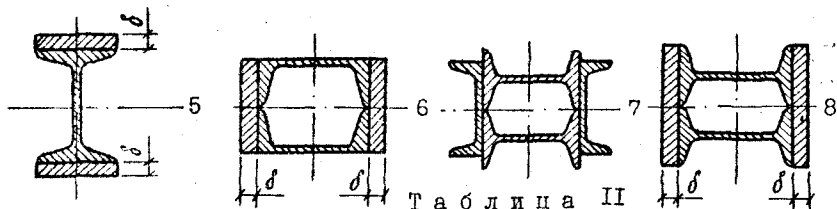


Рис. II а





Т а б л и ц а II

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта									
	I	2	3			4				
	$\frac{M_1}{q l^2}$	$\frac{M_2}{q l^2}$	$\frac{P_1}{q l}$	$\frac{q_1}{q}$	Швел- лер	δ мм	Дву- тавр	Тип сеч	$\frac{P_2}{q l}$	$\frac{q_2}{q}$
1	0	1	0	-1	40	10	24	I	3	0
2	0	-1	3	0	36	12	27	2	0	1
3	0	0	0	-3	33	14	30	3	4	0
4	2	-2	-1	0	30	16	33	4	0	3
5	1	0	0	2	27	18	36	5	5	0
6	-1	0	-2	0	24a	20	40	6	0	-2
7	0	3	0	-2	24	22	45	7	2	0
8	3	0	0	0	22a	24	50	8	0	2
9	0	2	2	1	22	26	20	9	1	0
0	-2	0	1	0	20	28	22	10	0	-1

Рис. II б

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется напряжением в точке?
2. Какое напряжение называется нормальным?
3. Какое напряжение называется касательным?
4. Что называется коэффициентом запаса прочности?
5. Как формулируется условие прочности?
6. Какие напряжения возникают в поперечном сечении бруса при растяжении или сжатии?
7. Какие напряжения возникают в наклонных сечениях бруса при растяжении и сжатии?
8. В каких площадках растянутого (сжатого) бруса возникают наибольшие касательные напряжения?
9. Каково соотношение между наибольшими нормальными и наибольшими касательными напряжениями в точке растянутого (сжатого) бруса?

10. По каким напряжениям ведется расчет на прочность при растяжении (сжатии)?
11. Записать условие прочности при растяжении и сжатии
12. Как определяется удлинение стержня при растяжении и сжатии ?
13. Как формулируется закон Гука при растяжении и сжатии ? Когда он справедлив ?
14. Что называется жесткостью стержня при растяжении (сжатии) ?
15. Как определить удлинение стержня, растягиваемого собственным весом ?
16. Как производится расчет на жесткость при растяжении и сжатии ?
17. Какие напряжения возникают в круглом поперечном сечении бруса при кручении и как они направлены ?
18. Как находится величина напряжения в произвольной точке круглого поперечного сечения при кручении стержня ?
19. Возникают ли при кручении нормальные напряжения?
20. Каково соотношение между наибольшими нормальными и наибольшими касательными напряжениями в точке скручиваемого бруса ? В каких точках и площадках возникают те и другие напряжения ?
21. По каким напряжениям ведется расчет на прочность при кручении ?
22. По какой формуле определяются наибольшие касательные напряжения при кручении ?
23. Чему равен полярный момент сопротивления круглого сечения ?
24. Чему равен полярный момент сопротивления кольцевого сечения?
25. Записать условие прочности при кручении.
26. Как находится величина угла закручивания ?
27. Что называется жесткостью стержня при кручении ?
28. Как формулируется закон Гука при кручении ? Когда он справедлив ?
29. Как производится расчет на жесткость при кручении ?
30. Какие напряжения возникают в поперечном сечении при чистом изгибе ?
31. Как изменяются нормальные напряжения по высоте сечения балки ?
32. Что называется нейтральной линией и где она проходит ?

33. Как определяются нормальные напряжения σ_x в произвольной точке балки ?
34. Как определяются наибольшие нормальные напряжения в поперечном сечении балки ?
35. Что называется осевым моментом сопротивления сечения ?
36. Какие напряжения возникают в сечении балки при поперечном изгибе ?
37. Как определяются касательные напряжения в поперечном сечении балки ?
38. По каким напряжениям производится расчет на прочность при изгибе ?
39. Записать условие прочности при изгибе.
40. Как производится расчет на прочность балки из материала с разным сопротивлением при растяжении и сжатии ?
41. Как определяется рациональное положение сечения балки из материала с разным сопротивлением при растяжении и сжатии ?
42. В каких случаях производят дополнительную проверку балок на прочность по наибольшим касательным напряжениям, возникающим в поперечных сечениях ? Как эту проверку производят ?
43. Как определяются главные напряжения при изгибе ?
44. Как определяется положение главных площадок при изгибе ?
45. Как определяются максимальные касательные напряжения в точке при изгибе ?
46. Как определяется положение площадок, в которых действуют максимальные касательные напряжения при изгибе ?

Контрольная работа № 3

Задача № 12

Балка (рис. 12 а) нагружена горизонтальной и вертикальной поперечными силами. Сечение балки (вид слева) показано на рис. 12 б. Материал балки - сталь класса С 44/29.

Из условия прочности определить допустимую нагрузку.

Исходные данные принять согласно табл. 12.

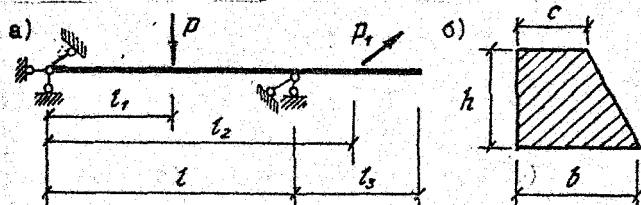


Рис. 12

Таблица 12

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта							
	1	2	3	4				
	l_1 м	h см	b см	D_1 $\frac{D_1}{D}$	$\frac{c}{b}$	$\frac{l_1}{l}$	$\frac{l_2}{l}$	$\frac{l_3}{l}$
1	4,1	21	21	1	2,1	1,8	1,6	0,6
2	5,2	12	22	-2	2,2	1,8	1,3	0,8
3	3,3	23	23	3	0,3	0,25	0,75	0
4	4,4	14	24	-1	0,4	0,25	0,5	0
5	5,5	25	25	2	0,5	0,5	0,25	0
6	3,6	16	16	-3	0,6	0,5	1,25	0,25
7	4,7	27	17	1	0,7	1,3	0,5	0,3
8	5,8	18	18	-2	1,8	1,4	0,25	0,4
9	3,9	29	19	3	1,9	0,75	1,25	0,25
0	6,0	20	20	-1	2,0	1,5	0,75	0,5

Указания к задаче

При решении задачи удобно построить эпюры изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Установить опасное сечение балки (или несколько опасных сечений, если

нельзя указать самое опасное). Найти главные центральные оси поперечного сечения. Изобразить в масштабе опасное сечение показать в масштабе изгибающие моменты в вертикальной и горизонтальной плоскостях и равнодействующий момент, вычислить изгибающие моменты в системе главных центральных осей.

Построить нейтральную линию, получив уравнение ее с помощью общего выражения для нормальных напряжений в произвольной точке сечения. Оценить правильность построения, учитывая, что нейтральная линия от перпендикуляра к плоскости равнодействующего изгибающего момента отклоняется к оси с минимальным моментом инерции.

После этого записать условие прочности для опасной точки.

Задача № 13

Стержень зашпелен одним концом и нагружен на свободном конце продольной сжимающей силой P , приложенной в точке A с координатами u_A и v_A .

Требуется:

1. Определить наибольшие растягивающие и сжимающие напряжения.
2. Построить ядро сечения.

Исходные данные принять согласно табл. 13 и рис. 13.

Т а б л и ц а 13

Порядковый номер варианта	Порядковый номер пары варианта					
	1	2		3		4
	P , кН	$\frac{u_A}{a}$	$\frac{v_A}{b}$	a , см	b , см	Тип сеч.
1	110	0,5	3,0	11	16	1
2	120	1,0	3,5	12	17	2
3	130	1,5	4,0	13	18	3
4	140	2,0	4,5	14	19	4
5	150	2,5	5,0	15	20	5
6	160	3,0	0,5	16	11	6
7	170	3,5	1,0	17	12	7
8	180	4,0	1,5	18	13	8
9	190	4,5	2,0	19	14	9
0	200	5,0	2,5	20	15	10

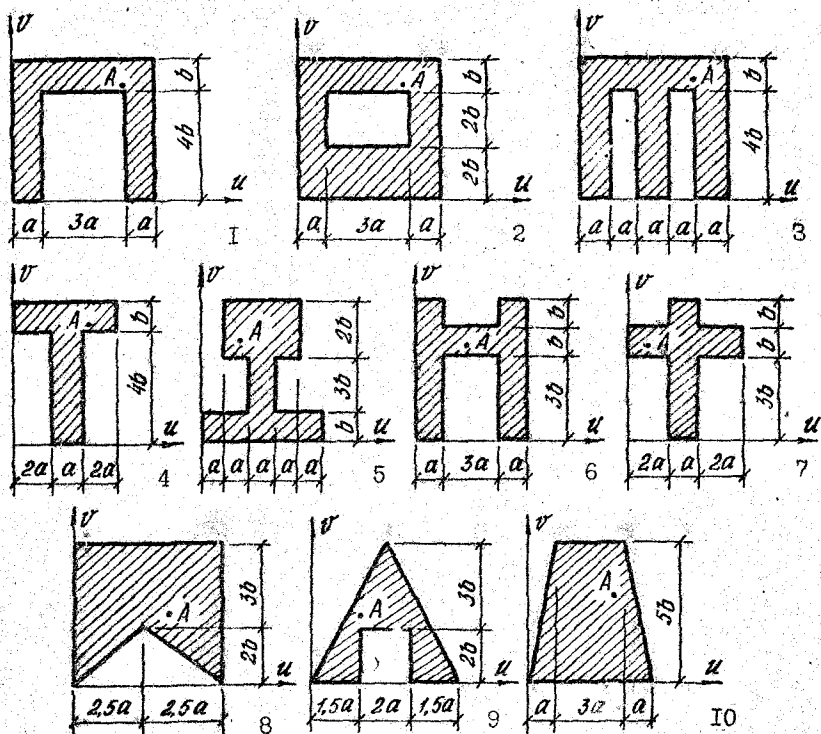


Рис. 13

Указания к задаче

Линия действия продольной силы (в соответствии с условием задачи по варианту) может находиться и за пределами сечения.

После определения главных центральных осей поперечного сечения необходимо изобразить сечение еще раз, указав внутренние силовые факторы.

Для определения опасных точек в сечении надо построить нейтральную линию. После вычисления нормальных напряжений проверить правильность их, учитывая пропорциональность величины напряжений расстоянию от точки до нейтральной линии.

Построив ядро сечения, оцените соответствие между ядром сечения, полюсом приложения силы и положением нейтральной линии.

Задача № 14

Для одной из рам, изображенных на рис. 14, требуется:

1. Определить допустимую нагрузку, если стержни рамы имеют прямоугольное сечение с основанием b и высотой h ; материал - сталь класса С 38/23.

2. При найденном значении нагрузки запроектировать раму из чугуна СЧ12-28 с кольцевым сечением.

Параметр $l = 2$ м, остальные исходные данные принять согласно рис. 14 и табл. 14.

В задании должно быть представлено:

1. Эпюры внутренних силовых факторов.
2. Опасное сечение с внутренними силовыми факторами, действующими в нем.
3. Эпюры напряжений от каждого внутреннего силового фактора.
4. Элементарные параллелепипеды, выделенные в опасных точках, на гранях которых действуют напряжения, определенные в п. 3.

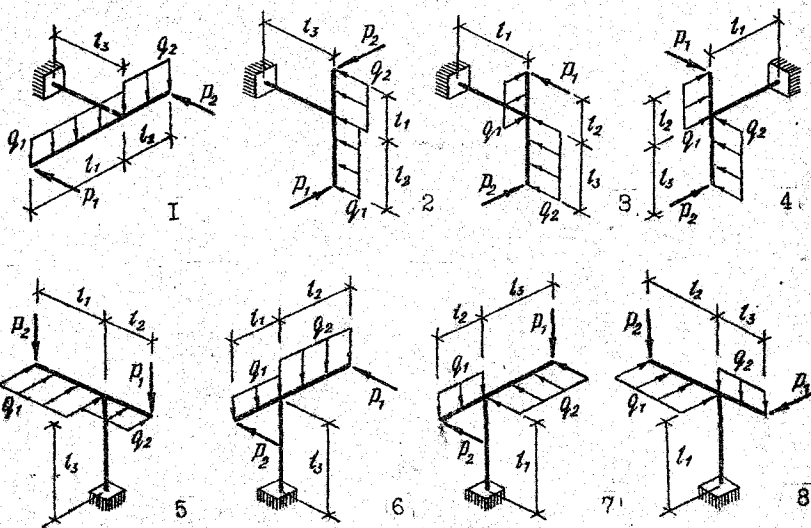


Таблица 14

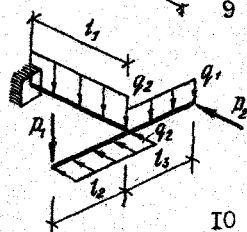
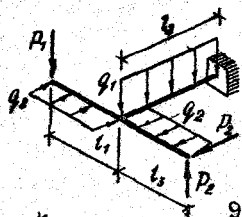


Рис. 14

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта										
	1		2		3				4		
	l_1	l_2	l_3	q_1	q_2	P_1	P_2	b	$\frac{d}{D}$	h	№ сх.
	с	с	с	с	с	с	с	с	с	с	с
1	1	1	2	1	0	1	1	6	0,5	12	1
2	1	1	3	1	0	1	1	8	0,6	14	2
3	1	1	4	1	0	-1	1	10	0,7	16	3
4	1	2	1	-1	1	-1	0	12	0,8	18	4
5	1	2	2	-1	1	0	2	14	0,9	20	5
6	2	2	4	2	0	1	-1	7	0,8	13	6
7	1	2	1	2	2	1	2	9	0,7	15	7
8	1	2	3	3	2	1	0	11	0,6	17	8
9	1	2	4	4	2	1	0	13	0,5	19	9
0	1	2	4	-1	1	0	1	15	0	21	10

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется сложным сопротивлением ?
2. Назвать основные принципы сопротивления материалов, используемые при расчете на сложное сопротивление.
3. Как формулируется принцип Сен-Венана ?
4. В чем заключается принцип независимости действия сил (суперпозиции) ?
5. Какой случай изгиба называется косым изгибом ?
6. Какой изгиб может испытывать брус с поперечным сечением правильной формы ?
7. Может ли косой изгиб быть плоским ?
8. Может ли пространственный изгиб быть прямым ?
9. По какой формуле определяются нормальные напряжения в поперечном сечении бруса при косом изгибе ? Как устанавливаются знаки этих напряжений ?
10. Как определяются касательные напряжения в поперечных сечениях балки при косом изгибе ?
11. Как без вычислений установить ориентировочное положение нейтральной линии при косом изгибе ?
12. Как определяется положение опасных точек при косом изгибе ?

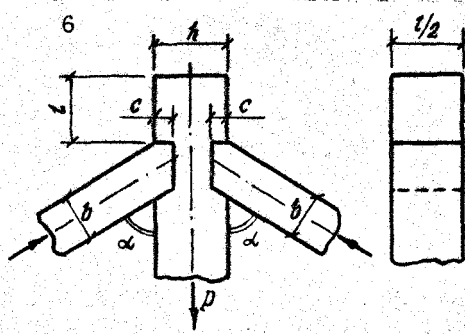
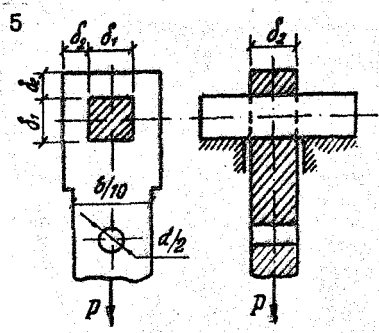
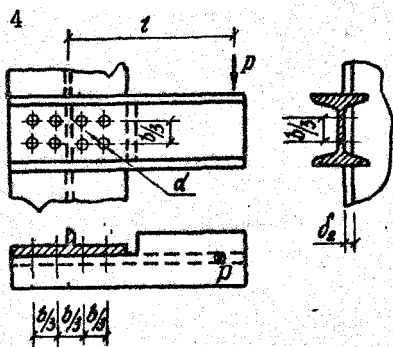
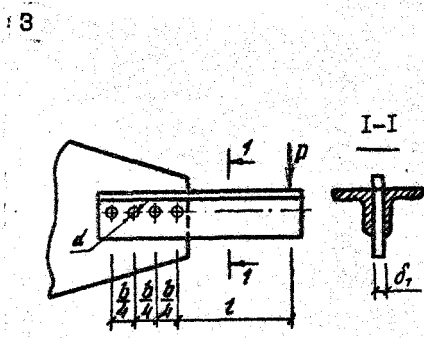
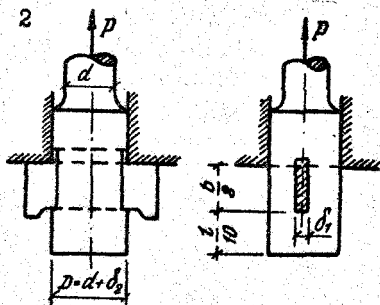
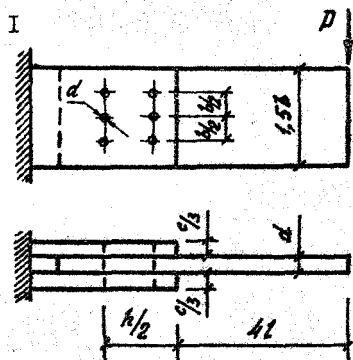
13. В каких случаях условие прочности при косом изгибе можно записать, используя моменты сопротивления сечения ?
14. Как определяются перемещения точек оси балки при косом изгибе ?
15. Какова связь между направлением перемещения точек оси балки и положением нейтральной линии в поперечном сечении при плоском косом изгибе ?
16. Какой случай сложного сопротивления называется внецентренным растяжением (или сжатием) ?
17. Какие внецентренно растянутые (или сжатые) брусья называются жесткими и какие гибкими ?
18. По каким формулам определяются нормальные напряжения в поперечных сечениях бруса при внецентренном растяжении и сжатии ? Какой вид имеет эпюра этих напряжений ? Вывести соответствующие формулы.
19. Как определяется положение нейтральной линии при внецентренном растяжении и сжатии ? Сделать вывод соответствующих формул.
20. Как перемещается нейтральная линия, когда координаты точки приложения силы возрастают по абсолютной величине ?
21. Чему равно нормальное напряжение в центре тяжести поперечного сечения при внецентренном растяжении или сжатии ?
22. Какой вид имеет формула нормальных напряжений и как расположена нейтральная линия в случае, когда продольная сила приложена на одной из главных центральных осей сечения ?
23. Как определяется положение опасных точек при внецентренном сжатии ?
24. Что называется ядром сечения ?
25. Какие напряжения возникают в поперечном сечении бруса при изгибе с кручением ?
26. Какие точки круглого поперечного сечения являются опасными при изгибе с кручением ? Какое напряженное состояние имеет место в этих точках ?
27. Как находится величина приведенного момента (по различным теориям прочности) при изгибе с кручением бруса круглого сечения ?
28. Какие точки бруса круглого поперечного сечения являются опасными при растяжении (или сжатии) с кручением ?

29. Как ведется расчет на прочность бруса круглого сечения при кручении с растяжением (или сжатием) ?
30. Как рассчитывается на прочность брус круглого сечения при изгибе с кручением и растяжением (или сжатием) ?
31. Как определяются опасные точки в прямоугольном сечении в общем случае сложного сопротивления ?
32. Что называется предельным состоянием материала ? Какое состояние принимается в качестве предельного для пластичных и хрупких материалов ?
33. Каково назначение теорий прочности ?
34. Какое напряженное состояние и почему используется в качестве эквивалентного ?
35. Что такое "эквивалентное напряжение" ?
36. В чем сущность первой теории прочности ? Какие опытные данные находятся в противоречии с этой теорией ? В каких случаях допустимо применение этой теории ?
37. В чем сущность второй теории прочности ?
38. В чем сущность третьей теории прочности ? Написать условие прочности по этой теории. Указать ее недостатки и область применимости.
39. В чем сущность теории прочности удельной потенциальной энергии изменения формы ? Указать область применения этой теории.
40. В чем сущность теории прочности Мора ?

З а д а ч а № 15

Для одного из соединений, показанных на рис. 15, определить допустимую нагрузку из условия прочности. В схемах 1-5 материал - сталь класса С 38/23. В остальных схемах элементы, материал которых не указан, выполнены из сосны.

Исходные данные принять согласно табл. 15.



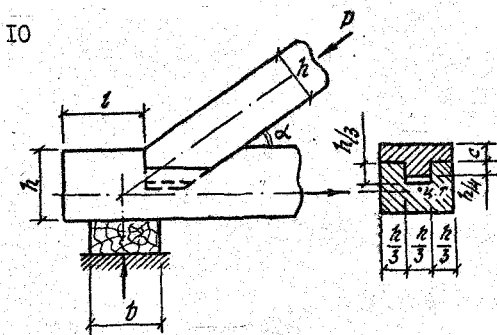
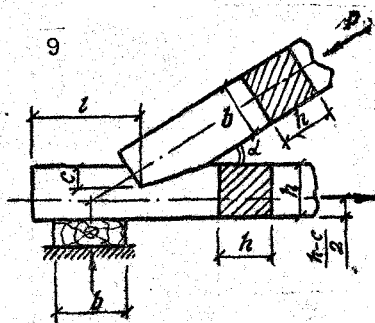
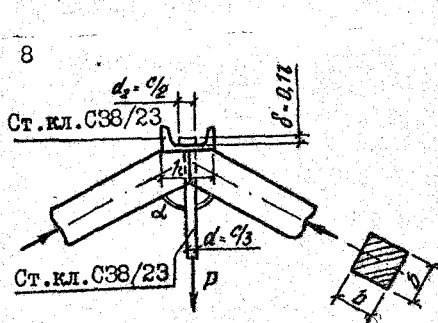
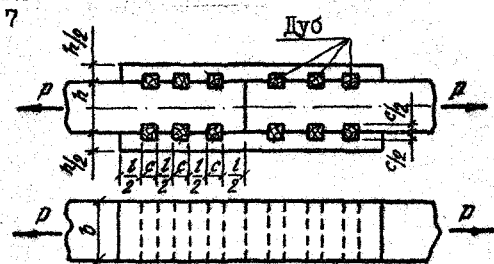


Таблица 15

Цифры варианта	Порядковый номер шпильки варианта								
	1			2			3		4
	n , см	δ , см	α°	c , см	l , см	d , мм	Равнобо- кий уголок	Швел- лер	№ ох.
1	11	11	25	3	21	12	125 x 8	18	1
2	12	12	30	4	22	14	125 x 9	20	2
3	13	13	35	5	23	16	125 x 10	22	3
4	14	14	40	3	24	18	125 x 12	14	4
5	15	15	45	4	25	20	140 x 10	16	5
6	16	16	25	5	16	12	140 x 12	18	6
7	17	17	30	3	17	14	160 x 10	20	7
8	18	18	35	4	18	16	160 x 11	22	8
9	19	19	40	5	19	18	160 x 12	14	9
0	10	20	45	3	20	20	180 x 12	16	10

Указания к задаче № 15

При определении усилий в заклепках необходимо перенести силу P в центр вращения, добавив соответствующий момент M . Усилие, действующее на заклепку, определить как геометрическую сумму слагаемых

$$\vec{Q} = \vec{Q}_P + \vec{Q}_M,$$

где $Q_P = \frac{P}{n}$ (n - число заклепок) и по направлению совпадает с силой P ;

$Q_M = \frac{M}{\sum_{i=1}^n (\rho_i^2)} \rho_j$ и направлено перпендикулярно радиусу, соединяющему заклепку с центром вращения;

ρ_i - расстояние от центра вращения до каждой из заклепок;

ρ_j - расстояние от центра вращения до заклепки, для которой определяется усилие.

При расчете врубок надо учитывать, что древесина - материал анизотропный.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. С чем связано название "условные расчеты на прочность" ?
2. Как определяются усилия на заклепку со стороны соединяемых элементов ?
3. Как определяется площадь смятия заклепки ?
4. Как определяется площадь среза заклепки ?

5. Как рассчитываются угловые сварные швы ?
6. Как определяется площадь среза для углового сварного шва ?
7. Как рассчитываются стыковые сварные швы ?
8. Как производится расчет врубок ?
9. Чем определяется расчетное сопротивление дерева на смятие?
10. Записать условие прочности на срез (скалывание).
11. Записать условие прочности на смятие.
12. Записать условие прочности на растяжение-смятие.

Контрольная работа № 4

Задача № 16

Для балки, показанной на рис. 16 а, с одним из сечений, изображенных на рис. 16 б, требуется найти:

1. Предельно упругую нагрузку.
2. Допустимую нагрузку из расчета по напряжению в опасной точке.

3. Разрушающую нагрузку.

4. Допустимую нагрузку из расчета по несущей способности.

Материал - сталь класса С 44/29.

Исходные данные принять из табл. 16 и рис. 16 а и б.

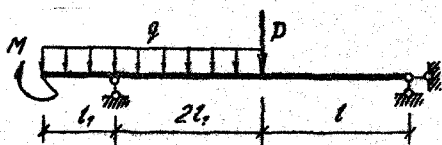


Рис. 16 а

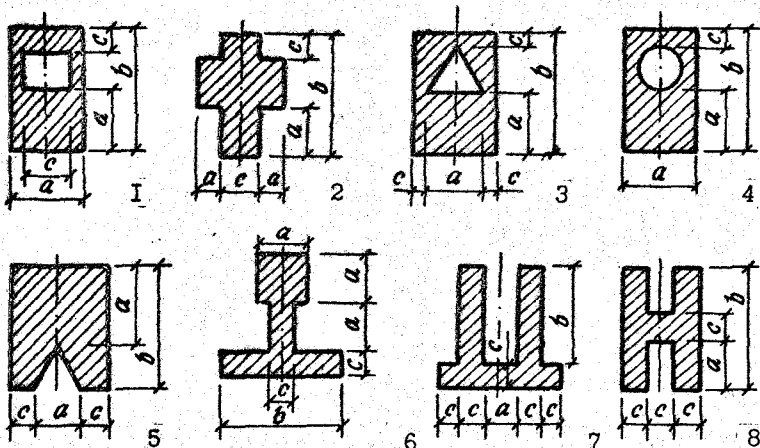


Таблица 16

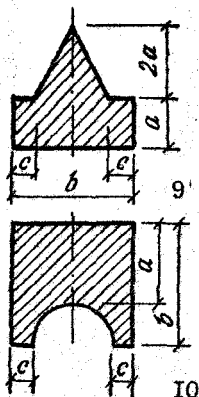


Рис. 16 б

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта							
	1		2		3		4	
	t	b	a	c	t	p	M	Тип сеч.
	м	см	см	$\frac{c}{b}$	$\frac{t}{l}$	$\frac{p}{ql}$	$\frac{M}{ql^2}$	
1	0,5	10	5	0,5	0,5	1	-2	1
2	1,0	12	6	0,20	0,75	-1	1	2
3	1,5	14	7	0,15	1,0	2	2	3
4	0,5	16	8	0,10	1,5	-2	-1	4
5	1,0	10	6	0,15	2	3	-3	5
6	1,5	12	7	0,20	0,5	-3	3	6
7	0,5	14	8	0,10	1,0	4	1,5	7
8	1,0	16	9	0,20	1,5	-4	-1,5	8
9	1,5	14	9	0,15	2	5	-4	9
0	0,5	12	8	0,10	0,75	-5	4	10

Указания к задаче 16

При определении допустимой нагрузки с учетом пластических свойств материала условие прочности следует записать в виде

$$M_{max} \leq W_{pl} \cdot R,$$

где W_{pl} — пластический момент сопротивления сечения;
 R — расчетное сопротивление для материала балки при растяжении или сжатии.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каких стержневых системах при достижении напряжениями в опасной точке значения R^* наступает исчерпание несущей способности?
2. Почему расчет на прочность по методу предельного равновесия является более экономичным, чем расчет по напряжению в опасной точке?
3. С какой целью осуществляется идеализация диаграмм деформирования материала?
4. Назовите несколько вариантов идеализированной диаграммы

$\sigma - \varepsilon$ для малоуглеродистых и легированных сталей.

5. Чем определяется выбор вида идеализированной диаграммы ?
6. Что представляет собой диаграмма Праундтля ?
7. Какие стадии работы проходит балка и сечение балки из пластичного материала в процессе нагружения?
8. Какой вид имеет эпюра σ в поперечном сечении балки при предельном значении момента ?
9. Что представляет собой пластический шарнир ?
10. Как определяется величина предельного изгибающего момента ?
11. Выведите выражение для предельного изгибающего момента. Какие при этом используются допущения и ограничения ?
12. Как проходит нейтральная линия в сечении при предельном изгибающем моменте ?
13. Как выводится условие для определения нейтральной линии при предельном изгибающем моменте ?
14. Как определяется разрушающая нагрузка для статически определимой балки ?
15. Как определяется допустимая нагрузка при расчете на прочность по методу предельного равновесия ?
16. Как определяются зоны текучести в балке при изгибе ?
17. Чем объясняется появление остаточных напряжений и деформаций после работы балки в упруго-пластической стадии ?
18. Как определяются остаточные напряжения и деформации ?

Задача № 17

Для сжатого стержня, имеющего местные ослабления (штриховые линии на рис. 17 б), определить:

1. Величину допустимой нагрузки из условий прочности и устойчивости.
2. Коэффициент запаса устойчивости при найденном значении сжимающей силы.

Способы закрепления стержня в главных плоскостях показаны на рис. 17 а, сечение - на рис. 17 б. Положение сечения по отношению к плоскостям возможной потери устойчивости выбрать наиболее рациональным (см. указания после задачи № 17).

Исходные данные принять согласно табл. 17 и рис. 17.

Примечание: При определении критического напряжения для

стержней малой гибкости можно использовать эмпирическую формулу $\sigma_{кр} = a - b\lambda^2$. Коэффициент a приравнять пределу текучести (сталь) или нормативному сопротивлению (бетон, древесина) на сжатие; коэффициент b найти из условия равенства критических напряжений при $\lambda = \lambda_{кр}$, вычисленных по указанной формуле и формуле Эйлера, считая предел пропорциональности равным расчетному сопротивлению на сжатие.

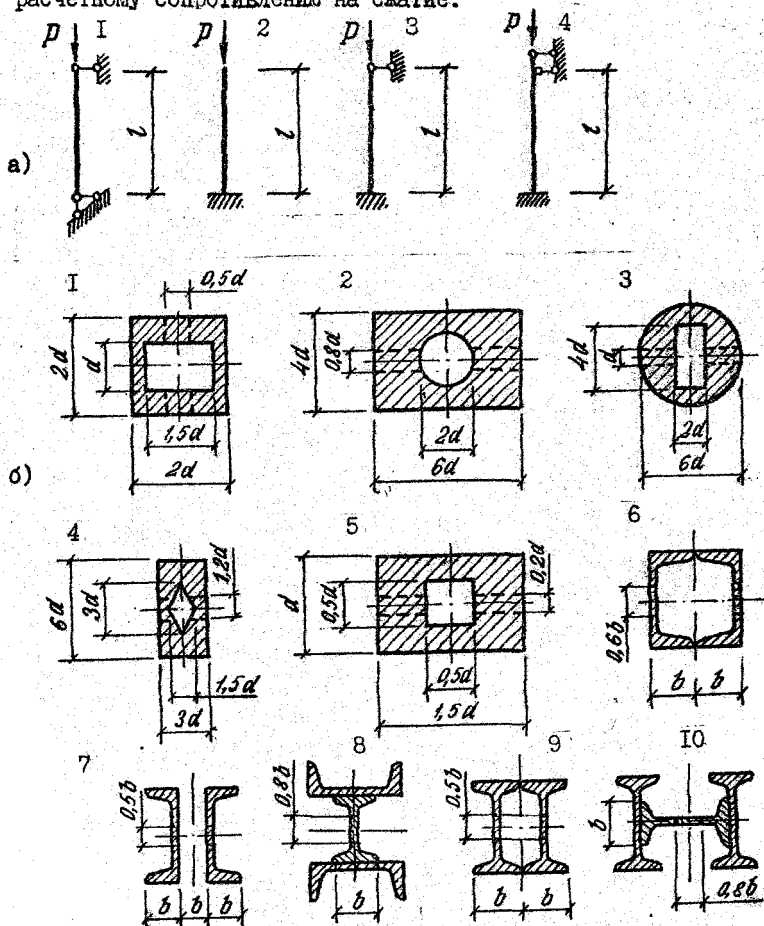


Рис. 17

Таблица 17

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта							
	1	2	3			4		Тип сеч.
	l м	Закр. в пл. xy	Закр. в пл. xz	Двуглавр	Швеллер	d см	Материал	
1	3,1	1	1	20	40	II	Сосна	I
2	3,2	2	2	20a	36	I2	Ель	2
3	3,3	3	3	22	33	I3	Бетон М200	3
4	3,4	4	4	22a	30	I4	Бетон М300	4
5	3,5	1	1	24	27	I5	Дуб	5
6	3,6	2	2	24a	24a	I6	Сталь С 38/23	6
7	3,7	3	3	27	24	I7	Сталь С 44/29	7
8	3,8	4	4	27a	22a	I8	Сталь С 46/33	8
9	3,9	1	1	30	22	I9	Сталь С 52/40	9
0	4,0	2	2	30a	20a	20	Сталь С 60/45	10

Указания к задачам 17 и 18

Рациональное положение сечения выбирается из условия: большому коэффициенту приведения длины μ должен соответствовать больший радиус инерции i .

Например, при $\mu_x > \mu_y$ должно быть $i_x > i_y$. Индекс указывает на ось, относительно которой происходит изгиб при потере устойчивости.

Подбор сечения из условия устойчивости осуществляется методом последовательных приближений. В первом приближении рекомендуется принять для всех материалов, кроме бетона, $\varphi = 0,5$, для бетона - $\varphi = 0,8$.

Задача № 18

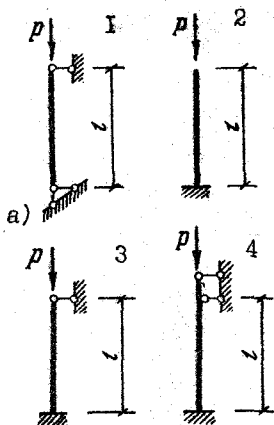
Для сжатого стержня требуется:

1. Подобрать размеры сечения.
2. При найденных размерах вычислить коэффициент запаса устойчивости.

Способы закрепления стержня в главных плоскостях показаны на рис. 18 а, сечение - на рис. 18 б. Положение сечения по отношению к плоскостям возможной потери устойчивости выбрать наиболее рациональным.

Исходные данные принять согласно табл. 18.

Таблица 18



Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта					Тип сеч.
	1	2	3	4		
	м	Закр. в пл. XV	Закр. в пл. XII	P кН	Материал	
1	4,0	2	3	250	Сталь С 85/75	1
2	3,9	3	4	300	Сталь С 70/60	2
3	3,8	4	1	700	Сталь С 60/45	3
4	3,7	1	2	1500	Сталь С 52/40	4
5	3,6	2	3	800	Сталь С 46/33	5
6	3,5	3	4	100	Кедр сибирск.	6
7	3,4	4	1	150	Пихта	7
8	3,3	1	2	700	Бетон М200	8
9	3,2	2	3	2500	Бетон М300	9
0	3,1	3	4	1800	Бетон М400	10

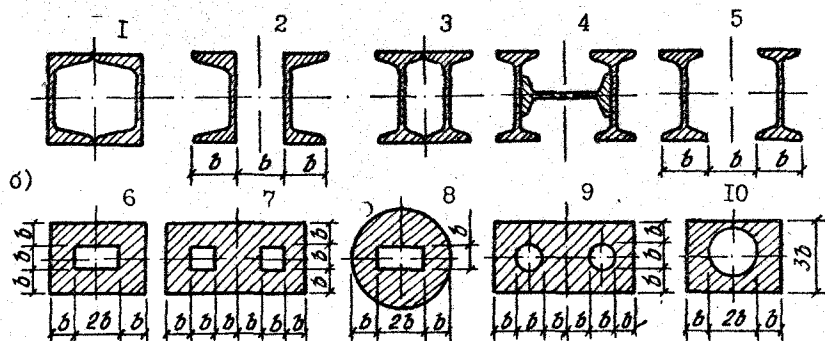


Рис. 18

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается явление потери устойчивости ?
2. Что называется критической силой ?
3. Какой вид имеет формула Эйлера, определяющая величину критической силы ?
4. В каких пределах применима формула Эйлера ?
5. Как влияет жесткость EJ поперечного сечения стержня на величину критической силы ?
6. Как влияет длина стержня на величину критической силы ?

7. Как учитывается влияние способа закрепления концов стержня ?
8. Что представляет собой коэффициент приведения длины ? Как определяется коэффициент приведения длины и чему он равен при различных способах закрепления концов стержней ?
9. Что такое "критическое напряжение" ?
10. Что называется гибкостью стержня ?
11. Что называется предельной гибкостью ?
12. Как определяется величина критической силы при напряжениях, больших предела пропорциональности ?
13. Какой вид имеет условие устойчивости сжатых стержней ?
14. Какая площадь поперечного сечения стержня подставляется в условие устойчивости ?
15. Какое ослабление стержня называется местным ?
16. Почему местные ослабления слабо влияют на устойчивость стержня ?
17. Что представляет собой коэффициент ψ и как он определяется ?
18. Как подбирается сечение стержня при расчете на устойчивость с использованием коэффициента ψ ?
19. Как подбирается сечение стержня из условия устойчивости при заданном коэффициенте запаса ?
20. Как определяется коэффициент запаса устойчивости ?

Задача № 19

На двутавровую стальную балку, свободно лежащую на двух жестких опорах (рис. 19), с высоты h падает груз P . Требуется:

- 1) найти наибольшее нормальное напряжение в балке ;
- 2) решить аналогичную задачу при условии, что правая опора балки заменена пружиной, податливость которой (т.е. осадка от груза весом 1 кН) равна α ;
- 3) сравнить полученные результаты.

Массой балки при решении пренебречь.

Исходные данные принять согласно табл. 19.

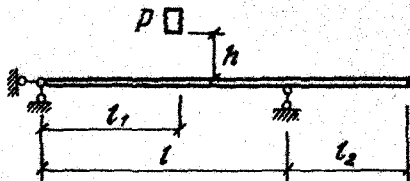


Рис. 19

Таблица 19

Цифры варианта	Порядковый номер цифр варианта						
	1		2		3		4
	a , см/кН	Дву- тавр	l , м	P , кН	h , см	l_1 l	l_2 l
1	2,1	20	3,1	1,10	11	2/3	0
2	2,2	22a	3,2	1,20	12	1/2	0
3	2,3	22	3,3	0,30	13	1/3	0
4	2,4	22a	3,4	0,40	4	1/4	0
5	2,5	24	3,5	0,50	5	1/5	0
6	1,6	24a	3,6	0,60	6	3/4	0
7	1,7	27	3,7	0,70	7	4/5	0
8	1,8	27a	3,8	0,80	8	6/5	1/5
9	1,9	30	3,9	0,90	9	5/4	1/4
0	2,0	30a	4,0	1,00	10	4/3	1/3

Указания к задаче № 19

При наличии пружины статический прогиб определяется как сумма перемещений точки соударения от изгиба балки и от осадки пружины.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие нагрузки называются статическими и какие динамическими?
2. В чем заключается принцип Даламбера?
3. Как определяется интенсивность погонной инерционной нагрузки?
4. Как определяется интенсивность инерционных центробежных сил, возникающих при равномерном вращении стержневой системы?
5. Какое явление называется ударом?
6. Какие гипотезы лежат в основе теории удара, рассматриваемой в сопротивлении материалов?
7. Что называется динамическим коэффициентом при ударе?
8. На чем основан вывод формулы для определения динамического коэффициента при ударе?
9. Выведите формулу определения динамического коэффициента без учета массы упругой системы.
10. Что такое $\delta_{ст}$ в формуле для определения коэффициента динамичности?

11. Как определяется $\delta_{ст}$ при растягивающем ударе ?
12. Как определяется $\delta_{ст}$ при изгибающем ударе ?
13. Что представляет собой "внезапное действие нагрузки" и чему равен динамический коэффициент при таком ее действии ?
14. Как определяются напряжения и перемещения при ударе ?
15. Применение каких конструктивных мероприятий позволяет уменьшить напряжения при ударном действии нагрузки ?
16. Зависят ли напряжения при ударе от модуля упругости материала системы, подвергающейся удару ?

П Р И Л О Ж Е Н И Я
 ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ

I. С т а л ь

I. Расчетные сопротивления R , МПа

Вид деформации	Обозначение	Класс стали						
		C38/23	C44/29	C46/33	C52/40	C60/45	C70/60	C85/75
Растяжение, сжатие	R	210	260	290	340	380	440	530
Срез	$R_{ср}$	130	150	170	200	230	260	310
	$R_{см}$	320	390	430	510	570	650	800

Примечание. Числа в обозначении класса стали указывают: числитель - временное сопротивление на разрыв, знаменатель - предел текучести в кг/мм².

2. Для сталей всех классов $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $G = 8 \cdot 10^4$ МПа

II. С в а р н ы е ш в ы

Расчетные сопротивления R , МПа

Вид деформации	Обозначение	R
Растяжение, сжатие	$R_{св}$	210
С р е з	$R_{ср}$	150

III. Д р е в е с и н а

I. Нормативные сопротивления на сжатие вдоль волокон

R_c^H , МПа

Порода	Сосна, ель	Кедр	Пихта	Дуб
Нормативное сопротивление	30	27	24	39

2. Расчетные сопротивления R , МПа

Вид деформации	Растяжение вдоль волокон	Сжатие вдоль волокон	Смятие		Скалывание	
			вдоль волокон	поперек волокон	вдоль волокон	поперек волокон
Обозначение	R_p	R_c	R_{cm}	$R_{cm} 90^\circ$	$R_{ск}$	$R_{ск} 90^\circ$
Расчетные сопротивления для сосны и ели, кедра, пихты, дуба	8,0 7,2 6,4 10,4	13,0 11,7 10,4 16,9	13,0 11,7 10,4 16,9	3,0 2,7 2,4 6,0	2,4 2,2 1,9 3,1	1,2 1,1 1,0 1,6

Расчетные сопротивления древесины смятию и скалыванию под углом d к направлению волокон определяются по формулам:

$$R_{см d} = \frac{R_{см}}{1 + \left(\frac{R_{см}}{R_{см 90^\circ}} - 1\right) \sin^3 d}; \quad R_{ск} = \frac{R_{ск}}{1 + \left(\frac{R_{ск}}{R_{ск 90^\circ}} - 1\right) \sin^3 d}$$

3. Модуль упругости древесины вдоль волокон принимается независимо от породы равным 10^4 МПа.

IV. Бетон

Нормативные и расчетные сопротивления на сжатие и модули упругости, МПа.

Марка бетона	200	300	400
Нормативное сопротивление	11,5	17,0	22,5
Расчетное сопротивление	9,0	13,56	17,5
Модуль упругости E	24000	29000	33000

**КОЭФФИЦИЕНТЫ УМЕНЬШЕНИЯ РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
ДЛЯ ЦЕНТРАЛЬНО СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

I. С т а л ь

Гибкость элемента	Коэффициенты для элементов из стали классов						
	C38/23	C44/29	C46/33	C52/40	C60/45	C70/60	C85/75
I	2	3	4	5	6	7	8
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
10	0,988	0,987	0,986	0,985	0,984	0,983	0,982
20	0,970	0,968	0,965	0,962	0,956	0,953	0,950
30	0,943	0,935	0,932	0,927	0,916	0,909	0,903
40	0,905	0,892	0,888	0,878	0,866	0,852	0,838
50	0,867	0,843	0,837	0,823	0,810	0,790	0,760
60	0,820	0,792	0,780	0,764	0,740	0,700	0,660
70	0,770	0,730	0,710	0,682	0,650	0,610	0,558
80	0,715	0,660	0,637	0,604	0,570	0,518	0,432
90	0,655	0,592	0,563	0,523	0,482	0,412	0,343
100	0,582	0,515	0,482	0,437	0,396	0,336	0,288
110	0,512	0,440	0,413	0,370	0,325	0,273	0,230
120	0,448	0,383	0,350	0,315	0,273	0,230	0,192
130	0,397	0,330	0,302	0,264	0,232	0,196	0,164
140	0,348	0,285	0,256	0,228	0,198	0,168	0,142
150	0,305	0,250	0,226	0,198	0,173	0,148	0,123
160	0,270	0,220	0,200	0,176	0,153	0,130	0,108
170	0,240	0,195	0,178	0,156	0,137	0,116	0,096
180	0,216	0,175	0,160	0,139	0,122	0,102	0,086
190	0,196	0,158	0,142	0,126	0,108	0,092	0,077
200	0,175	0,142	0,129	0,112	0,098	0,082	0,069
210	0,160	0,130	0,118	0,102	0,089	0,075	0,063
220	0,146	0,119	0,108	0,093	0,081	0,068	0,057

2. Д р е в е с и н а

Для древесины коэффициент φ определяется по формулам:

при $\lambda \leq 75$

$$\varphi = 1 - 0,00008\lambda^2,$$

при $\lambda > 75$

$$\varphi = 3100/\lambda^2.$$

3. Б е т о н

Гибкость	φ
0	1,000
14	1,000
21	0,92
28	0,91
35	0,89
42	0,86
49	0,82
56	0,76
63	0,69
70	0,61

О Г Л А В Л Е Н И Е

Общие методические указания	3
Рабочая программа курса	
Часть I	5
Часть II	9
Рекомендуемая литература	II
Указания по выполнению контрольных работ	12
Задания для контрольных работ	
Контрольная работа № 1	15
Контрольная работа № 2	26
Контрольная работа № 3	33
Контрольная работа № 4	44
Приложение	53

Техн. редактор А. В. Миних

Редакционно-издательский отдел
Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола

Подписано в печать 29/IX-82 г. Формат 60x90 1/16. Печ. л. 3,5. Уч.-изд. л. 3,25.
Тираж 500 экз. Заказ № 347/1465.

УМП ЧПИ. 454044, г. Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 76.