

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра «Строительная механика»

539.3/.6(07)
В932

В.Л. Высоковский, В.Г. Косогоров,
А.Н. Потапов, Г.В. Трегулов

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Контрольные задания для студентов
заочного и очно-заочного обучения специальности ПГС

Челябинск
Издательство ЮУрГУ
2007

УДК 539.3/.6(07)
В932

*Одобрено
учебно-методической комиссией
архитектурно-строительного факультета*

*Рецензенты:
С.Б. Шматков, В.Г. Подойников*

В932 Сопротивление материалов: контрольные задания для студентов заочного и очно-заочного обучения специальности ПГС / В.Л. Высоковский, В.Г. Косоголов, А.Н. Потапов, Г.В. Трегулов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 51 с.

Приведены общие методические указания, рабочая программа курса, рекомендуемая литература, задания для контрольных работ, вопросы для самоконтроля и приложение.

УДК 539.3/.6(07)

© Издательство ЮУрГУ,
2007

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 конструкций 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 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, также 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 материала. 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 сопротивления материалов условно разделен на две части.

Первая часть включает темы 1–9 рабочей программы. Контрольных работ две: работа № 1 «Геометрические характеристики поперечных сечений бруса и построение эпюр внутренних силовых факторов» (задачи № 1–6); работа № 2 «Расчеты на прочность и жесткость при растяжении, сжатии, кручении и изгибе» (задачи № 7–10).

Лабораторных работ пять: работы № 1, 2, 3, 4, 11 (в соответствии с пособием [4]).

В конце семестра зачет (или экзамен). На зачете студент должен показать усвоение основных понятий, умение решать задачи, знание вывода основных фор-

мул (геометрические характеристики, теория напряженного состояния, напряжения в поперечном сечении бруса при растяжении (сжатии), кручении, прямом чистом и поперечном изгибе), понимание результатов лабораторных работ.

Вторая часть курса охватывает темы 10–14 рабочей программы. Контрольных работ две: работа № 3 “Сложное сопротивление” (задачи № 11–13); работа № 4 “Расчет балок по предельному равновесию, устойчивость и удар” (задачи № 14–17).

Лабораторных работ четыре: работы № 12, 13, 19, 20.

В конце семестра экзамен (или зачет).

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА

Часть 1

ТЕМА 1. 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 формировании инженеров-строителей как высококвалифицированных специалистов.

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

Схематизация материала. Гипотезы (допущения) в сопротивлении материалов.

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

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.

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

Литература: [1, гл. 1], ([2, гл. 1], [5, гл. 1])*.

ТЕМА 2. Геометрические характеристики поперечных сечений бруса

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

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

* 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.

Литература: [1, гл. 2], ([2, гл. 4, §4.1–4.4, 4.6], [3]), [6, задачи: 9.6, 9.7, 9.11, 9.14].

ТЕМА 3. Эпюры внутренних силовых факторов

Внутренние силы. Метод сечений. Главный вектор и главный момент внутренних сил. Внутренние силовые факторы в поперечном сечении бруса. Продольная и поперечные силы, крутящий и изгибающие 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. Эпюры внутренних силовых факторов в пространственных рамах. Проверки построенных эпюр.

Литература: [1, гл. 3], ([2, гл. 2]), [4], [6, задачи: 1.2, 1.6, 1.18, 1.30].

ТЕМА 4. Растяжение и сжатие прямого бруса

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

Принцип Сен-Венана, принцип независимости действия сил.

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

Литература: [1, гл. 5, §5.8–5.15], ([2, гл. 3, §3.1–3.3, 3.12]), [5, гл. 6, §6.1–6.5], [6, задачи: 2.4, 2.5, 2.7, 2.16, 2.20, 2.21, 2.23, 2.29, 2.32].

ТЕМА 5. Механические свойства материалов при растяжении и сжатии

Экспериментальное изучение механических свойств материалов при растяжении и сжатии. Диаграммы растяжения и сжатия ($F - \Delta l$ и $\sigma - \varepsilon$). 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 ха-

рактеристики. Особенности разрушения хрупких материалов при растяжении и сжатии.

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

Литература: [1, гл. 5, §5.1–5.7], ([2, гл. 3, §3.6–3.11]), [5, гл.3], [7].

ТЕМА 6. Понятие о расчете конструкций по предельным состояниям

Основные понятие о прочности, жесткости, 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 сопротивление материалов: поверочный расчет, подбор сечения, определение допустимой нагрузки.

Литература: [1, гл. 5, §5.6, 5.11, 5.14, 5.16], ([2, гл. 3, §3.12]).

ТЕМА 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: объёмное, плоское, линейное.

Обобщённый закон Гука. Модуль сдвига G . Зависимость между E , ν и G для изотропного тела. Удельная потенциальная энергия деформации и её подразделение на энергию изменения объёма и энергию изменения формы.

Литература: [1, гл. III, §21–25, 29.1, 29.2, 30–33], ([2, гл. 13, §13.1–13.4, 13.6, 13.8–13.13]), [5, гл. 2], [6, задачи: 4.1, 4.5].

ТЕМА 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.

Литература: [1, гл. 6, §6.1–6.4, 6.6–6.8], ([2, гл. 5, §5.1–5.3]), [5, гл.5, §5.3–5.5, гл. 6, §6.6–6.9], [6, задачи: 7.2, 7.3, 7.8, 7.12], [7].

ТЕМА 9. Изгиб

Нормальные напряжения в поперечном сечении стержня.

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.Журавского). 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.

Литература: [1, гл. 7, §7.1–7.4, 7.6–7.9, 7.12], ([2, гл. 6, §6.1–6.4, гл. 7, §7.1, 7.2, гл. 8, §8.1–8.5]), [5, гл. 5, §5.1, 5.2, 5.8, 5.9, гл. 6, §6.10, 6.11, 6.13, 6.14], [6, задачи: 10.2, 10.6, 10.7, 10.14, 11.1, 11.8, 11.9], [7].

Часть 2

ТЕМА 10. Сложное сопротивление

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

Характерные случаи сложного сопротивления: косоугольный изгиб, внецентренное действие продольной силы, изгиб с кручением.

Нормальные напряжения при косоугольном 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 плоскость и нейтральная линия. 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).

Литература: [1, гл. 10], ([2, гл. 6, §6.5, 6.6]), [5, гл. 6, §6.16–6.18], [6, задачи: 12.2, 12.3, 12.16, 12.25, 12.32, 12.36, 12.56, 12.68, 12.69], [7].

ТЕМА 11. 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 О.Мора. Критический анализ и область применения каждой из них. Формулы третьей и четвертой теорий прочности для частного случая напряженного состояния, имеющего место в брус.

Литература: [1, гл. 9], ([2, гл. 14, §14.1–14.4]), [5, гл. 4], [6, задачи: 6.1, 6.6, 6,8].

ТЕМА 12. 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 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.

Литература: [1, гл. 20, §20.1–20.3], ([2, гл. 6, §6.7]), [8, гл. 1, гл. 2, §2.1, 2.2], [6].

ТЕМА 13. 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.

Литература: [1, гл. 12, §12.1–12.7], ([2, гл. 15, §15.1–15.5]), [6, задачи: 15.2, 15.4, 15.8, 15.9], [7].

ТЕМА 14. Динамическое действие нагрузки

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

Ударное действие нагрузки. Основные предпосылки 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.

Литература: [1, гл. 14, §14.1–14.3, 14.5], ([2, гл. 17, §17.1–17.3]), [6, задачи: 16.2, 16.3, 16.17, 16.18], [7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основной

1. Сопротивление материалов с элементами теории упругости и пластичности / В.А. Икрин. – М.: Изд-во АСВ, 2005. – 423 с.
2. Сопротивление материалов / А.В. Александров. – М.: ВШ, 2001.
3. Икрин, В.А. Геометрические характеристики плоских фигур: Учебное пособие для самостоятельной работы / В.А. Икрин, С.Б. Шматков. – Челябинск: ЧПИ, 1988. – 48 с.
4. Икрин, В.А. Эпюры внутренних силовых факторов: учебное пособие для самостоятельной работы / В.А. Икрин, В.Н. Широков. – Челябинск: ЧПИ, 1988. – 69 с.
5. Икрин, В.А. Расчеты на прочность при растяжении, сжатии, кручении и изгибе: учебное пособие для самостоятельной работы / В.Л. Высоковский, В.А. Икрин. – Челябинск: ЧПИ, 1988. – 85 с.
6. Сборник задач по сопротивлению материалов: учебное пособие / Н.М. Беляев, Л.К. Паршин, Б.Б. Мельников и др.; под ред. Л.К. Паршина. – СПб.: Изд. «Иван Федоров», 2003. – 432 с.
7. Лаптевский, А.Г. Лабораторные работы по курсу “Сопротивление материалов”: учебное пособие / А.Г. Лаптевский, В.В. Лукин; под ред. Д.А. Гохфельда. – Челябинск: ЧГТУ, 1992. – 83 с.
8. Высоковский, В.Л. Расчет конструкций по несущей способности: учебное пособие / В.Л. Высоковский, В.Ф. Сбитнев. – Челябинск: ЧПИ, 1975. – 76 с.

Дополнительный

9. Грес, П.В. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов: учебное пособие для вузов / П.В. Грес. – М.: Высш. шк., 2004. – 135 с.
10. Миролубов, И.Н. и др. Сопротивление материалов: пособие по решению задач. – СПб: Лань, 2004. – 512 с.

УКАЗАНИЯ 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 03-2308 вариант задания 2308 (в задаче 1 следует принять $a = 1,2$ 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 03-308 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 приступить 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 потерянным и для студента, и для рецензента.

4. В заголовке 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 её условие с исходными данными. По этим данным составить аккуратный эскиз, определяющий условие задачи в соответствии с вариантом. Вычерчивание схем и чертежей должно выполняться строго в масштабе с применением чертежных инструментов. На схемах следует проставлять как буквенные, 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 со знаком минус, то надо показать её направленной в противоположную сторону по сравнению с указанной на схеме и указать величину, опустив минус.

Вся дополнительная информация, необходимая для решения задач, приведена в «Приложении» данного пособия.

7. Перед решением задачи следует ознакомиться с относящимися к ней указаниями. Путь решения следует выбирать наиболее рациональный. Решение должно сопровождаться краткими, последовательными и грамотными без сокращения слов пояснениями и четкими, выполненными в масштабе эскизами, на ко-

торых 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 результатов в сопротивлении материалов с учетом исходных предпосылок считается равной 3%, что обеспечивается промежуточными вычислениями с точностью до трех-четырех значащих цифр (не знаков после запятой!). Определять большее число значащих цифр не имеет смысла.

10. Решение каждой задачи контрольной работы должно быть тщательно проверено. Следует оценивать правдоподобность полученных результатов с точки зрения физической сущности задачи и её исходных данных. Для закрепления изученного материала ответьте на вопросы для самоконтроля.

11. 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 неясно при решении той или иной задачи.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Контрольная работа № 1

Для фигур, изображенных на рис. 1 и 2, найти положения главных центральных осей и величины главных моментов инерции.

Исходные данные принять согласно соответствующим таблицам.

Задача № 1

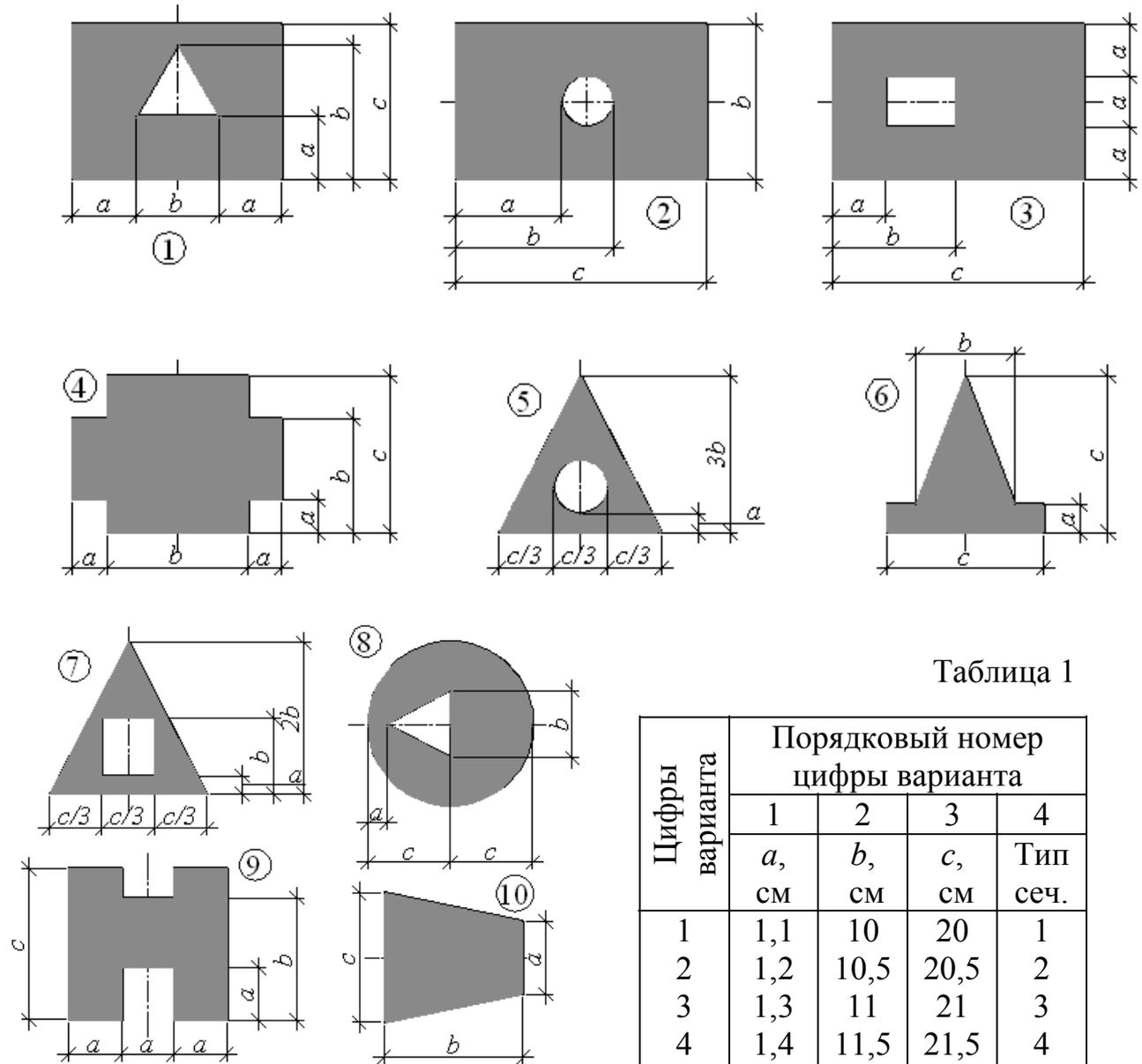


Рис. 1

Примечание: См. указания после задачи №2.

Таблица 1

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта			
	1	2	3	4
	a , см	b , см	c , см	Тип сеч.
1	1,1	10	20	1
2	1,2	10,5	20,5	2
3	1,3	11	21	3
4	1,4	11,5	21,5	4
5	1,5	12	22	5
6	1,6	12,5	22,5	6
7	1,7	13	23	7
8	1,8	13,5	23,5	8
9	1,9	14	24	9
0	2,0	14,5	24,5	10

Задача №2

Таблица 2

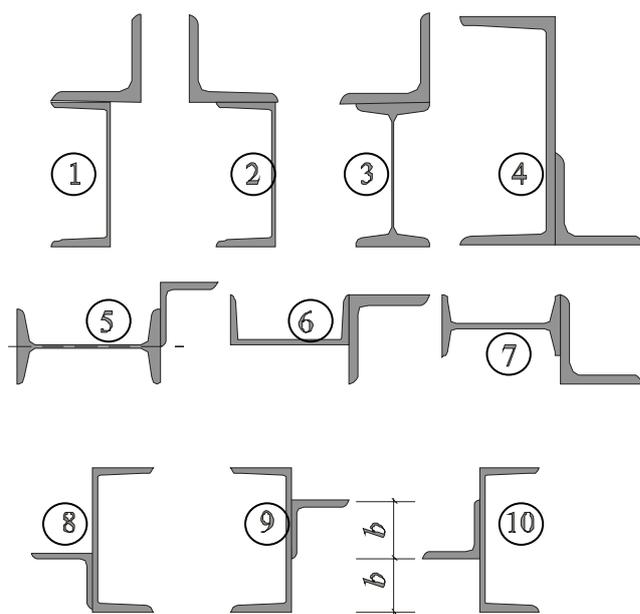


Рис. 2

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта			
	1	2	3	4
	Швел- лер	Дву- тавр	Равнобо- кий уголок	Тип сече- ния
1	12	10	140 x 9	1
2	14	12	140 x 10	2
3	16	14	140 x 12	3
4	18	16	160 x 10	4
5	20	18	160 x 11	5
6	22	20	160 x 12	6
7	24	22	160 x 14	7
8	27	24	160 x 16	8
9	30	27	180 x 11	9
0	33	30	180 x 12	10

Указания к задачам № 1 и 2

В плане решения задачи № 1 следует учесть наличие оси симметрии.

Для проверки полученных решений необходимо:

1. Оценить положение центра тяжести всей фигуры, используя аналогию с точкой приложения равнодействующей параллельных сил.
2. Используя чертеж, качественно оценить сравнительную величину осевых моментов инерции и знак центробежного момента инерции.
3. 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 фигуры 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 пары 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 наибольшее и наименьшее значение?
14. Как определяется угол поворота осей до положения главных?
15. Будут ли главными оси, полученные произвольным поворотом осей X и Y , если $I_x=I_y$ и $I_{xy}=0$?
16. В какой последовательности определяются значения главных 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. Чему равны главные моменты инерции полукруга?
28. Как определяется центробежный момент инерции уголка относительно центральных осей, параллельных полкам?
29. Как определяется центробежный момент инерции прямоугольного треугольника относительно центральных осей, параллельных катетам?

Задача № 3

Для стержня, изображенного на рис. 3, построить эпюру продольной силы.

Исходные данные принять согласно табл. 3. Подробно показать использование метода сечений при определении продольной силы в сечении 1-1.

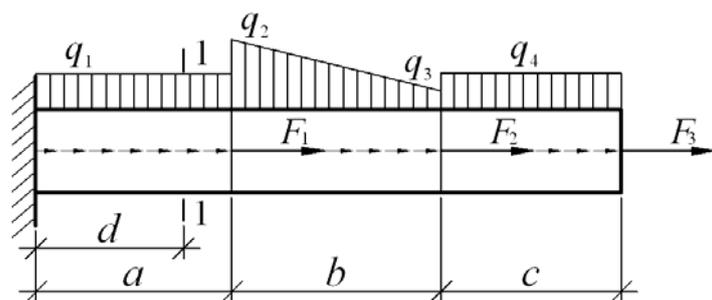


Рис. 3

Таблица 3

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта										
	1	2			3			4			
	d , м	a , м	b , м	c , м	F_1 , кН	F_2 , кН	F_3 , кН	q_1 , кН/м	q_2 , кН/м	q_3 , кН/м	q_4 , кН/м
1	$b/3+a$	1	1,2	2	-11	3	0	0	-12	0	11
2	$2b/3+a$	2	1,5	2,5	12	0	-4	2	0	-18	0
3	$a/2$	3	1,8	3	-13	0	7	-3	0	16	0
4	$3a/4$	4	2,1	3,5	14	-5	0	0	20	0	-4
5	$b/4+a$	5	2,4	4	-15	0	2	0	-24	0	5
6	$2b/3+a$	1,5	2,7	1,2	6	-4	0	0	0	-10	-6
7	$b/3+a$	2,5	3	1,5	-7	6	0	0	0	30	7
8	$a/2$	3,5	2	1,8	8	0	-5	-8	-14	0	0
9	$3a/4$	4,5	2,5	2,1	-9	0	8	9	22	0	0
0	$a/3$	5,5	4	2,4	10	-3	0	0	0	-8	-10

Примечание: См. указания после задачи 6.

Задача № 4

Для бруса, изображенного на рис.4, определить из условия равновесия момент M_l и построить эпюру крутящего момента.

Исходные данные принять согласно табл. 4. Подробно показать использование метода сечений при определении крутящего момента в сечении 1-1.

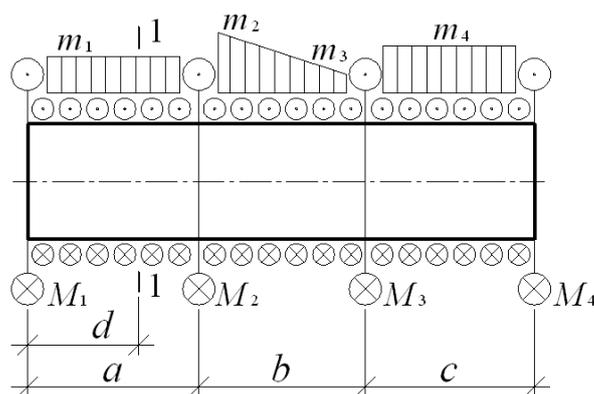


Рис. 4 а

Таблица 4

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта										
	1	2			3			4			
	d , м	a , м	b , м	c , м	M_2 , кН·м	M_3 , кН·м	M_4 , кН·м	m_1 , кН·м м	m_2 , кН·м м	m_3 , кН·м м	m_4 , кН·м м
1	$a/2$	3	1,8	2	12	0	2	10	0	-30	0
2	$3a/4$	5	2,4	4	-10	0	4	-5	0	24	0
3	$b/6+a$	1	1,2	2	-5	0	8	-2	14	0	0
4	$2b/3+a$	4	2,1	3	-6	-5	0	9	-40	0	0
5	$a/3$	5	2,4	3	6	0	7	0	0	-20	9
6	$a/2$	3	1,4	4	-7	-2	0	0	0	25	-6
7	$3a/4$	4	1,5	2	8	0	-4	-5	0	16	0
8	$2b/3+a$	2	0,8	1	-9	0	6	3	-20	0	0
9	$b/3+a$	3	1,2	3	10	0	-8	0	-14	0	4
0	$b/2+a$	2	3,0	5	-12	0	5	0	0	12	-10

Задача № 5

Для балок, изображенных на рис. 5 а, б, в, г, построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.

Исходные данные принять согласно табл. 5. Подробно показать использование метода сечений при определении внутренних силовых факторов в сечении 1-1.

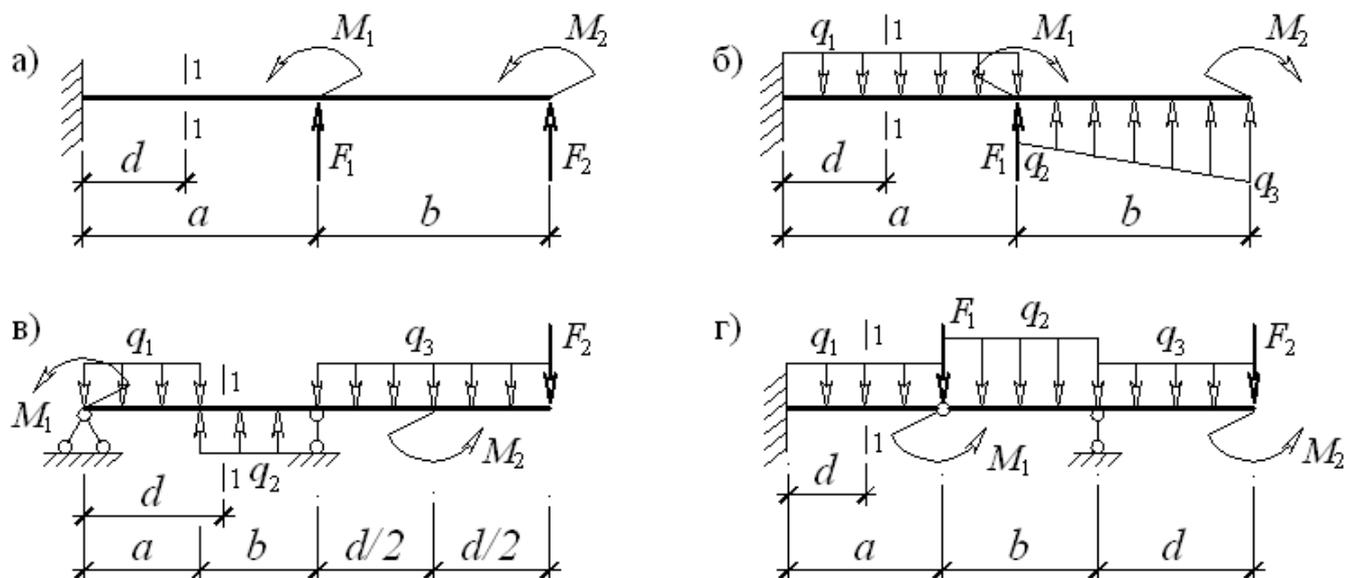


Рис. 5

Таблица 5

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта									
	1			2		3		4		
	a , м	b , м	d , м	M_1 , кН·м	M_2 , кН·м	F_1 , кН	F_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	-3,6	0
3	4,8	3,6	2,4	6	-4	4	1	1,8	3,6	0
4	3,2	1,8	0,8	3	-2	-3	2	-2	-4,5	0
5	2,8	2,4	1,4	4	6	2	-1	2,4	4,8	0
6	3	3	5	-6	3	1	3	-3,2	-3	0
7	2,4	1,8	3,2	5	-4	4	2	3	0	3
8	2,8	3,6	3,4	-4	3	3	1	2,8	0	4,5
9	4,2	3	4,5	3	6	2	-4	-3,4	-5,4	0
0	3,6	1,2	4	2	5	-1	5	3,6	6	0

Задача №6

Для одной из рам, изображенных на рис. 6, построить эпюры внутренних силовых факторов. При решении задачи считать, что внешние силы лежат в главных плоскостях соответствующих участков рамы.

Исходные данные принять согласно табл. 6.

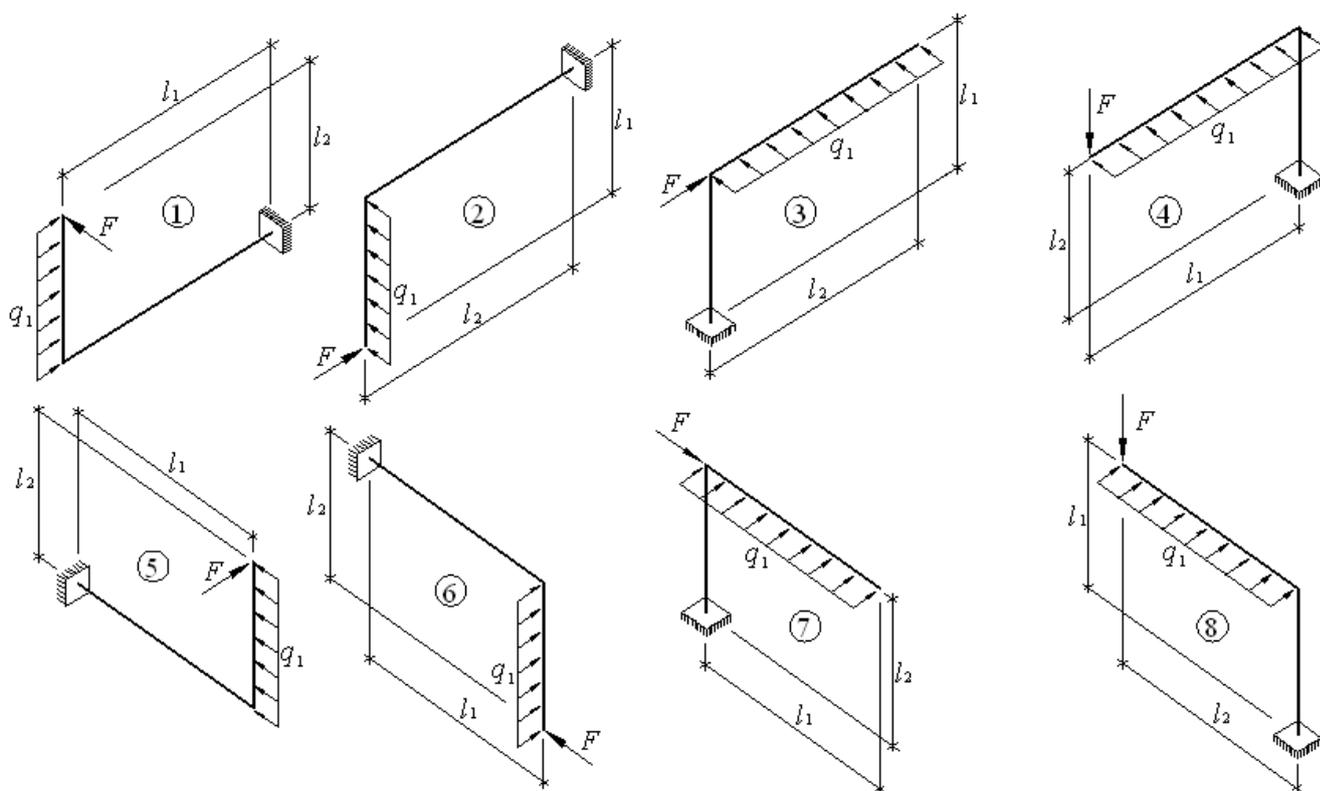


Рис. 6

Таблица 6

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта				
	1	2	3	4	
	$\frac{l_1}{l}$	$\frac{l_2}{l}$	$\frac{q_1}{q}$	$\frac{F}{ql}$	№ сх.
1	1	1	1	1	1
2	2	1	-2	-1	2
3	1	1	1	1	3
4	2	2	1	1	4
5	1	2	-1	1	5
6	2	2	2	-1	6
7	1	3	-2	1	7
8	2	3	1	-1	8
9	1	3	2	1	9
0	2	4	-1	-1	10

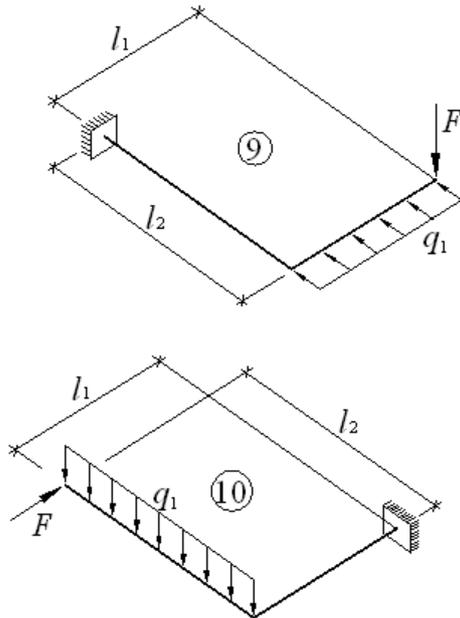


Рис. 6. (окончание)

Указания к задачам № 3–6

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 необходимы для решения задачи).
2. Разбить брус на участки.
3. Используя метод сечений, определить внутренние силовые факторы в характерных сечениях (в начале и конце каждого участка и в сечениях с экстремальными усилиями).
4. Отложить найденные значения на эпюрах и соединить полученные точки линиями, характер которых определяется дифференциальными зависимостями.
5. Используя дифференциальные зависимости и следствия из них, проверить правильность построения эпюр.
6. Для определения знака Q рядом с рамой надо показать триаду осей.
7. Ординаты изгибающих моментов надо откладывать со стороны растянутых волокон, не указывая знаков. В пространственных рамах поперечные силы и изгибающие моменты следует показывать в плоскостях их действия и, соответственно, 6 внутренних силовых факторов показываются на четырех эпюрах.
8. Для определения опорных реакций в составной балке (см. рис. 5г.) следует расчленить ее по шарниру и учесть усилия взаимодействия.

Контрольные вопросы

1. Что называется внутренними силовыми факторами?
2. Какой случай нагружения бруса называется центральным растяжением или сжатием?
3. Как определяется численное значение продольной силы?
4. Какое правило знаков используется для продольных сил?
5. Какой дифференциальной зависимостью связана продольная сила с внешней нагрузкой?
6. Что такое эпюра продольной силы?
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. При каком нагружении брус с прямолинейной осью испытывает деформацию кручения?
11. Как определяется численное значение крутящего момента?
12. Какое правило знаков принято для крутящих моментов?
13. Что такое эпюра крутящего момента?
14. Какой дифференциальной зависимостью связан крутящий момент с внешней нагрузкой?
15. Каковы следствия из дифференциальной зависимости между крутящим моментом и внешней нагрузкой?
16. Где имеет место скачок на эпюре продольной силы для бруса с прямолинейной осью?
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_t для бруса, нагруженного равномерно распределенным моментом?
20. Где имеет место скачок на эпюре M_t ?
21. Какие типы опор применяются для прикрепления 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 опора? 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 представляет собой реакция скользящей заделки?
25. Сколько кинематических ограничений накладывает защемление? Как оно изображается? Что представляет собой реакция защемления?

26. Как может быть осуществлено неподвижное (геометрически неизменяемое) и статически определимое закрепление балок к земле?
27. При каком числе связей балка становится статически неопределимой?
28. Какие уравнения используются для определения опорных реакций?
29. Как определяются опорные реакции многопролетной статически определимой 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 эпюрой поперечных сил?
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 эпюре Q_y ?
39. Когда Q_y меняется по линейному закону?
40. Когда Q_y 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_x с площадью эпюры Q_y ?
46. Как отражается на эпюре M_x скачок на эпюре Q_y ?
47. Назовите проверки эпюр внутренних силовых факторов в балках.
48. Сколько внутренних силовых факторов необходимо определять в сечении пространственной рамы и на скольких эпюрах они отражаются?
49. Какова особенность определения знака Q в пространственной раме?

Контрольная работа №2

Задача №7

Для одного из стержней, показанных на рис. 7, требуется:

1. Построить эпюру продольных сил (в долях F).
2. Построить эпюру нормальных напряжений $\sigma_z(z)$ (в долях F/A).
3. Построить эпюру продольных перемещений (в долях $F l / EA$).
4. Из расчета на прочность определить допустимую силу F .
5. Вычислить максимальное продольное перемещение от найденного значения силы $[F]$.

Исходные данные принять согласно рис.7 и табл.7.

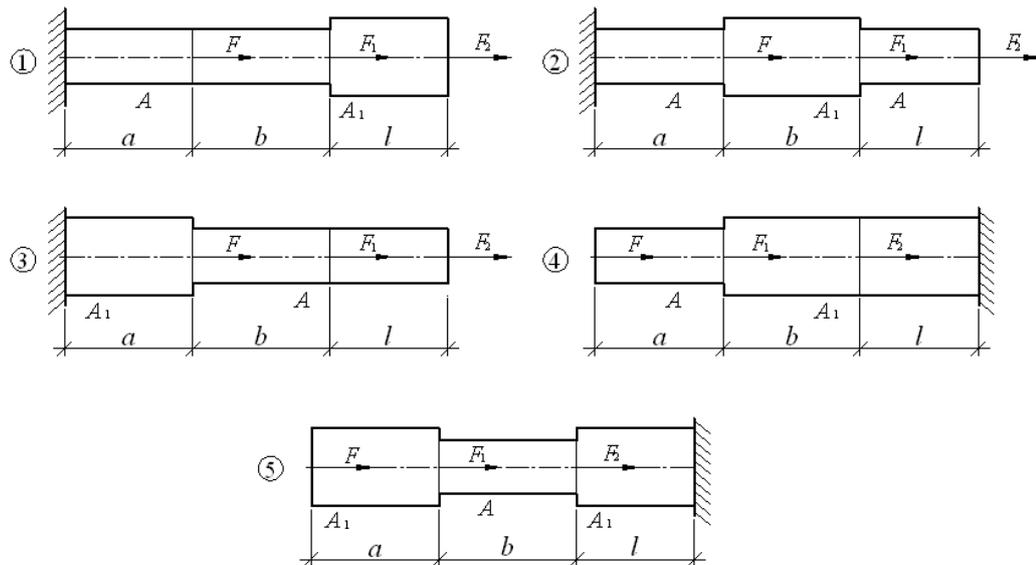


Рис. 7

Таблица 7

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта								
	1	2		3		4			
	L , см	$\frac{a}{l}$	$\frac{b}{l}$	$\frac{F_1}{F}$	$\frac{F_2}{F}$	Марка стали	A , см ²	$\frac{A_1}{A}$	№ схемы
1	21	1,1	3,0	2	-1	С 235	2,0	1,2	1
2	22	1,2	2,8	-1	2	С 245	2,5	1,4	2
3	23	1,3	2,6	-2	3	С 255	3,0	1,6	3
4	24	1,4	2,4	-4	2	С 275	3,5	1,8	4
5	25	1,5	2,2	3	-2	С 285	4,0	2,0	5
6	26	1,6	2,0	-2	-3	С 345	4,5	2,2	1
7	27	1,7	1,8	-1	3	С 375	5,0	2,4	2
8	28	1,8	1,6	3	-1	С 390	5,5	2,6	3
9	29	1,9	1,4	1	-3	С 440	6,0	2,8	4
0	30	2,0	1,2	-2	-2	С 540	6,5	3,0	5

Задача №8

Для бруса, показанного на рис. 8, требуется:

1. Построить эпюру крутящих моментов (в долях M).
2. Построить эпюру максимальных касательных напряжений (в долях $M/\pi d^3$).
3. Построить эпюры полных и относительных углов закручивания (соответственно в долях $M \cdot м / G \pi d^4$ и $M / G \pi d^4$).
4. Из расчета на прочность и жесткость определить величину допустимого момента M .

Материал бруса – сталь марки С235. Допустимый относительный угол закручивания $[\theta] = 5$ град./ м. Остальные исходные данные принять согласно табл. 8.

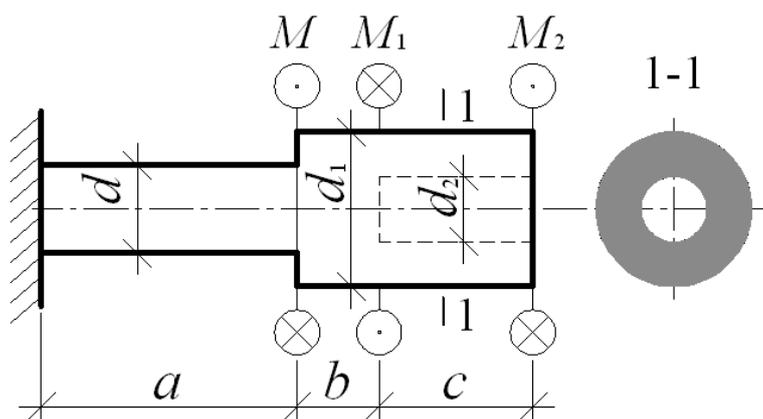


Рис. 8

Таблица 8

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

Задача № 9

Для балки, изображенной на рис.9, 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 в поперечных сечениях для балок всех вариантов и сравнить их между собой.
5. В опасном сечении двутавровой балки в точке, взятой на расстоянии $h/4$ от верха сечения, определить величину главных напряжений и положение главных площадок, а также найти максимальные касательные напряжения и площадки, в которых они действуют. Результаты анализа отразите на чертеже. Исходные данные принять согласно табл. 9. Материал балки – сталь С375.

Примечание. Если в опасном сечении $Q_y=0$, то надо рассмотреть точку в каком-либо другом сечении, где не равны нулю и изгибающий момент и поперечная сила.

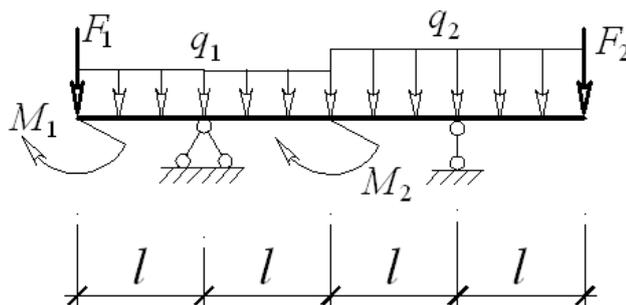


Рис. 9

Таблица 9

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта								
	1	2		3		4			
	l , м	$\frac{M_1}{ql^2}$	$\frac{M_2}{ql^2}$	$\frac{F_1}{ql}$	$\frac{F_2}{ql}$	$\frac{q_1}{q}$	$\frac{q_2}{q}$	q , кН/м	$\frac{h}{b}$
1	2,0	0	1	0	-1	3	0	8	2,1
2	1,2	0	-1	3	0	0	1	10	2,2
3	1,5	2	0	0	0	-1	0	12	2,3
4	1,8	0	-2	-1	0	0	3	15	2,4
5	1,6	1	0	0	2	-2	0	20	2,5
6	2,0	-1	0	-2	0	0	-2	8	2,6
7	1,2	0	3	0	-2	2	0	10	2,7
8	1,5	3	0	2	0	0	2	12	2,8
9	1,8	0	2	0	1	1	0	15	2,9
0	1,6	-2	0	1	0	0	1	20	3,0

Задача №10

Для балки, показанной на рис. 10а, с одним из поперечных сечений, изображенных на рис. 10б, требуется:

1. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.
2. Из расчета на прочность по нормальным напряжениям определить величину допустимой нагрузки (интенсивности q).
3. Проверить при найденной нагрузке прочность балки по максимальным касательным напряжениям в поперечном сечении.

Длина участка балки $l = 3$ м, материал - сталь марки С245.

Исходные данные принять согласно табл. 10.

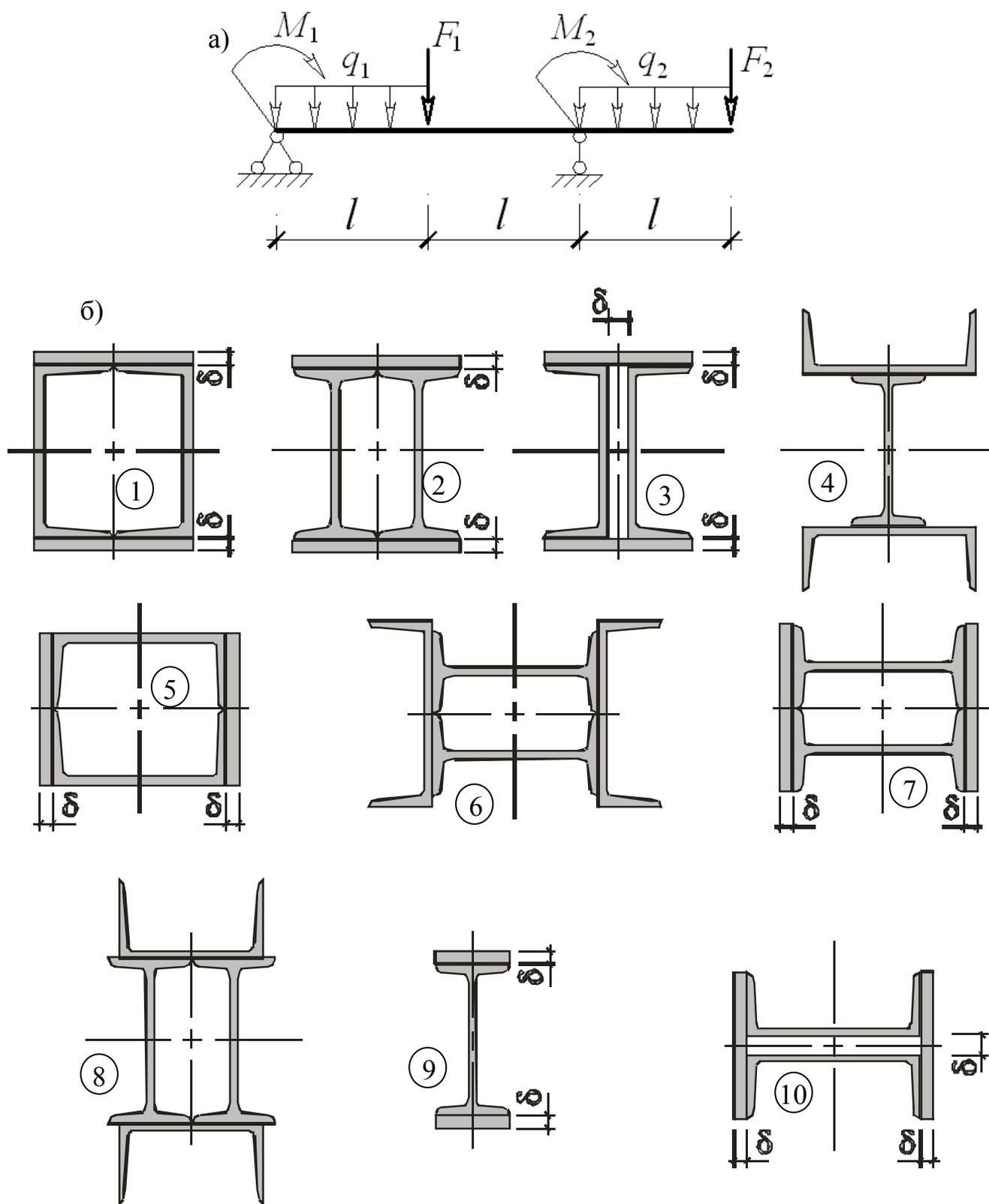


Рис. 10

Таблица 10

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта									
	1	2	3				4			
	$\frac{M_1}{ql^2}$	$\frac{M_2}{ql^2}$	$\frac{F_1}{ql}$	$\frac{q_1}{q}$	Швел- лер	δ , мм	Дву- тавр	Тип сеч.	$\frac{F_2}{ql}$	$\frac{q_2}{q}$
1	0	1	0	-1	40	10	24	1	3	0
2	0	-1	3	0	36	12	27	2	0	1
3	2	0	0	-3	33	14	30	3	4	0
4	0	-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	24	20	40	6	0	-2
7	0	3	0	-2	22	22	45	7	2	0
8	3	0	2	0	20	24	18	8	0	2
9	0	2	0	1	18	26	20	9	1	0
0	-2	0	1	0	16	28	22	10	0	-1

Контрольные вопросы

1. Что называется напряжением в точке?
2. Какое напряжение называется нормальным?
3. Какое напряжение называется касательным?
4. Что называется напряженным состоянием в точке тела?
5. Какие различают виды деформации материала?
6. Что называется относительной линейной деформацией в точке тела?
7. Что называется относительной угловой деформацией в точке тела?
8. Как формулируется закон Гука при линейном напряженном состоянии?
9. Как формулируется закон Гука при чистом сдвиге?
10. Как формулируется обобщенный закон Гука?
11. Что называется коэффициентом запаса прочности?
12. В чем суть расчета на прочность по напряжению в опасной точке?
13. Как формулируется условие прочности при расчете на прочность по напряжению в опасной точке?
14. Какие напряжения возникают в поперечном сечении бруса при растяжении или сжатии? По какой формуле они вычисляются?
15. Какие напряжения возникают в наклонных сечениях бруса при растяжении или сжатии? По каким формулам они вычисляются?
16. В каких площадках растянутого (сжатого) бруса возникают наибольшие касательные напряжения?
17. Каково соотношение между наибольшими нормальными и наибольшими касательными напряжениями в точке растянутого (сжатого) бруса?
18. По каким напряжениям ведется расчет на прочность при растяжении и сжатии?
19. Как записывается условие прочности при растяжении и сжатии?
20. Как определяется изменение длины стержня при растяжении или сжатии?

21. Как формулируется закон Гука при растяжении и сжатии? Когда он справедлив?
22. Что называется жесткостью стержня при растяжении или сжатии?
23. Как определить удлинение стержня, растягиваемого собственным весом?
24. Как производится расчет на жесткость при растяжении и сжатии?
25. Какие напряжения возникают в круглом поперечном сечении бруса при кручении и как они направлены?
26. Как находится величина напряжения в произвольной точке круглого поперечного сечения при кручении бруса? Разберитесь с выводом формулы.
27. Возникают ли при кручении нормальные напряжения?
28. Каково соотношение между наибольшими нормальными и наибольшими касательными напряжениями в точке скручиваемого бруса? В каких точках и площадках возникают те и другие напряжения?
29. По каким напряжениям ведется расчет на прочность при кручении?
30. По какой формуле определяются наибольшие касательные напряжения при кручении бруса круглого поперечного сечения?
31. Чему равен полярный момент сопротивления круглого сечения?
32. Чему равен полярный момент сопротивления кольцевого сечения?
33. Как записывается условие прочности при кручении?
34. Как определяется величина угла закручивания?
35. Что называется жесткостью бруса при кручении?
36. Что называется относительным углом закручивания? Как он вычисляется?
37. Как формулируется закон Гука при кручении? Когда он справедлив?
38. Как производится расчет на жесткость при кручении?
39. Какие напряжения возникают в поперечном сечении бруса при чистом изгибе?
40. Как изменяются нормальные напряжения по высоте сечения балки?
41. Что называется нейтральной линией и где она проходит при прямом изгибе?
42. Как определяются нормальные напряжения в произвольной точке поперечного сечения балки?
43. Как определяются наибольшие нормальные напряжения в поперечном сечении балки?
44. Что называется осевым моментом сопротивления сечения?
45. Какие напряжения возникают в поперечном сечении балки при поперечном изгибе?
46. Как определяются касательные напряжения в поперечном сечении балки? Разберитесь с выводом формулы Д.И. Журавского.
47. По каким напряжениям производится расчет на прочность при изгибе?
48. Как записывается условие прочности при изгибе?
49. Как производится расчет на прочность балки из материала с разным сопротивлением при растяжении и сжатии?
50. Как определяется рациональное положение сечения балки из материала с разным сопротивлением при растяжении и сжатии?

51. В каких случаях производят дополнительную проверку балок на прочность по наибольшим касательным напряжениям, возникающим в поперечных сечениях? Как эту проверку выполняют?
52. Как определяются главные напряжения в точке балки при поперечном изгибе?
53. Как определяется положение главных площадок в точке балки при поперечном изгибе?
54. Как определяются максимальные касательные напряжения в точке балки при поперечном изгибе?
55. Как определяется положение площадок, в которых действуют максимальные касательные напряжения в точке балки при поперечном изгибе?
56. Как определяются перемещения в балках при изгибе?
57. Почему используемое нами дифференциальное уравнение упругой линии балки является приближенным?
58. Как определяются постоянные интегрирования при определении перемещений в балках? Каков их смысл?

Контрольная работа №3

Задача №11

Балка (рис. 11а) нагружена горизонтальной и вертикальной поперечными силами. Сечение балки показано на рис. 11б. Материал балки - сталь С255.

Из условия прочности определить допустимую нагрузку.

Исходные данные принять согласно табл. 11.

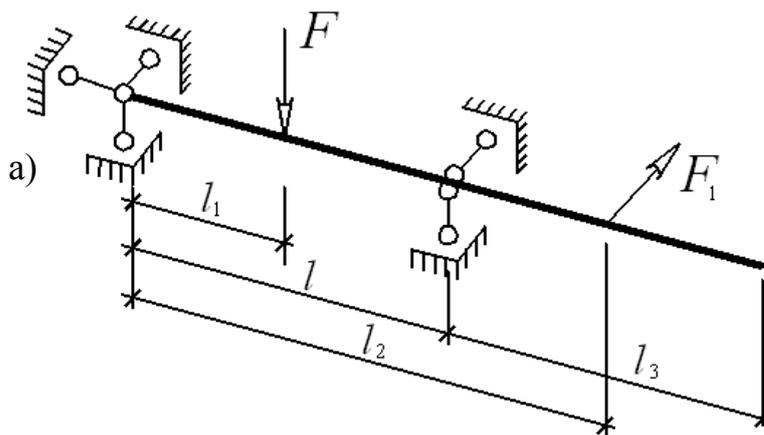


Рис. 11

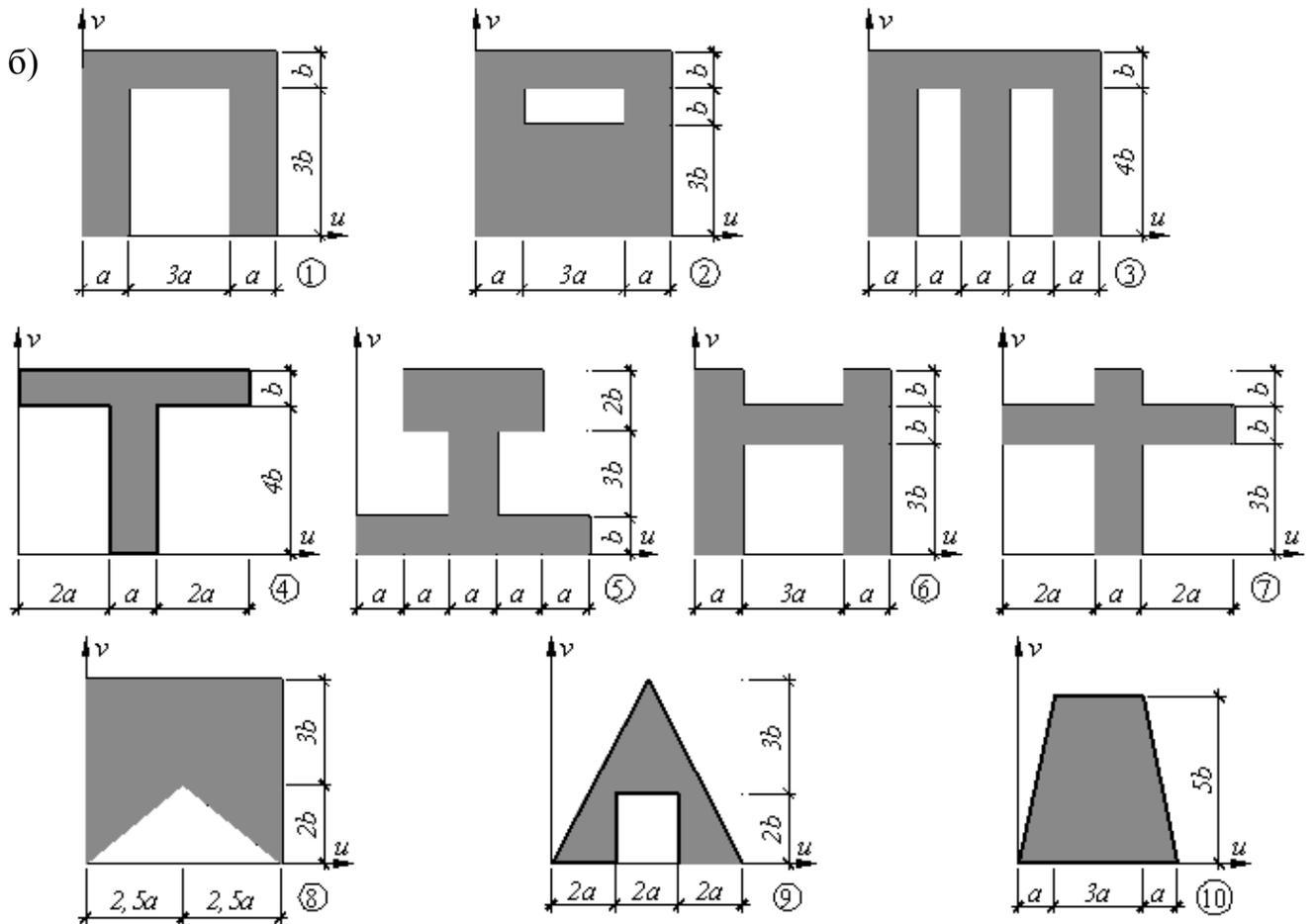


Рис. 11. (окончание)

Таблица 11

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта							
	1	2	3		4			Тип сечения
	\underline{l} м	\underline{a} см	\underline{b} см	\underline{F}_1 F	\underline{l}_1 l	\underline{l}_2 l	\underline{l}_3 l	
1	4,1	2,1	2,1	1	1,3	1,6	0,6	1
2	5,2	1,2	2,2	-2	1,8	1,3	0,8	2
3	3,3	2,3	2,3	3	0,25	0,75	0	3
4	4,4	2,4	2,4	-1	0,25	0,5	0	4
5	5,5	2,5	2,5	2	0,5	0,25	0	5
6	3,6	1,6	1,6	-3	0,5	1,25	0,25	6
7	4,7	1,7	1,7	1	1,3	0,5	0,3	7
8	5,8	1,8	1,8	-2	1,4	0,25	0,4	8
9	3,9	1,9	1,9	3	0,75	1,25	0,25	9
0	6,0	2,0	2,0	-1	1,5	0,75	0,5	10

Указания к задаче

Необходимо:

1. Построить эпюры изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях, изобразив их в аксонометрии.
2. Установить опасное сечение балки (или несколько возможных опасных сечений, если нельзя указать самое опасное).
3. Найти главные центральные оси поперечного сечения.
4. Изобразить в масштабе опасное сечение и действующие в нем изгибающие моменты в вертикальной и горизонтальной плоскостях, показать равнодействующий момент.
5. 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 надо вычислить нормальные напряжения в предполагаемых опасных точках и для опасной точки записать условие прочности.

Задача №12

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

Требуется:

1. Построить эпюры напряжений в поперечном сечении от каждого из внутренних силовых факторов.
2. Определить наибольшие растягивающие и сжимающие напряжения и построить суммарную эпюру напряжений.
3. Построить ядро сечения.

Исходные данные принять согласно табл. 12 и рис. 12.

Таблица 12

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта					
	1	2		3		4
	F , кН	$\frac{u_A}{a}$	$\frac{v_A}{b}$	a , см	b , см	Тип сеч.
1	110	0	3,0	11	16	1
2	120	0,5	3,5	12	17	2
3	130	1,0	4,0	13	18	3
4	140	1,5	4,5	14	19	4
5	150	2,0	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

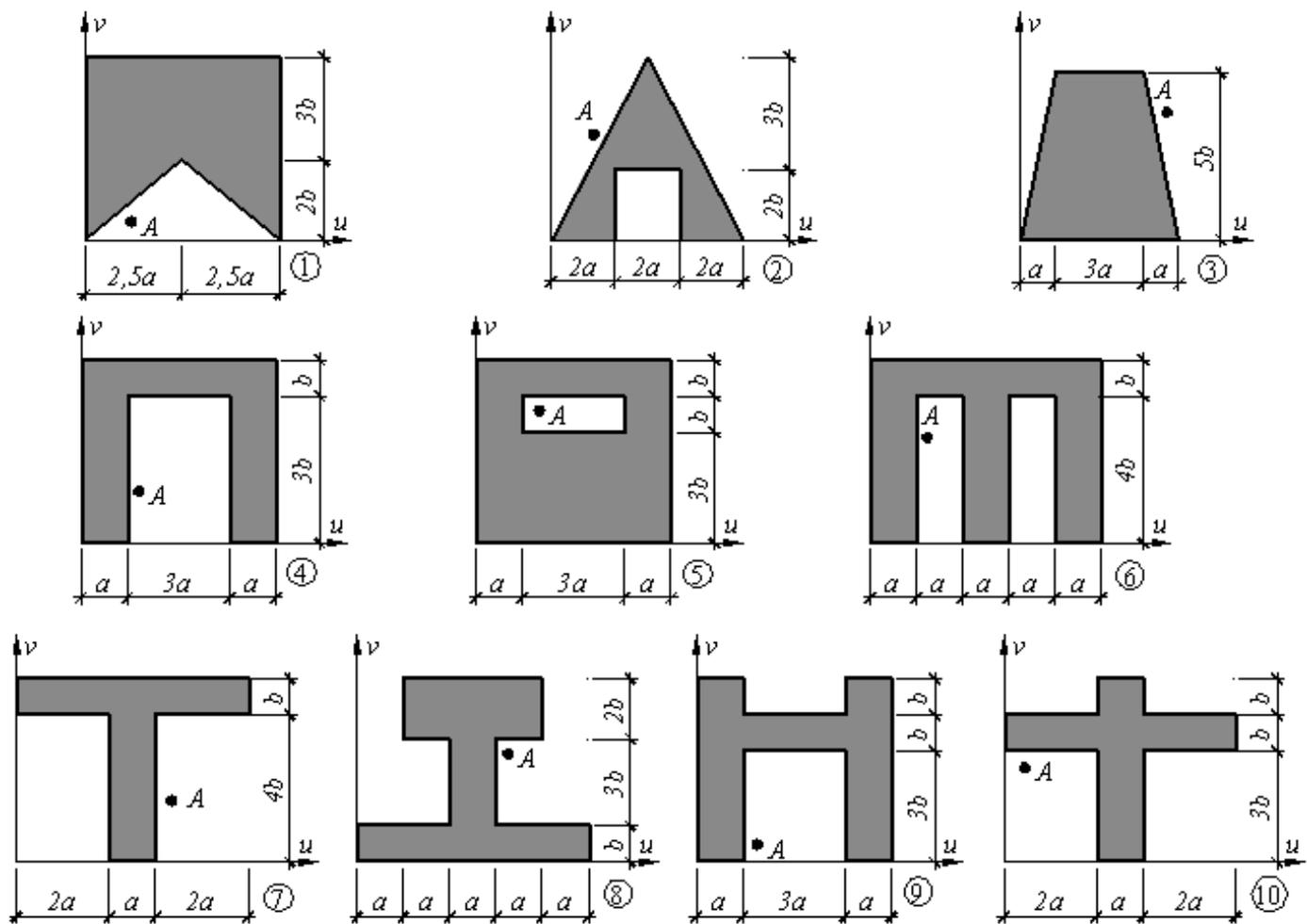


Рис. 12

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 проверьте 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 №13

Для одной из рам, изображенных на рис. 13, требуется:

1. Определить допустимую нагрузку, если стержни рамы имеют кольцевое сечение с диаметрами d_1 и D_1 ; материал – сталь С275.

2. При найденном значении нагрузки запроектировать раму из чугуна СЧ15 с кольцевым сечением с заданным соотношением диаметров d/D .

Параметр $l = 2$ м, остальные исходные данные принять согласно рис. 13 и табл. 13.

В задании должны быть представлены:

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

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

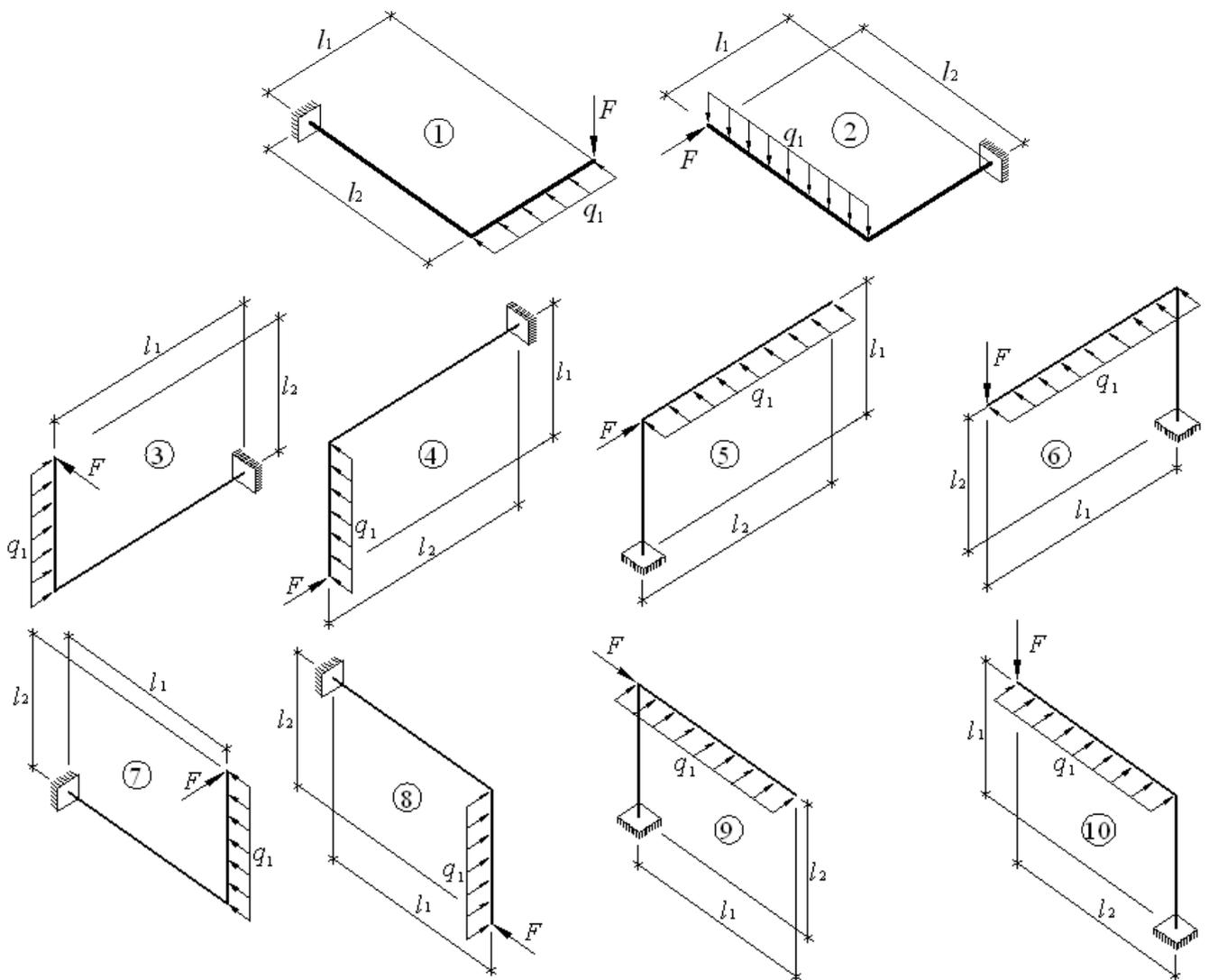


Рис. 13

Таблица 13

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта							
	1	2	3					4
	\underline{l}_1 l	\underline{l}_2 l	\underline{q}_1 q	\underline{F} ql	d_1 , см	D_1 , см	\underline{d} D	№ сх.
1	1	1	1	1	6	8	0,5	1
2	2	1	-1	-1	5	7,5	0,6	2
3	3	1	1	2	6	9	0,7	3
4	2	2	2	1	5	8	0,8	4
5	3	2	-1	-1	7	10	0,9	5
6	2	2	-2	-1	7	11	0,8	6
7	1	3	-1	1	6	10	0,7	7
8	2	3	1	1	7,5	10	0,6	8
9	3	3	2	2	7	9	0,5	9
0	4	4	-1	2	8	10	0,4	10

Контрольные вопросы

1. Что называется сложным сопротивлением?
2. Назовите 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, имеющим форму правильного многоугольника?
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 записывается уравнение нейтральной линии в поперечном сечении 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 при плоском косом изгибе?
16. Какой случай сложного сопротивления называется внецентренным растяжением или сжатием?

17. Какие внецентренно-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? Выведите соответствующие формулы.
19. Как определяется положение нейтральной линии при внецентренном сжатии? Сделайте вывод соответствующих формул.
20. Как перемещается нейтральная линия, когда координаты полюса силы возрастают или убывают по абсолютной величине?
21. Чему равно нормальное напряжение в центре тяжести поперечного сечения при внецентренном сжатии или растяжении?
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. Какие точки бруса круглого поперечного сечения являются опасными при растяжении (или сжатии) с кручением?
28. Как ведется расчет на прочность бруса круглого поперечного сечения при кручении с растяжением или сжатием?
29. Как ведется расчет на прочность бруса круглого поперечного сечения при изгибе с кручением и растяжением или сжатием?
30. Как определяются опасные точки в прямоугольном сечении в общем случае сложного сопротивления?
31. Что называется предельным состоянием материала? Какое состояние принимается в качестве предельного для пластичных и хрупких материалов?
32. Каково назначение теорий прочности?
33. Какое напряженное состояние и почему используется в качестве эквивалентного?
34. Что такое “эквивалентное напряжение”?
35. В чем сущность первой теории прочности? Какие опытные данные находятся в противоречии с этой теорией? В каких случаях допустимо применение этой теории?
36. В чем сущность второй теории прочности? Когда она может быть использована? В чем недостаток этой теории?
37. Как записывается формула третьей теории прочности? Укажите ее недостатки и область применения. Какой вид принимает эта формула при оценке прочности бруса?
38. В чем сущность четвертой теории прочности (удельной потенциальной энергии изменения формы)? Укажите область применения этой теории, ее недос-

татки. Какой вид принимает формула четвертой теории прочности при оценке прочности бруса?

39. В чем сущность теории прочности О.Мора? Каковы ее недостатки и область применения?

Контрольная работа № 4

Задача №14

Для балки, показанной на рис. 14а, с одним из сечений, изображенных на рис. 14б, требуется найти:

1. Предельную упругую нагрузку.
2. Допустимую нагрузку из расчета на прочность по напряжению в опасной точке.
3. Разрушающую нагрузку.
4. Допустимую нагрузку из расчета по несущей способности (по предельному равновесию).

Материал – сталь С345.

Исходные данные принять согласно табл. 14 и рис. 14.

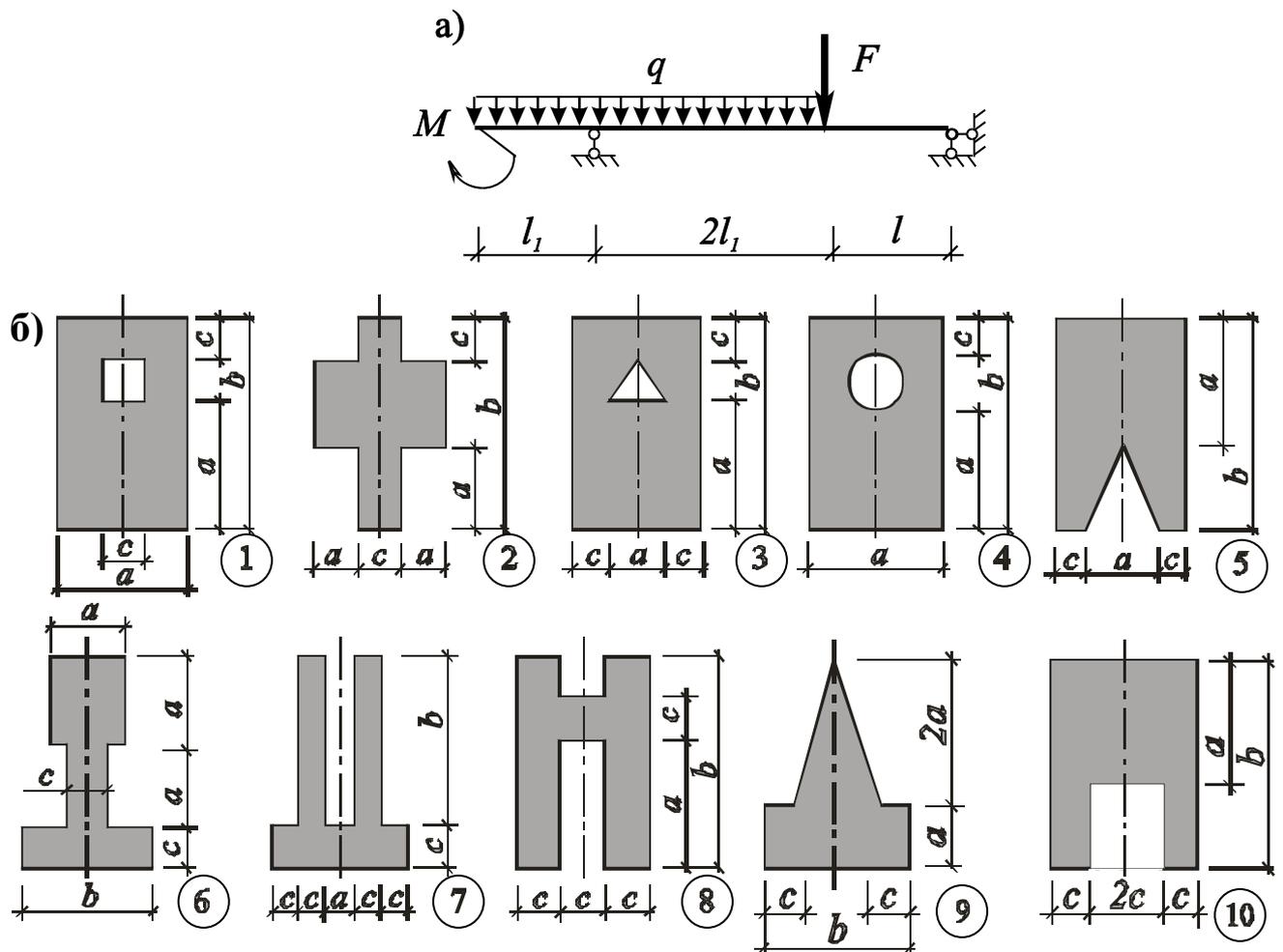


Рис. 14

Таблица 14

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта							
	1	2		3			4	
	l , м	b , см	a , см	$\frac{c}{b}$	$\frac{l_1}{l}$	$\frac{F}{ql}$	$\frac{M}{ql^2}$	Тип сечения
1	0,5	10	5	0,25	0,5	1	-2	1
2	1,0	12	6	0,2	0,75	-1	1	2
3	1,5	14	7	0,15	1	2	2	3
4	0,6	16	8	0,1	1,25	-2	-1	4
5	0,9	10	6	0,15	1,5	3	-3	5
6	1,2	12	7	0,2	1,75	-3	1,5	6
7	0,4	14	8	0,1	2	4	3	7
8	0,8	16	9	0,15	0,8	-4	2	8
9	1,6	14	9	0,2	1,2	5	-1,5	9
0	0,75	12	8	0,25	1,6	-5	4	10

Указания к задаче

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 нормативного сопротивления 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 σ – ϵ для малоуглеродистых и легированных сталей.
5. Чем определяется выбор вида идеализированной диаграммы?
6. Что представляет собой диаграмма Прандтля?
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 из идеального упруго-пластического материала при предельном значении момента?
9. Что представляет собой пластический шарнир?
10. Как определяется величина предельного изгибающего момента? Разберитесь с выводом этой формулы.

11. Как проходит нейтральная линия в сечении при предельном изгибающем моменте?
12. Как выводится условие для определения нейтральной линии в сечении при предельном изгибающем моменте?
13. Как определяется разрушающая нагрузка для статически определимой балки из идеального упруго-пластического материала?
14. Как определяется допустимая нагрузка для статически определимой балки из идеального упруго-пластического материала при расчете на прочность по методу предельного равновесия?
15. Как определяются зоны текучести в балке при изгибе?
16. Чем объясняется появление остаточных напряжений и деформаций после работы балки в упруго-пластической стадии?
17. Как определяются остаточные напряжения и деформации?

Задача №15

Для сжатого стержня, имеющего местные ослабления (штриховые линии на рис. 15б), 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. 15а, сечение – на рис. 15б. Расчет выполнять для выбранного предварительно рационального положения сечения по отношению к плоскостям возможной потери устойчивости (см. указания после задачи 15), которое необходимо показать в аксонометрии на чертеже.

Исходные данные принять согласно табл. 15 и рис. 15.

Примечание: При определении критического напряжения для стержней малой гибкости рекомендуется использовать эмпирическую формулу $\sigma_{cr} = a - b \cdot \lambda^2$. Коэффициент “а” равен пределу текучести (сталь) или временному сопротивлению на сжатие (бетон, древесина); коэффициент “b” найдите из условия равенства критических напряжений при $\lambda = \lambda_{il}$, вычисленных по указанной формуле и по формуле Эйлера, считая предел пропорциональности равным расчетному сопротивлению на сжатие.

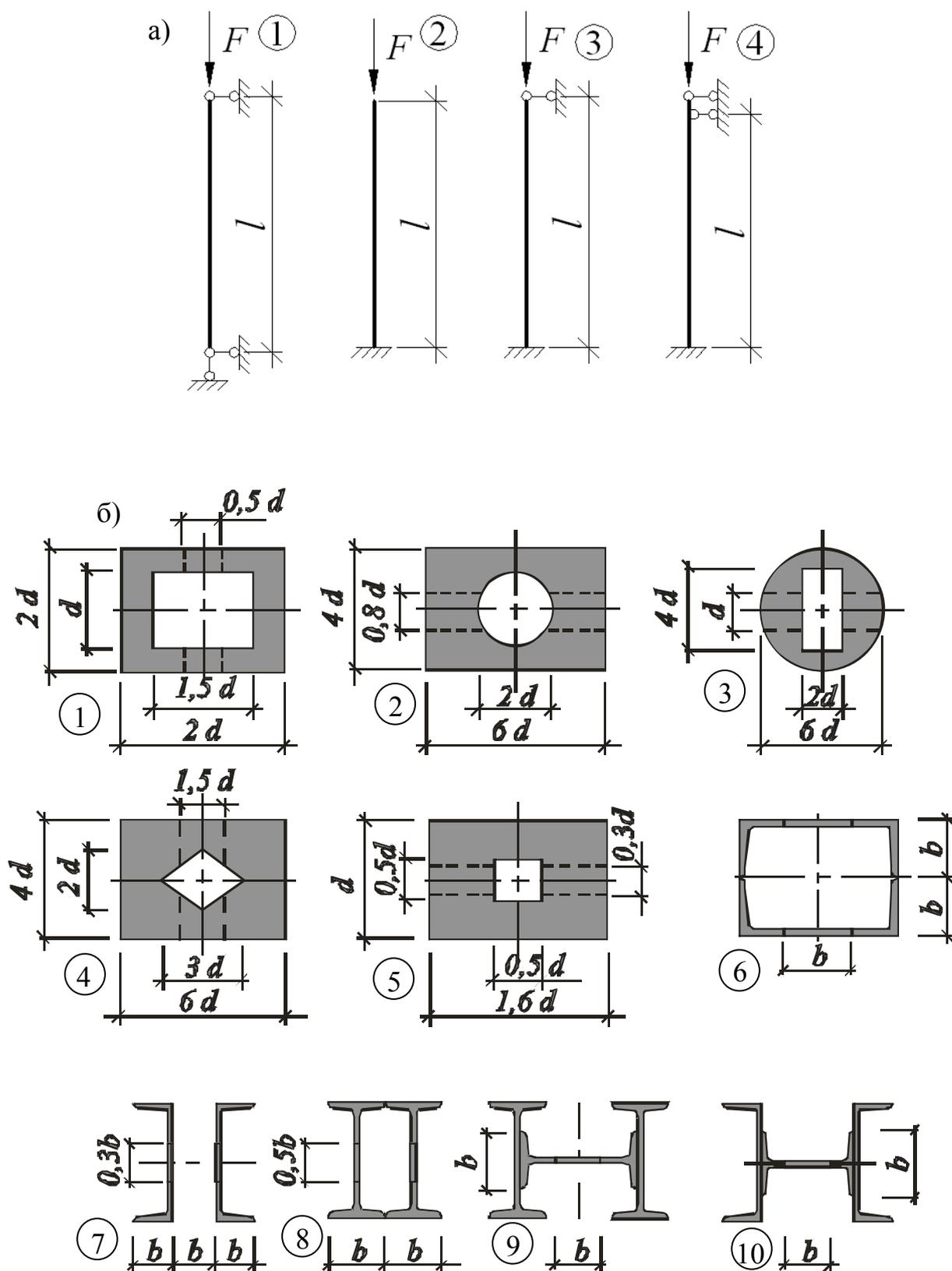


Рис. 15

Таблица 15

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта							
	1	2	3				4	
	l , м	Закр. в пл. zy	Закр. в пл. zx	Двутавр	Швеллер	d , см	Материал	Тип сеч.
1	3,1	1	1	16	40	11	Сосна	1
2	3,2	2	2	18	36	12	Ель	2
3	3,3	3	3	20	33	13	Кедр	3
4	3,4	4	4	22	30	14	Дуб	4
5	3,5	1	1	24	27	15	Пихта	5
6	3,6	2	2	27	24	16	Сталь С255	6
7	3,7	3	3	30	22	17	Сталь С285	7
8	3,8	4	4	20	20	18	Сталь С375	8
9	3,9	1	1	22	18а	19	Сталь С440	9
0	4,0	2	2	24	18	20	Сталь С540	10

Указания к задачам 15 и 16

Рациональное положение сечения выбирается из условия: большему 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 $\varphi = 0,5$. В следующих приближениях φ принимается равным среднему между принятым и фактическим в предыдущем приближении. Ускорить сходимость процесса можно, сдвигая несколько φ принятое от среднего в сторону фактического. Процесс приближений заканчивается, если перегрузка не превышает 5%. Недогрузку (любую) надо обосновать.

Задача №16

Для сжатого стержня требуется:

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

Варианты закрепления стержня в главных плоскостях показаны на рис. 16а, сечение – на рис. 16б. Положение сечения по отношению к плоскостям возможной потери устойчивости принимать рациональное и отразить это в аксонометрии на чертеже.

Исходные данные принять согласно табл. 16 и рис. 16.

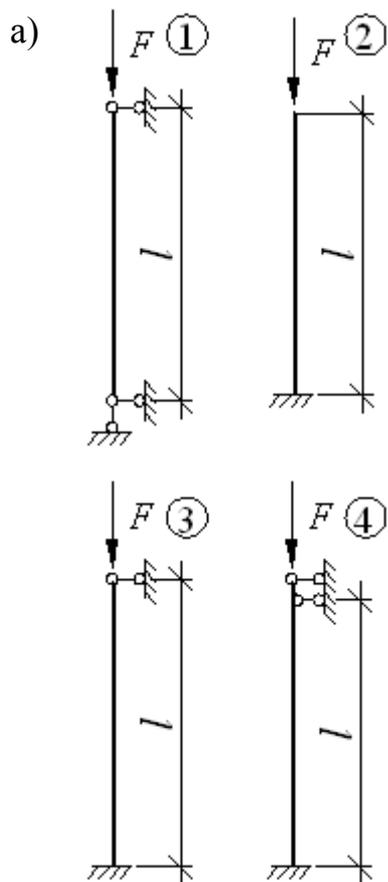


Таблица 16

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта					
	1	2	3	4		
	l , м	Закр. в пл. zy	Закр. в пл. zx	F , кН	Материал	Тип сеч.
1	4,0	2	3	250	Сталь С245	1
2	3,9	3	4	300	Сталь С345	2
3	3,8	4	1	700	Сталь С390	3
4	3,7	1	2	1500	Сталь С540	4
5	3,6	2	3	800	Сталь С235	5
6	3,5	3	4	150	Сосна	6
7	3,4	4	1	350	Ель	7
8	3,3	1	2	600	Кедр	8
9	3,2	2	3	1200	Дуб	9
0	3,1	3	4	1800	Пихта	10

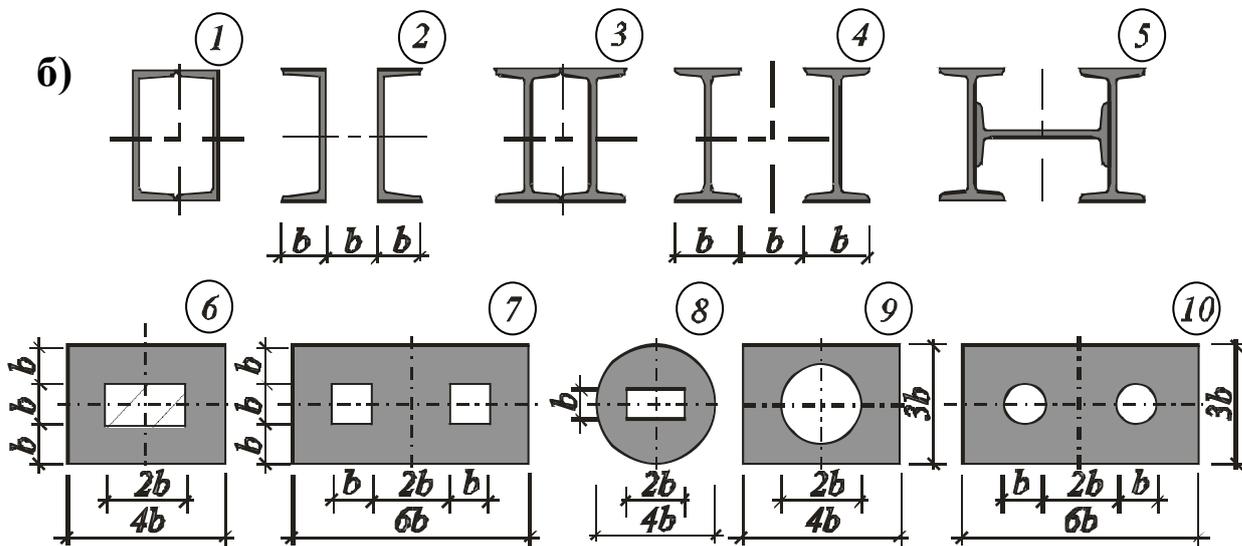


Рис. 16

Контрольные вопросы

1. Какое состояние системы называется устойчивым?
2. В чем заключается явление потери устойчивости центрально сжатого стержня?
3. Что называется критической силой?

4. Какой вид имеет формула Эйлера, определяющая величину критической силы?
5. В каких пределах применима формула Эйлера?
6. Как влияет жесткость EI поперечного сечения стержня на величину критической силы?
7. Как влияет длина стержня на величину критической силы?
8. Как учитывается при определении критической силы влияние способа закрепления концов стержня?
9. Что представляет собой коэффициент приведения длины μ ? Как определяется коэффициент приведения длины и чему он равен при различных способах закрепления концов стержней?
10. Сформулируйте два правила, которыми следует руководствоваться при определении μ .
11. Что такое “критическое напряжение”?
12. Что называется гибкостью стержня?
13. Что на диаграмме критических напряжений понимается под предельной гибкостью и как она определяется?
14. Как определяется величина критической силы при напряжениях, превышающих предел пропорциональности?
15. Какой вид имеет условие устойчивости центрально сжатого стержня?
16. Какая площадь поперечного сечения стержня подставляется в условие устойчивости?
17. Какое ослабление стержня называется местным?
18. Почему местные ослабления мало влияют на устойчивость стержня?
19. Что представляет собой коэффициент φ , как он называется и определяется?
20. Как подбирается сечение стержня при расчете на устойчивость с использованием коэффициента φ ?
21. Как подбирается сечение стержня из условия устойчивости при заданном коэффициенте запаса?
22. Как определяется коэффициент запаса устойчивости?

Задача № 17

На двутавровую стальную балку, свободно лежащую на двух жестких опорах (рис. 17), с высоты h падает груз F .

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

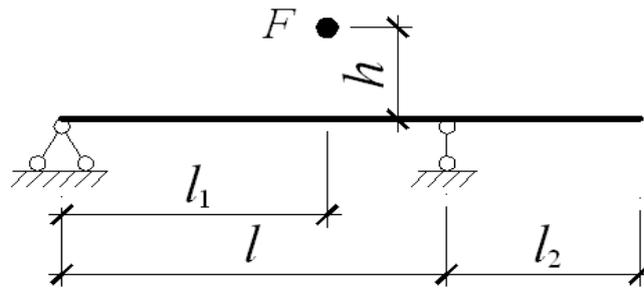


Рис. 17

Таблица 17

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта						
	1	2		3		4	
	α см/кН	Дву- тавр	l , м	F , кН	h , см	$\frac{l_1}{l}$	$\frac{l_2}{l}$
1	2,1	20	3,1	1,1	11	2/3	0
2	2,2	22	3,2	1,2	12	1/2	0
3	2,3	24	3,3	1,3	13	1/3	0
4	2,4	27	3,4	1,4	14	1/4	0
5	2,5	30	3,5	1,5	15	1/5	0
6	1,6	33	3,6	0,6	6	3/4	0
7	1,7	36	3,7	0,7	7	4/5	0
8	1,8	40	3,8	0,8	8	6/5	1/5
9	1,9	18	3,9	0,9	9	5/4	1/4
0	2,0	16	4,0	1,0	10	4/3	1/3

Указания к задаче

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 при ударе без учета массы упругой системы.
10. Что такое v_{st} в формуле для определения коэффициента динамичности?
11. Как определяется v_{st} при растягивающем ударе?
12. Как определяется v_{st} 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. Зависит ли напряжение при ударе от модуля упругости материала системы, подвергающейся удару?

ПРИЛОЖЕНИЕ

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ

1. Сталь

1.1. Расчетные сопротивления, МПа

Таблица 1

Марка стали	Вид деформации	
	Растяжение, сжатие, изгиб	Сдвиг
	R_y	R_s
С235	230	130
С245	240	135
С255	250	145
С275	270	155
С285	280	160
С345	335	195
С375	365	210
С390	380	220
С440	430	250
С540	515	325

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

1.2. Нормативные сопротивления на растяжение и сжатие, МПа

Таблица 2

Марка стали	С235	С245	С255	С275	С285
R_{yn}	235	245	255	275	285
Марка стали	С345	С375	С390	С440	С540
R_{yn}	345	375	390	440	540

2. Чугун СЧ 15

Нормативное сопротивление растяжению $R_{ut} = 100$ МПа, сжатию $R_{uc} = 220$ МПа.

Расчетное сопротивление растяжению $R_t = 55$ МПа, сжатию $R_c = 160$ МПа.

3. Древесина

3.1. Нормативные и расчетные сопротивления на сжатие вдоль волокон

Таблица 3

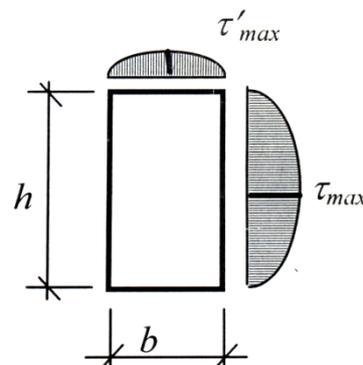
Порода	Сосна, ель	Кедр	Пихта	Дуб
Нормативное сопротивление, $R_{ис}$	30	27	24	39
Расчетное сопротивление, R_c	15	13,5	12,0	19,5

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

КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЛЯ РАСЧЕТА НА КРУЧЕНИЕ БРУСА ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

$$I_t = \alpha \cdot b^4, \quad W_t = \beta \cdot b^3, \quad \tau'_{max} = \gamma \cdot \tau_{max}$$

h/b	α	β	γ
1,0	0,140	0,208	1,0
1,5	0,294	0,346	0,859
2,0	0,457	0,493	0,795
3,0	0,790	0,801	0,753
4,0	1,123	1,128	0,745
6,0	1,789	1,789	0,743
8,0	2,456	2,456	0,742
10,0	3,123	3,123	0,742



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

1. Сталь

Таблица 4

Гибкость λ	Коэффициенты φ для элементов из стали с R_y , МПа									
	230	240	250	270	280	335	365	380	430	515
10	987	987	986	986	985	984	983	982	981	979
20	963	962	961	959	959	954	951	950	946	941
30	933	931	929	926	924	915	910	908	901	891
40	897	894	891	885	883	869	862	859	848	833
50	856	852	848	840	836	817	807	802	788	766
60	810	805	800	789	785	759	745	735	702	652
70	761	754	748	734	724	674	650	638	602	545
80	698	686	674	652	641	588	561	549	508	445
90	624	612	599	576	564	507	479	465	421	353
100	556	542	529	505	493	433	403	388	343	289
110	492	478	465	439	427	364	334	321	286	241
120	433	419	405	379	366	307	283	273	243	205
130	379	364	348	324	313	264	244	234	209	177
140	328	315	303	281	272	230	212	204	182	154
150	287	276	266	247	239	202	186	180	160	136
160	254	244	235	219	212	179	165	159	142	121
170	227	218	210	195	189	160	148	143	127	108
180	204	196	189	176	170	144	133	128	115	098
190	184	177	171	159	154	130	121	116	104	089
200	168	161	155	145	140	119	110	106	095	081
210	153	147	142	132	128	109	101	097	087	074
220	141	135	130	122	118	100	093	089	080	069
230	130	125	120	112	109	092	086	083	074	064
240	120	116	111	104	101	086	080	077	069	059
250	112	107	103	097	094	080	074	072	064	055
260	104	100	096	090	087	075	069	067	060	052
270	097	094	090	084	082	070	065	063	056	049
280	091	088	085	079	077	066	061	059	053	046
290	086	082	080	074	072	062	057	056'	050	043
300	081	078	075	070	068	058	054	052	047	041

Примечание. Значения коэффициентов φ увеличены в 1000 раз.

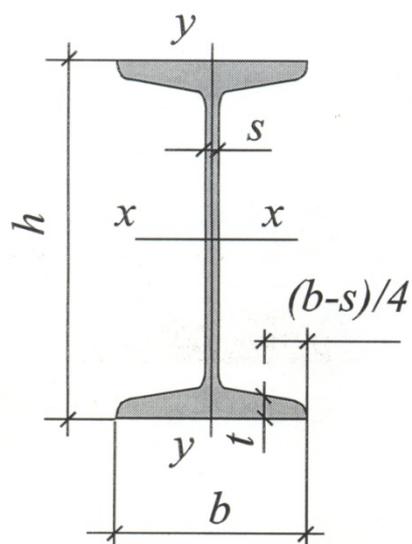
2. Древесина

Для древесины коэффициент φ определяется по формулам:

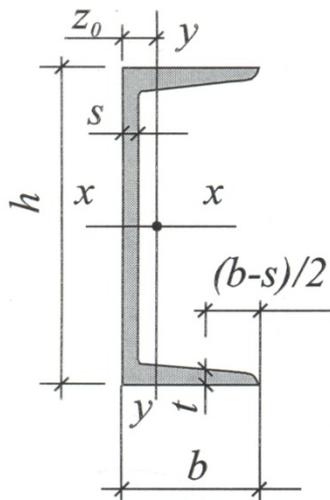
при $\lambda < 70$: $\varphi = 1 - 0,8 \cdot (\lambda / 100)^2$, при $\lambda \geq 70$: $\varphi = 3100 / \lambda^2$.

Сортамент прокатной стали

Двутавры стальные горячекатанные (по ГОСТ 8239-89)



№ про- филя	Размеры				Пло- щадь сече- ния	Справочные величины						
	h	b	s	t		J_x	W_x	i_x	S_x	J_y	W_y	i_y
	мм					см ²	см ⁴	см ³	см	см ³	см ⁴	см ³
10	100	55	4,5	7,2	12,0	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	160	81	5,0	7,8	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,70
18	180	90	5,1	8,1	23,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
20	200	100	5,2	8,4	26,8	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07
22	220	110	5,4	8,7	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27
24	240	115	5,6	9,5	34,8	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37
27	270	125	6,0	9,8	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54
30	300	135	6,5	10,2	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69
33	330	140	7,0	11,2	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79
36	360	145	7,5	12,3	61,9	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89
40	400	155	8,3	13,0	72,6	19062	953	16,2	545	667	86,1	3,03
45	450	160	9,0	14,2	84,7	27696	1231	18,1	708	808	101	3,09
50	500	170	10,0	15,2	100	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,23
55	550	180	11,0	16,5	118	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39
60	600	190	12,0	17,8	138	76806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54

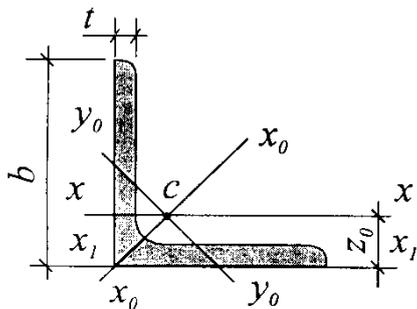


Швеллеры стальные горячекатанные

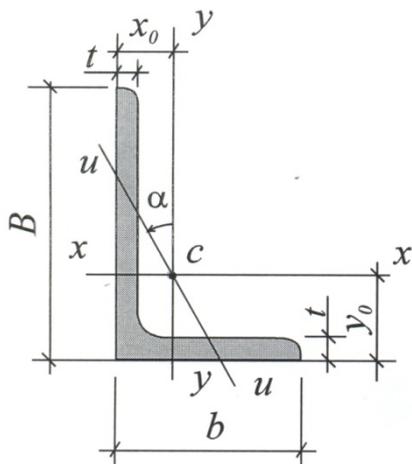
(по ГОСТ 8240-89)

№ про- филя	Размеры				Пло- щадь сече- ния	Справочные величины							
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	<i>t</i>		J_x	W_x	i_x	S_x	J_y	W_y	i_y	z_0
	мм					см ²	см ⁴	см ³	см	см ³	см ⁴	см ³	см
5	50	32	4,4	7,0	6,16	22,8	9,10	1,92	5,59	5,61	2,75	0,95	1,16
6,5	65	36	4,4	7,2	7,51	48,6	15,0	2,54	9,00	8,70	3,68	1,08	1,24
8	80	40	4,5	7,4	8,98	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10	100	46	4,5	7,6	10,9	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	7,8	13,3	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	140	58	4,9	8,1	15,6	491	70,2	5,60	40,8	45,4	11,0	1,70	1,67
16	160	64	5,0	8,4	18,1	747	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87	1,80
16a	160	68	5,0	9,0	19,5	823	103	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2,00
18	180	70	5,1	8,7	20,7	1090	121	7,24	69,8	86,0	17,0	2,04	1,94
18a	180	74	5,1	9,3	22,2	1190	132	7,32	76,1	105	20,0	2,18	2,13
20	200	76	5,2	9,0	23,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,20	2,07
22	220	82	5,4	9,5	26,7	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,21
24	240	90	5,6	10,0	30,6	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,60	2,42
27	270	95	6,0	10,5	35,2	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,47
30	300	100	6,5	11,0	40,5	5810	387	12,0	224	327	43,6	2,84	2,52
33	330	105	7,0	11,7	46,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,59
36	360	110	7,5	12,6	53,4	10820	601	14,2	350	513	61,7	3,10	2,68
40	400	115	8,0	13,5	61,5	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,75

Уголки стальные горячекатанные равнополочные (по ГОСТ 8509-86)



№ про- филя	Размеры		Пло- щадь сече- ния	Справочные величины							
	b	t		J_x	i_x	J_{x0} max	i_{x0} max	J_{y0} min	i_{y0} min	J_{x1}	z_0
	мм			см ⁴	см	см ⁴	см	см ⁴	см	см ⁴	см
5	50	4	3,89	9,21	1,54	14,6	1,94	3,80	0,99	16,6	1,38
		5	4,80	11,2	1,53	17,8	1,92	4,63	0,98	20,9	1,42
5,6	56	4	4,38	13,1	1,73	20,8	2,18	5,41	1,11	23,3	1,52
		5	5,41	16,0	1,72	25,4	2,16	6,59	1,10	29,2	1,57
6,3	63	4	4,96	18,9	1,95	29,9	2,45	7,81	1,25	33,1	1,69
		5	6,13	23,1	1,94	36,6	2,44	9,52	1,25	41,5	1,74
		6	7,28	27,1	1,93	42,9	2,43	11,2	1,24	50,0	1,78
7	70	5	6,86	31,9	2,16	50,7	2,72	13,2	1,39	56,7	1,90
		6	8,15	37,6	2,15	59,6	2,71	15,5	1,38	68,4	1,94
7,5	75	5	7,39	39,5	2,31	62,6	2,91	16,4	1,49	69,6	2,02
		6	8,78	46,6	2,30	73,9	2,90	19,3	1,48	83,9	2,06
		7	10,1	53,3	2,29	84,6	2,89	22,1	1,48	98,3	2,10
8	80	5,5	8,63	52,7	2,47	83,6	3,11	21,8	1,59	93,2	2,17
		6	9,38	57,0	2,47	90,4	3,11	23,5	1,58	102	2,19
		7	10,8	65,3	2,45	104	3,09	27,0	1,58	119	2,23
9	90	6	10,6	82,1	2,78	130	3,50	34,0	1,79	145	2,43
		7	12,3	94,3	2,77	150	3,49	38,9	1,78	169	2,47
		8	13,9	106	2,76	168	3,48	43,8	1,77	194	2,51
10	100	7	13,8	131	3,08	207	3,88	54,2	1,98	231	2,71
		8	15,6	147	3,07	233	3,87	60,9	1,98	265	2,75
		10	19,2	179	3,05	284	3,84	74,1	1,96	333	2,83
		12	22,8	209	3,03	331	3,81	86,9	1,95	402	2,91
11	110	7	15,2	176	3,40	279	4,29	72,7	2,19	308	2,96
		8	17,2	198	3,39	315	4,28	81,8	2,18	353	3,00
12,5	125	8	19,7	294	3,87	467	4,87	122	2,49	516	3,36
		9	22,0	327	3,86	520	4,86	135	2,48	582	3,40
		10	24,3	360	3,85	571	4,84	149	2,47	649	3,45
		12	28,9	422	3,82	670	4,82	174	2,46	782	3,53
14	140	9	24,7	466	4,34	739	5,47	192	2,79	818	3,78
		10	27,3	512	4,33	814	5,46	211	2,78	911	3,82
		12	32,5	602	4,31	957	5,43	248	2,76	1097	3,90
16	160	10	31,4	774	4,96	1229	6,25	319	3,19	1356	4,30
		11	34,4	844	4,95	1341	6,24	348	3,18	1494	4,35
		12	37,4	913	4,94	1450	6,23	376	3,17	1633	4,39
		14	43,6	1046	4,92	1662	6,20	431	3,16	1911	4,47
		16	49,1	1175	4,89	1866	6,17	485	3,14	2191	4,55
18	180	11	38,8	1216	5,60	1933	7,06	500	3,59	2128	4,85
		12	42,2	1317	5,59	2093	7,04	540	3,58	2324	4,89



Уголки стальные горячекатанные неравнополочные (по ГОСТ 8510-86)

№ про- филя	Размеры			Пло- щадь сече- ния	Справочные величины							
	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>t</i>		J_x	i_x	J_y	i_y	J_u min	tg α	x_0	y_0
	мм			см ²	см ⁴	см	см ⁴	см	см ⁴		см	см
5/3,2	50	32	4	3,17	7,98	1,59	2,56	0,90	1,52	0,401	0,76	1,65
7,5/5	75	50	5	6,11	34,8	2,39	12,5	1,43	7,24	0,436	1,17	2,39
9/5,6	90	56	6	8,54	70,6	2,88	21,2	1,58	12,7	0,384	1,28	2,95
10/6,3	100	63	6	9,58	98,3	3,20	30,6	1,79	18,2	0,393	1,42	3,23
			7	11,1	113	3,19	35,0	1,78	20,8	0,392	1,46	3,28
			8	12,6	127	3,18	39,2	1,77	23,4	0,391	1,50	3,32
11/7	110	70	8	13,9	172	3,51	54,6	1,98	32,3	0,400	1,64	3,61
12,5/8	125	80	7	14,1	227	4,01	73,7	2,29	43,4	0,407	1,80	4,01
			8	16,0	256	4,0	83	2,28	48,8	0,406	1,84	4,05
			10	19,7	312	3,98	100	2,26	59,3	0,404	1,92	4,14
14/9	140	90	8	18,0	364	4,49	120	2,58	70,3	0,411	2,03	4,49
			10	22,2	444	4,47	146	2,56	85,5	0,409	2,12	4,58
16/10	160	100	9	22,9	606	5,15	186	2,85	110	0,391	2,24	5,19
			10	25,3	667	5,13	204	2,84	121	0,390	2,28	5,23
			12	30,0	784	5,11	239	2,82	142	0,388	2,36	5,32
18/11	180	110	10	28,3	952	5,80	276	3,12	165	0,376	2,44	5,88
			12	33,7	1123	5,77	324	3,10	194	0,374	2,52	5,97
20/12,5	200	125	11	34,9	1449	6,45	446	3,58	264	0,392	2,79	6,50
			12	37,9	1568	6,43	482	3,57	285	0,392	2,83	6,54
			14	43,9	1801	6,41	551	3,54	327	0,390	2,91	6,62
			16	49,8	2026	6,38	617	3,52	367	0,388	2,99	6,71

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.....	3
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА	
Часть 1	4
Часть 2.	7
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	10
УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ	11
ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ	
Контрольная работа № 1	13
Контрольная работа №2.....	21
Контрольная работа №3.....	28
Контрольная работа № 4.....	35
ПРИЛОЖЕНИЕ	44