

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Брянский государственный аграрный университет»

Брасовский промышленно - экономический техникум

Е.Г. Чапурина

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Учебно-методическое пособие

Брянская область 2015

УДК 372.862
ББК 74.57
Ч 19

Чапурина, Е.Г. **Техническая механика**: учебно-методическое пособие по выполнению практических работ / Е.Г. Чапурина. – Локоть: Брасовский филиал ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, 2015.- 78 с.

В пособии приведен перечень практических работ по всем разделам рабочей программы дисциплины, определены объем времени на их выполнение, формы выполнения и контроля. К каждому виду работы даны методические указания и рекомендации по выполнению приведенных в пособии заданий, а также примеры их выполнения.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 08.02.01 «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений»

Рецензенты:

Астахова О.М., преподаватель технических дисциплин (Брасовский филиал ФГБОУ ВО Брянский ГАУ)

Другова Г.Е., методист (Брасовский филиал ФГБОУ ВО Брянский ГАУ)

Рекомендовано к изданию решением учебно-методическим советом филиала ФГБОУ ВО «Брянский аграрный университет» - Брасовский промышленно-экономический техникум от 25.05.2015 года, протокол № 5.

© ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, 2015
© Чапурина Е.Г., 2015

Содержание:**стр.**

Введение.....	4
Перечень практических занятий по дисциплине	5
Критерии выполнения студентом практических заданий.....	6
Практические работы:	
№1-2. Решение задач на равновесие. Расчетно-графическая работа «Определение усилий в стержнях конструкций».....	7
№3-4. Решение задач на равновесие плоской системы произвольно расположенных сил. Расчетно-графическая работа « Определение опорных реакций».....	12
№5. Расчетно-графическая работа « Определение центра тяжести сложных и составных сечений».....	15
№6. Механические испытания материалов. Диаграммы испытаний.....	19
№7-8. Расчеты на прочность по допускаемым напряжениям и предельным состояниям. Расчетно-графическая работа « Расчет ступенчатого бруса».....	21
№9. Растяжение образца из низкоуглеродистой стали.....	25
№10. Расчет заклепочных и болтовых соединений.....	28
№11-12. Решение задач с применением сортамента прокатных профилей. Расчетно-графическая работа « Определение моментов инерции сложных фигур».....	31
№13. Построение эпюр Q и M при простом и сложном нагружении балки.....	34
№14. Определение прогибов и углов поворота сечений балки.....	38
№15. Определение изгиба деревянной балки до разрушения.....	41
№16-17. Решение задач на построение эпюр Q и M для балки. Расчетно- графическая работа « Построение эпюр Q и M для балки при изгибе».....	44
№18. Расчет напряжения в поперечном сечении бруса, угла закручивания. Расчет валов на прочность.....	46
№19. Определение критической силы.....	49
№20. Анализ геометрической неизменяемости плоских стержневых систем.....	54
№21. Расчетно - графическая работа « Расчет шарнирной балки».....	57
№22. Построение эпюр продольных, поперечных сил и изгибающих моментов для рам.....	59
№23. Расчетно- графическая работа « Графическое определение усилий в стержнях ферм».....	63
№24. Расчетно- графическая работа «Расчет статически неопределимой плоской рамы с одной лишней неизвестной».....	67
№25. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов для неразрезных балок.....	72
Перечень рекомендуемой литературы.....	77

ВВЕДЕНИЕ

Прочность, осознанность и действенность знаний обучающихся наиболее эффективно обеспечивается при помощи активных методов. Среди них важное место занимают практические занятия по решению задач и конкретных правовых ситуаций. Следует подчеркнуть, что само содержание учебной программы при ограничении времени требует не столько запоминания, сколько развития умений и навыков самостоятельной работы с учебной литературой .

Решая эти задачи, организуется проведение практических занятий, в ходе которых разбираются и вырабатываются практические навыки применения полученных знаний.

Методические рекомендации направлены на оказание методической помощи студентам при проведении практических занятий.

Для решения предлагаемых ситуаций и выполнения задания практической работы требуется хорошо знать изучаемый материал, а также пользоваться дополнительной литературой и Интернет-ресурсами.

При выполнении практических работ необходимым является наличие умения анализировать, сравнивать, обобщать, делать выводы. Решение задачи должно быть аргументированным, ответы на задания представлены полно и аргументировано.

Данные методические рекомендации преследуют следующие цели:

- расширение и углубление знаний, полученных студентами при изучении теоретического материала данной темы;

- обучение студентов правильно применять полученные знания для решения практических задач.

Для достижения этих целей, а также в связи с необходимостью повышения эффективности и качества учебного процесса, теоретические положения систематизируются с конкретными примерами и конкретными ситуациями.

**Перечень практических занятий
по дисциплине «Техническая механика»**

№ темы	Содержание практических занятий	Количество часов
1.2	Решение задач на равновесие Расчетно-графическая работа «Определение усилий в стержнях конструкции»	2 2
1.4	Решение задач на равновесие плоской системы произвольно расположенных сил Расчетно-графическая работа «Определение опорных реакций»	2 2
1.6	Расчетно-графическая работа «Определение центра тяжести сложных и составных сечений»	2.
2.2	Механические испытания материалов. Диаграммы испытаний. Расчеты на прочность по допускаемым напряжениям и предельным состояниям. Расчетно-графическая работа «Расчет ступенчатого бруса» Растяжение образца из низкоуглеродистой стали	2. 2. 2. 2.
2.3	Расчет заклепочных болтовых соединений	2
2.4	Решение задач с применением сортамента прокатных профилей Расчетно-графическая работа «Определение моментов инерции сложных фигур»	2 2
2.5	Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов при простом и сложном нагружении балки Определение прогибов и углов поворота сечений балки Определение изгиба деревянной балки до разрушения Решение задач на построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов для балки Расчетно-графическая работа «Построение эпюр Q и M для балки при изгибе»	2 2 2 2 2
2.6	Расчет напряжения в поперечном сечении бруса, угла закручивания. Расчет валов на прочность	2
2.8	Определение критической силы	2
3.2	Анализ геометрической неизменяемости плоских стержневых систем	2
3.3	Расчетно-графическая работа «Расчет шарнирной балки»	2
3.4	Построение эпюр продольных, поперечных сил и изгибающих моментов для рам	2
3.6	Расчетно-графическая работа «Графическое определение усилий в стержнях ферм»	2
3.8	Расчетно-графическая работа «Расчет статически неопределимой плоской рамы с одной лишней неизвестной»	2
3.9	Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов для неразрезных балок	2
	Итого	50

Критерии выполнения студентом практических заданий

№ п/п	Оцениваемые навыки	Метод оценки	«Отлично»	«Неудовлетворительно»
1	Отношение к работе, умение организовать работу	Наблюдение руководителя, просмотр материалов	Работа выполнена в срок. Студент точно понимает цель задания. Работа выполнена с минимальной помощью или без нее	Демонстрирует безразличие к выполняемой работе. Требуется постоянное напоминание для выполнения, не выполняет требования задания. Требуется дополнительная проверка, подтверждающая самостоятельность выполнения
2.	Качественное наполнение структурных разделов работы	Проверка практической работы	Содержание разделов соответствует их названию. Собрана полная, необходимая информация. Правильно реализует алгоритмы решения по исходным данным	Содержание разделов не соответствует их названию. Использованная информация и исходные данные отрывисты и второстепенны. Полученные результаты не внушают доверия и требуют дополнительной проверки
3.	Умение использовать полученные знания и навыки при реализации задания практической работы	Проверка работы, собеседование	Свободно использует полученные знания для практической работы,	Не способен применить полученные ранее знания (даже после консультаций) из соответствующих дисциплин для решения конкретных задач практической работы. Не способен использовать знания из одного раздела при решении задач последующих разделов
4.	Достаточность объема используемой литературы и правовых источников	Проверка работы, собеседование	При подготовке и выполнении практической работы использован достаточный объем учебной литературы и правовых источников	При подготовке и выполнении практической работе учебная литература и правовые источники не использовались или использовались недостаточно
5.	Умение обобщать, анализировать и делать выводы	Проверка работы, собеседование	Работа выполнена в соответствии с методикой, действующей нормативной базой	Работа выполнена с ошибками, использована устаревшая нормативная база
6.	Уровень общей профессиональной грамотности	Проверка работы	Умелое использование профессиональной терминологии, содержит ссылки на правовые источники	Неумение пользоваться профессиональной терминологией, отсутствие ссылок на правовые источники
7.	Оформление работы	Проверка работы	Студент демонстрирует аккуратность соблюдения применяемых методов и приемов, имеются все данные	Работа выполнена и оформлена небрежно, без соблюдения установленных требований

Практическая работа № 1-2 тема 1.2.

Тема: «Решение задач на равновесие» Расчетно-графическая работа «Определение усилий в стержнях конструкций»

Цель: Выработать умения оперировать полученными знаниями при решении задач на равновесие плоской системы сходящихся сил.

Оборудование:

тетрадь для практических работ, калькулятор, инструкционная карта, чертежные принадлежности.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач.

Время на выполнение работы: 4 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы № 1-2

Практическая работа выполняется обучающимися при помощи преподавателя, так как для принятия решения необходимо внимательно прочесть условия задания и проанализировать их. Выделить основные моменты, необходимые для принятия правильного решения. С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов на вопросы последующих заданий.

Далее обучающиеся работают самостоятельно. Для того, чтобы преподаватель смог проконтролировать ход выполнения работы, степень выработки основных умений и навыков, и своевременно исправить ошибки при принятии решения по вопросам задания, после выполнения каждого задания рекомендуется коллективно (всей учебной группой) проанализировать ответы обучающихся. При этом необходимо рассмотреть как правильные ответы, так и неправильные.

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту.
3. На основе повторенного материала выполняют задание.
4. Излагают выполнение задания в письменном виде .

При выполнении работы следует помнить, что непосредственное применение условий равновесия в геометрической форме дает наиболее простое решение для системы трех сходящихся сил. При наличии в системе четырех и более сил рациональнее применять аналитический метод, который является универсальным и применяется чаще, всего. При аналитическом методе решение

этих задач выполняется на основе уравнений равновесия по следующему плану:

первый этап - выделяют объект равновесия - тело или точку, где пересекаются линии действия всех сил, т.е. точку, равновесие которой в данной задаче следует рассмотреть;

второй этап - к выделенному объекту равновесия прикладывают заданные силы;

третий этап - выделенную точку или тело освобождают от связей, их действие заменяют реакциями;

четвертый этап - выбирают координатные оси и составляют уравнения равновесия;

пятый этап - решают уравнения равновесия;

шестой этап - проверяют правильность решения.

В задачах статики часто приходится определять усилия в стержнях. Необходимо установить, как действуют растягивающие и сжимающие силы в стержнях на точки крепления стержней или узлы. Когда стержень растянут, его реакции на точки крепления направлены от точек внутрь стержня. Когда стержень сжат, его реакции направлены к точкам закрепления, т. е. наружу. Следовательно, можно сказать, что в растянутом стержне реакции направлены от узлов внутрь стержня, в сжатом -- к узлам наружу от стержня, по аналогии с деформированной пружиной.

Часто при решении задач трудно заранее определить направление усилий в стержнях. В этих случаях удобно считать стержни растянутыми и их реакции направлять от узлов. Если решение задачи даст значение реакции со знаком минус, то в действительности имеет место не растяжение, а сжатие. Таким образом, реакции растянутых стержней будут положительными, а сжатых - отрицательными.

Сходящиеся силы находятся в равновесии, если их равнодействующая равна нулю. В математической форме это условие выражается векторным равенством

$$\sum_{k=1}^n \vec{F}_k = 0,$$

называемым векторным условием равновесия сходящихся сил. Это условие можно выразить в геометрической форме (в терминах силового многоугольника) и в аналитической форме (через проекции сил на координатные оси).

Применительно к силовому многоугольнику равенство означает, что длина замыкающей стороны силового многоугольника равна нулю. Следовательно, в силовом многоугольнике конец вектора последней силы совпадает с началом вектора первой силы. Такой силовой многоугольник называется замкнутым. Отсюда вытекает следующее геометрическое условие равновесия сходящихся сил: чтобы сходящиеся силы находились в равновесии, необходимо и достаточно, чтобы силовой многоугольник, построенный из этих сил, был замкнутым.

Аналитические условия равновесия представляют собой по координатной записи векторного равенства:

$$\sum_{k=1}^n F_{kx} = 0, \sum_{k=1}^n F_{ky} = 0, \sum_{k=1}^n F_{kz} = 0.$$

Из равенств следует, что для равновесия сходящихся сил необходимо и достаточно, чтобы алгебраические суммы проекций всех сил на координатные оси были равны нулю.

Если сходящиеся силы расположены в одной плоскости, то имеем плоскую систему сходящихся сил. Воспользуемся произволом в выборе координатных осей и выберем их так, чтобы координатные оси оказались в одной плоскости с заданными силами. Тогда третье условие не будет выполняться тождественно (всегда, при любых силах). Следовательно, для плоской системы сходящихся сил имеют место только два аналитических условия равновесия.

$$\sum_{k=1}^n F_{kx} = 0, \sum_{k=1}^n F_{ky} = 0.$$

Два условия равновесия плоской системы сходящихся сил остаются и при произвольном выборе осей. Кажущаяся возможность составить в этом случае также и третье условие оказывается несостоятельной: третье условие будет простым следствием первых двух, то есть не будет являться независимым.

Если среди сил, удовлетворяющих условиям равновесия, имеются неизвестные силы, тогда условия равновесия служат для определения этих сил и называются уравнениями равновесия. Такими неизвестными обычно являются реакции связей: заранее мы можем указать только направления реакций, а численные значения реакций определяются в результате составления и решения уравнений равновесия.

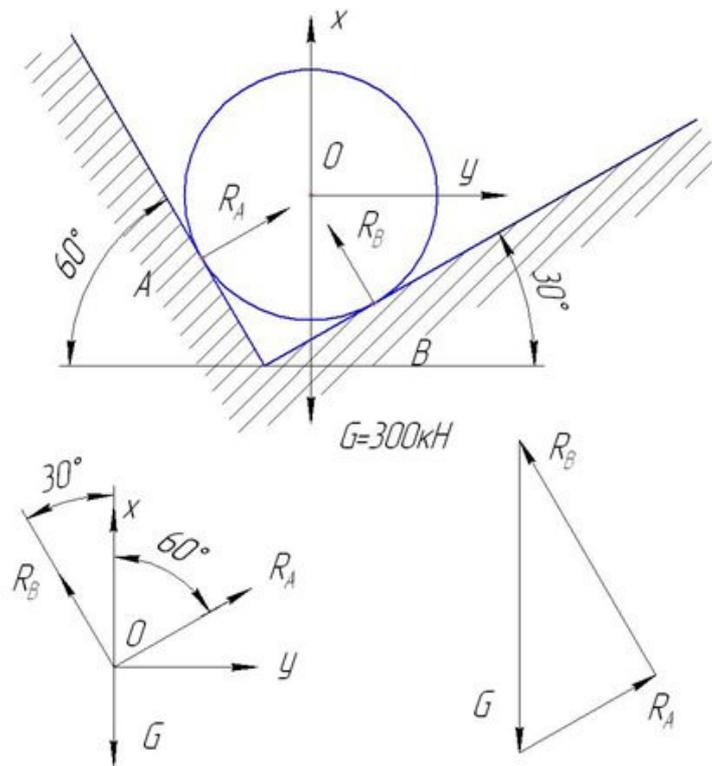
Пример: Определить величину и направление реакций связей.

Решение:

Для определения неизвестных усилий N_X N_Y следует рассмотреть равновесие сил узла O .

Мысленно освободим узел O от связей и заменим их действие реакциями RA RB , направив их, соответственно, перпендикулярно плоскостям опоры груза в точках соприкосновения A и B . К узлу O приложена плоская система сходящихся сил: заданная сила тяжести G , и неизвестные реакции стенок RA RB . Эти силы образуют уравновешенную систему. При геометрическом способе решения задачи необходимо построить треугольник сил G RA RB , который должен быть замкнутым. Для этого сначала отложим в выбранном масштабе силу G . Затем через начало вектора G проведем линию параллельную RB , а через конец вектора G линию параллельную RA . Точка пересечения этих прямых определит конец вектора RA и начало вектора RB . Все силы в замкнутом силовом треугольнике должны быть направлены в одну сторону по обходу его контура. Модули реакций определяются по масштабу сил.

$$RA = 150 \text{ кН}, RB = 260 \text{ кН}.$$



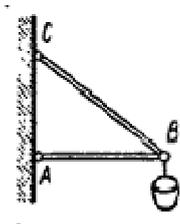
При аналитическом способе решения задачи необходимо составить следующие уравнения равновесия плоской системы сходящихся сил, приложенных к узлу О, в проекциях на оси X и Y:

$$\begin{aligned} \sum X &= R_A \cdot \cos 60^\circ + R_B \cdot \cos 30^\circ - G = 0 \\ \sum Y &= R_A \cdot \sin 60^\circ - R_B \cdot \sin 30^\circ = 0 \\ R_A &= \frac{R_B \cdot \sin 30^\circ}{\sin 60^\circ} \\ R_B &= \frac{G}{1.1547} = 259.8 \text{ кН} \\ R_A &= \frac{259.8 \cdot \sin 30^\circ}{\sin 60^\circ} = 150 \text{ кН} \end{aligned}$$

Найденные реакции при нахождении их обоими методами совпадают, следовательно расчеты произведены верно.

Задание к практической работе № 1
Задание 1

Фонарь весом 9 кН подвешен на кронштейне ABC. Определить реакции горизонтального стержня АВ и наклонной тяги ВС, если АВ=1,2 м и ВС=1,5 м; крепления в точках А, В и С шарнирные.



Задание 2

Шар веса P опирается в точке A на наклонную плоскость, образующую с вертикалью угол α , и привязан к стене веревкой, которая образует с вертикалью угол β (рис.). Определить реакцию плоскости в точке A и натяжение веревки.

Дано: $P=300\text{Н}$; $\alpha=30^\circ$; $\beta=45^\circ$

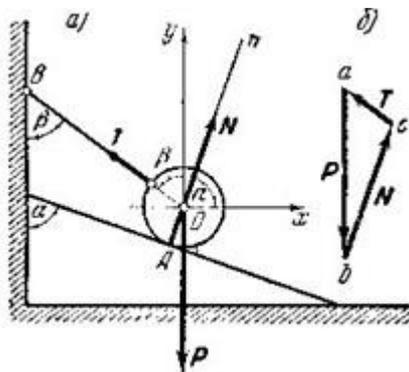


Рис.

Задание к практической работе № 2

Определить величину и направление реакций связей по данным своего варианта. Задание выбрать из сборника задач для расчетно-графических работ автор В.И. Сетков стр.10-13.

После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

1. Как направлена реакция связи «жёсткий стержень»?
2. Как направлена реакция связи «неподвижный шарнир»?
3. Какая система сил называется сходящейся?
4. Как строится многоугольник сил?
5. Как направлен вектор равнодействующей в многоугольнике сил?
6. Сформулируйте условие равновесия плоской системы сходящихся сил.
7. Чем определяется проекция силы на ось?
8. Чему равна величина проекции силы на ось?
9. Сформулируйте условие равновесия плоской системы сходящихся сил в аналитической форме.

Практическая работа № 3-4 тема 1.4.

Тема: Решение задач на равновесие плоской системы произвольно расположенных сил

Расчетно-графическая работа «Определение опорных реакций»

Цель: 1. Выработать умения и навыки применения изученных формул в решении задач на равновесии плоской системы произвольно расположенных сил.

Оборудование: тетради для практических работ, инструкционные карты, калькулятор, чертежные принадлежности.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач;

Время на выполнение работы: 4 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы № 3-4

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внимательно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов на вопросы последующих заданий.

Далее обучающиеся работают самостоятельно.

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.
5. Излагают выполнение задания в письменном виде .

При выполнении задания следует помнить, что для равновесия плоской системы произвольно расположенных сил необходимо и достаточно, чтобы алгебраические суммы проекций всех сил на оси координат x и y равнялись нулю и чтобы алгебраическая сумма моментов этих сил относительно любой точки плоскости также равнялась нулю.

Уравнение равновесия можно писать упрощенно:

$$1. \sum x = 0, \sum y = 0, \sum M = 0$$

для решения задач можно пользоваться другими формами уравнений:

$$2. \sum x = 0, \sum M_A = 0, \sum M_B = 0$$

необходимым условием для этой формы является: ось x не должна быть

перпендикулярна линии, соединяющей точки А и В

$$3. \sum M_A = 0, \sum M_B = 0, \sum M_C = 0$$

необходимое условие: точки А, В и С не должны лежать на одной прямой.

Условие равновесия для системы параллельных сил, как частный случай:

$$1) \sum F_i = 0, \sum M = 0$$

Для равновесия плоской системы параллельных сил необходимо и достаточно, чтобы алгебраическая сумма всех сил равнялась нулю и чтобы алгебраическая сумма моментов всех сил относительно любой точки плоскости также равнялась нулю.

$$2) \sum M_A = 0, \sum M_B = 0$$

Пример:

Определить опорные реакции шарнирно опертой балки с консолью (рис.).

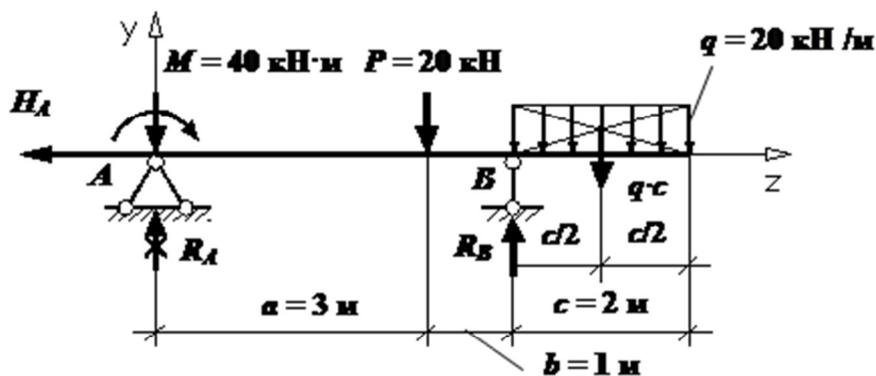


Рис. 7.4. Определение опорных реакций

Нужно найти реакции: R_A , H_A и R_B . Направления реакций выбираем произвольно. Направим обе вертикальные реакции вверх, а горизонтальную реакцию – влево.

Для вычисления значений реакций опор составим уравнения статики:

Сумма проекций всех сил (активных и реактивных) на ось z равна нулю: $\sum Z = 0$.

Поскольку на балку действуют только вертикальные нагрузки (перпендикулярные к оси балки), то из этого уравнения находим: горизонтальная реакция неподвижной шарнирной опоры $H_A = 0$.

Сумма моментов всех сил относительно опоры А равна нулю $\sum M_A = 0$

Правило знаков для момента силы: считаем момент силы положительным, если он вращает балку относительно точки против хода часовой стрелки.

Необходимо найти равнодействующую распределенной погонной нагрузки. Распределенная погонная нагрузка равна площади эпюры распределенной нагрузки $q \cdot c$ и приложена в центре тяжести этой эпюры (посередине участка длиной c).

Тогда

$$\sum M_A = +R_B \cdot (a + b) - q \cdot c \cdot (a + b + c/2) - P \cdot a - M = 0;$$

$$R_B = \frac{q \cdot c \cdot (a + b + c/2) + P \cdot a + M}{a + b} = \frac{20 \cdot 2 \cdot (3 + 1 + 2/2) + 20 \cdot 3 + 40}{3 + 1} = 75 \text{ кН.}$$

Сумма моментов всех сил относительно опоры В равна нулю: $\sum M_B = 0$.

$$\sum M_B = -R_A \cdot (a + b) - M + P \cdot b - q \cdot c \cdot c/2 = 0;$$

$$R_A = \frac{-M + P \cdot b - q \cdot c \cdot c/2}{a + b} = \frac{-40 + 20 \cdot 1 - 20 \cdot 2 \cdot 2/2}{3 + 1} = -15 \text{ кН.}$$

Знак «минус» в результате говорит: предварительное направление опорной реакции R_A было выбрано неверно. Меняем направление этой опорной реакции на противоположное (см. рис. 7.4) и про знак «минус» забываем.

Проверка:

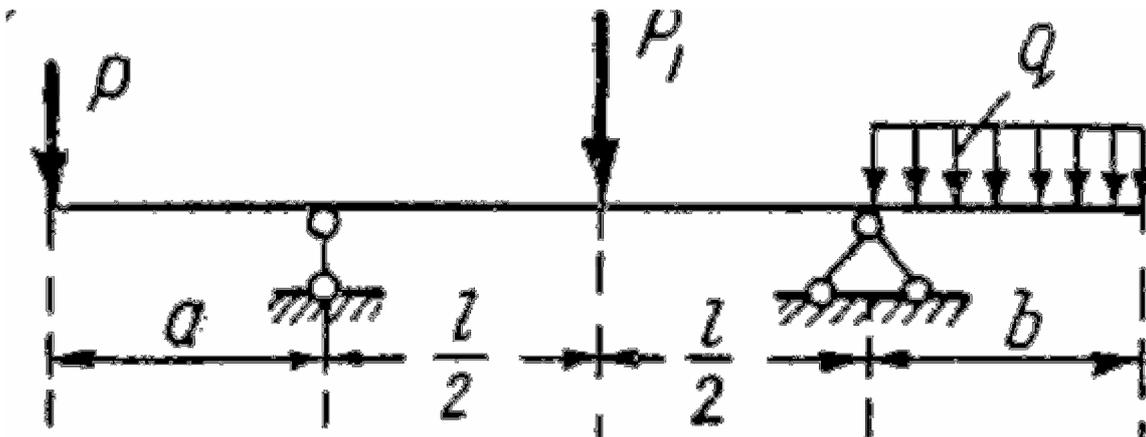
Сумма проекций всех сил на ось у должна быть равна нулю: $\sum Y = 0$.

Силы, направление которых совпадает с положительным направлением оси у, проектируются на нее со знаком «плюс»:

$$\begin{aligned} \sum Y &= -R_A - P + R_B - q \cdot c = 0; \\ -15 - 20 + 75 - 20 \cdot 2 &= 0; \quad 0 = 0 \text{ (верно).} \end{aligned}$$

Задание к практической работе №3

Определить опорные реакции балки на двух опорах. Дано: $P=10\text{кН}$; $P_1=15\text{кН}$; $q=5\text{кН/м}$; $a=2\text{м}$; $l=6\text{м}$.



Задание к практической работе №4

Определить опорные реакции балки на двух опорах по данным своего варианта. Задание выбрать из сборника задач для расчетно-графических работ автор В.И. Сетков стр.18-21.

После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

1. Что называют главным вектором системы произвольно расположенных сил?
2. Перечислите свойства главного вектора;

3. Что называют главным моментом системы произвольно расположенных сил?
4. Перечислите свойства главного момента;
5. Укажите четыре возможных случая приведения плоской системы произвольно расположенных сил;
6. Приведите аналитические условия равновесия плоской системы произвольно расположенных сил;

Практическая работа № 5 тема 1.6.
Тема: Расчетно-графическая работа
« Определение центра тяжести сложных и составных сечений»

Цель: Выработать умения и навыки применения изученных формул в решении задач по определению центра тяжести сложных сечений;

Оборудование: тетради для практических работ, инструкционные карты, чертежные принадлежности, калькулятор.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач;

Время на выполнение работы: 2 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы № 5

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внимательно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.
5. Излагают выполнение задания в письменном виде.

При выполнении задания следует помнить, что порядок решения следующий:

1. Разбивают сечение на простые фигуры. В задачах для самостоятельного решения такими фигурами являются, стандартные профили проката, размеры которых приведены в сортаменте (см. «Нормативные и справочные материа-

лы»). Или простые геометрические фигуры (прямоугольник прямоугольный треугольник, круг, полукруг). Обычно профили прокатной стали или простые геометрические фигуры, образующие сечение обозначают цифрами 1,2,3...

2. Указывают положение центра тяжести каждого профиля (фигуры) и обозначают их $c_1, c_2, c_3 \dots$, используя таблицы ГОСТов или формулы для определения положения центров тяжести простых геометрических фигур.

3. Выбирают систему координатных осей. Если сечение симметричное, то одну из координатных осей рекомендуется совмещать с осью симметрии сечения. Вторую ось проводят перпендикулярно первой через нижнюю грань сечения или совмещая её с центром тяжести одной из простых фигур.

4. Составляют формулы для определения координат центра тяжести сечения

$$1) x_c = \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2 + \dots + A_n x_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n};$$

$$2) y_c = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2 + \dots + A_n y_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}.$$

Пользуясь таблицами ГОСТов, определяю площади прокатов $A_1, A_2, A_3 \dots$ (для простых фигур их определяют по формулам) и координаты их центров тяжести $x_1, x_2, x_3 \dots$ и $y_1, y_2, y_3 \dots$ выбранных координатных осей. Число слагаемых в числителе и знаменателе формул зависит от числа профилей (фигур), из которых состоит сечение.

Следует помнить, что, если ось X совмещена с осью симметрии сечения, то $y_c = 0$, а если ось Y совмещена с осью симметрии сечения, то $x_c = 0$.

Указывают положение центра тяжести на чертеже (придерживаясь масштаб, обозначая его C, и показывают расстояние от центра тяжести до координатных осей.

5. Через центр тяжести сечения C проводят центральные оси X_c, Y_c .

6. Выполняют проверку. Проверкой может являть то, что статический момент площади сечения относительно центральных осей равен нулю.

$S_x = 0, S_y = 0$. Проверку выполняют относительно той оси, которая не

Не является осью симметрии.

Статический момент определяют по формулам

$$S_x = A_1(y_c - y_1) + A_2(y_c - y_2) + \dots + A_n(y_c - y_n)$$

$$S_y = A_1(x_c - x_1) + A_2(x_c - x_2) + \dots + A_n(x_c - x_n)$$

Пример выполнения:

Определить положение центра тяжести симметричного сечения, составленного, как показано на рис. 187, из полосы размером 120x10 мм, двутавра № 12 и швеллера № 14.

1. Разбиваем сечение на три части: I – полоса, II – двутавр и III – швеллер.

2. Находим площади каждой части, выражая их в см^2 . Площадь полосы определяем путем перемножения двух данных размеров, а площади двутавра и швеллера – по таблицам из ГОСТа.

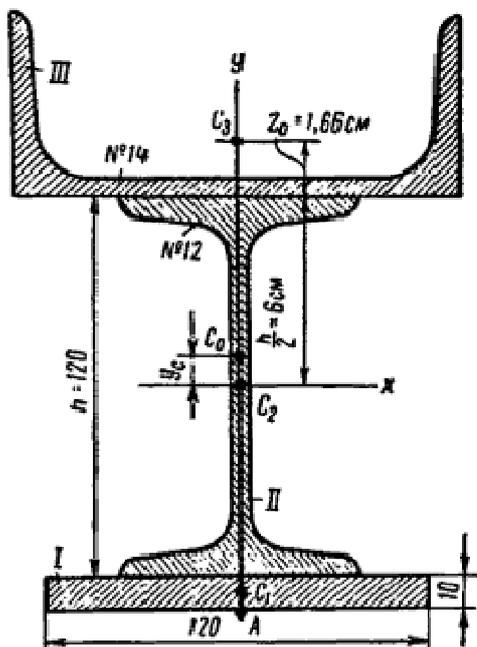


Рис. 187

Площадь сечения полосы

$$F_1 = 12 * 1 = 12 \text{ см}^2.$$

Площадь сечения двутавра № 12

$$F_2 = 14,7 \text{ см}^2.$$

Площадь сечения швеллера № 14

$$F_3 = 15,7 \text{ см}^2.$$

3. Данное сечение имеет вертикальную ось симметрии. Совместим с этой осью ось y , а ось x проведем через середину двутавра через точку C_2 – центр тяжести его сечения. Центр тяжести сечения полосы C_1 расположен ниже точки C_2 , принятой в данном случае за начало координат, на расстоянии

$$y_1 = -(h/2 + 0,5) = -6,5 \text{ см.}$$

Центр тяжести швеллера C_3 находим при помощи тех же таблиц из ГОСТа. Положение центра тяжести швеллеров в таблицах обозначено одной координатой z_0 ; для швеллера № 14 $z_0 = 1,66$ см, следовательно,

$$y_3 = h/2 + z_0 = 7,66 \text{ см.}$$

Таким образом,

$$F_1 = 12 \text{ см}^2; C_1(0; -6,5);$$

$$F_2 = 14,7 \text{ см}^2; C_2(0; 0);$$

$$F_3 = 15,7 \text{ см}^2; C_3(0; 7,66).$$

4. Подставляем эти значения в расчетную формулу для ординаты y_c :

$$y_c = (-12 * 6,5 + 14,7 * 0 + 15,7 * 7,66) / (12 + 14,7 + 15,7) = 42,3 / 42,4 = 1,0 \text{ см.}$$

В выбранных осях положения центра тяжести сечения выражены координатами $C_0(0; 1)$.

Это значит, что центр тяжести сечения находится от его нижнего края (от точки A) на расстоянии $AC_0 = 8$ см.

Задание к практической работе №5

Определить координаты центра тяжести сечения по данным своего варианта. Задание выбрать из сборника задач для расчетно-графических работ автор В.И.Сетков стр.26-29.

После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

1. Что называется центром тяжести тела?
2. Как определить координаты центра тяжести тела?
3. В чем заключается метод симметрии для нахождения центра тяжести?
4. Сформулируйте сущность метода разбиения для нахождения центра тяжести тела?
5. В чем заключается метод отрицательных масс для нахождения центра тяжести?
6. Где находится центр тяжести прямоугольника, треугольника, круга?
7. Как определить центр тяжести сечения составленного из профилей прокатной стали?

Практическая работа № 6 тема 2.2

Тема: Механические испытания материалов. Диаграммы испытаний

Цель: Выработать умения и навыки чтения диаграмм; вычисления характеристик материалов;

Оборудование: тетради для практических работ, инструкционные карты, чертежные принадлежности, калькулятор.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач;

Время на выполнение работы: 2 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы № 6

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внимательно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.
5. Излагают выполнение задания в письменном виде.

При выполнении задания следует помнить, что самыми распространенными являются испытания на растяжение. Для них из испытуемого материала изготавливают стандартные образцы, один из которых изображен на рисунке 1. Образцы испытывают на разрывных машинах, в которых необходимы осевые нагрузки, растягивают их и доводят до разрыва. Поведение образцов по мере роста нагрузки фиксируется на бумажной ленте с помощью особого записывающего устройства.

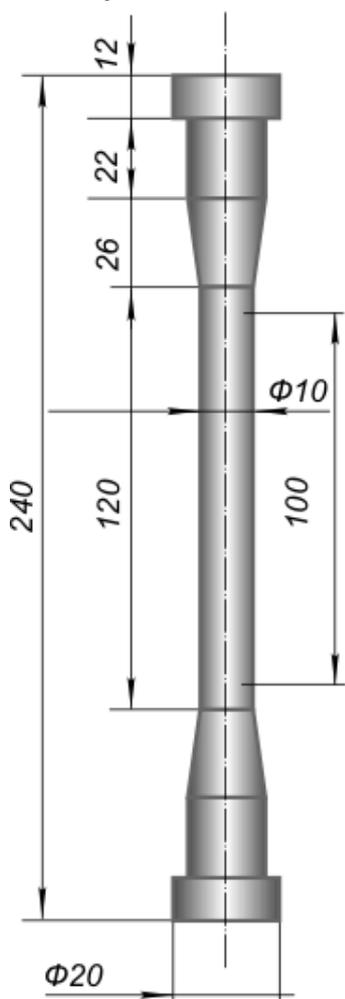


Рисунок 1

На рисунке 2 изображена примерная диаграмма, записанная при испытании образца из низкоуглеродистой стали. По оси абсцисс в определенном масштабе зафиксирован рост удлинения Δl образца, а по оси ординат - возникающая в его поперечном сечении нормальная сила N , численно равная осевой нагрузке F , прилагаемой к образцу. Характерные точки на диаграмме отмечены цифрами 1, 2, 3 и 4.

В начале испытания (до отметки 1 с ординатой $N_{пл}$) удлинение растет пропорционально силе N , тем самым подтверждается справедливость закона Гуна. Далее удлинение Δl возрастает непропорционально силе N . При некотором значении нормальной силы N_T (отметка 2) образец удлиняется без увеличения нагрузки. Это явление называется текучестью металла.

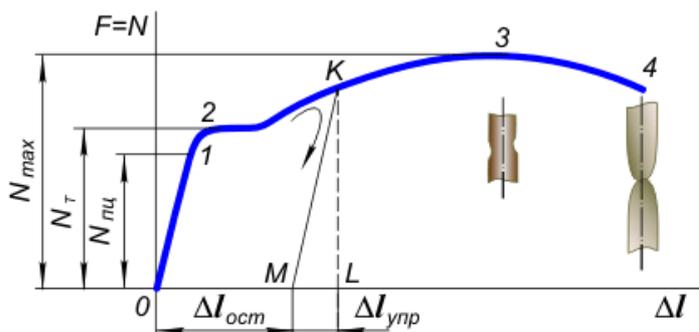


Рисунок 2

По окончании стадии текучести материал образца снова начинает сопротивляться нагрузке до отметки 3 с ординатой N_{max} , после которой наблюдается снижение сопротивляемости образца нагрузке. Это обстоятельство объясняется тем, что на образце начинает появляться местное утончение (шейка) и в дальнейшем диаграмма фиксирует уже растяжение не всего образца, а только его участка в зоне образовавшейся шейки. Момент окончательного разрушения образца отмечен цифрой 4.

Если после перехода через стадию текучести, например в момент, отмеченный на диаграмме точкой K (рисунок 2), образец разгрузить, то процесс разгрузки изобразится отрезком KM , параллельным отрезку в начале испытания. Как видим, после разгрузки остаточное удлинение $\Delta l_{ост}$ не стало равным удлинению образца, выраженному отрезком OL , а уменьшилось на значение упругого удлинения $\Delta l_{упр}$. Теперь если этот же образец подвергнуть повторному нагружению, то окажется, что линия нагрузки совпадет с линией MK , т. е. часть диаграммы левее этой линии не повторится. Следовательно, после предварительной вытяжки образца за стадию текучести его материал способен воспринимать большие нагрузки без остаточных деформаций. Явление повышения упругих свойств материала в результате предварительной вытяжки выше предела текучести называется наклепом.

Задание к практической работе №6

Выделить на диаграмме характерные точки: предел пропорциональности, предел текучести, предел упругости, предел текучести, предел прочности, напряжение разрыва. Вычислить остаточное относительное удлинение и сужение.

После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

1. При достижении какого показателя начинается разрушение материала?
2. Какое явление называется наклепом?
3. Чем характеризуется степень пластичности материала?

Практическая работа № 7-8 тема 2.2.

Тема: Расчеты на прочность по допускаемым напряжениям и предельным состояниям

Расчетно- графическая работа « Расчет ступенчатого бруса»

Цель: Выработать умения оперировать полученными знаниями при расчетах на прочность ступенчатых брусьев.

Оборудование:

тетрадь для практических работ, калькулятор, инструкционная карта, чертежные принадлежности.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач.

Время на выполнение работы: 4 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы № 7-8

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внимательно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.
5. Излагают выполнение задания в письменном виде .

При выполнении задания следует помнить, что предел прочности и предел текучести, определенные опытным путем являются среднестатистическими величинами, т.е. имеют отклонения в большую или меньшую сторону, поэтому максимальные напряжения при расчетах на прочность сравнивают не с пределом текучести и прочности, а с напряжениями несколько меньшими, которые называются допускаемыми напряжениями. Пластичные материалы одинаково работают на растяжение и сжатие. Опасным напряжением для них является предел текучести.

Допускаемое напряжение обозначается $[\sigma]$:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_m}{n},$$

где n - коэффициент запаса прочности; $n > 1$. Хрупкие металлы хуже работают на растяжение, а лучше на сжатие. Поэтому опасное напряжение для них предел прочности $\sigma_{вр}$. Допускаемые напряжения для хрупких материалов определяются по формулам: где n - коэффициент запаса прочности; $n > 1$. Хрупкие металлы хуже работают на растяжение, а лучше на сжатие. Поэтому опасное напряжение для них предел прочности $\sigma_{вр}$. Допускаемые напряжения для хрупких материалов определяются по формулам:

$$\left\{ \begin{array}{l} [\sigma_p] = \frac{\sigma_{вр}}{n_p} \\ [\sigma_c] = \frac{\sigma_{вс}}{n_c} \end{array} \right.,$$

где n - коэффициент запаса прочности; $n > 1$.

Хрупкие металлы хуже работают на растяжение, а лучше на сжатие. Поэтому опасное напряжение для них предел прочности $\sigma_{вр}$. Допускаемые напряжения для хрупких материалов определяются по формулам:

$$\left\{ \begin{array}{l} [\sigma_p] = \frac{\sigma_{вр}}{n_p} \\ [\sigma_c] = \frac{\sigma_{вс}}{n_c} \end{array} \right.,$$

где

$\sigma_{вр}$ - предел прочности при растяжении;

$\sigma_{вс}$ - предел прочности при сжатии;

n_p, n_c - коэффициенты запаса по пределу прочности.

Условие прочности при осевом растяжении (сжатии) для пластичных материалов:

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{\max}}{A} \leq [\sigma].$$

Условия прочности при осевом растяжении (сжатии) для хрупких материалов:

$$\sigma^P_{\max} = \frac{N_{\max}}{A} \leq [\sigma_p] \quad , \quad \sigma^C_{\max} = \frac{N_{\max}}{A} \leq [\sigma_c] \quad .$$

N_{\max} - максимальная продольная сила, определяется по эпюре; A - площадь поперечного сечения бруса.

Существует три типа задач расчета на прочность:

I тип задач- проверочный расчет или проверка напряжений. Производится, когда размеры конструкции уже известны и назначены и необходимо осуществить только проверку на прочность.

II тип задач - проектировочный расчет. Производится, когда конструкция находится на стадии проектирования и некоторые характерные размеры должны быть назначены непосредственно из условия прочности.

Для пластичных материалов:

$$A \geq \frac{N_{\max}}{[\sigma]} .$$

Для хрупких материалов:

$$\begin{cases} A^P \geq \frac{N_{\max}}{\sigma_p} \\ A^C \geq \frac{N_{\max}}{\sigma_c} \end{cases} .$$

Где A - площадь поперечного сечения бруса. Из двух полученных значений площади выбираем наибольшее.

III тип задач - определение допускаемой нагрузки $[N]$:

для пластичных материалов:

$$[N] \leq [\sigma]A .$$

для хрупких материалов:

$$\begin{cases} [N^P] \leq [\sigma_p]A \\ [N^C] \leq [\sigma_c]A \end{cases} .$$

Из двух значений допускаемой нагрузки выбираем минимальное.

Задание к практической работе № 7

Проверить прочность бруса, если материал бруса - сталь Ст3 ($\sigma_T = 240 \text{ МПа}$), а допускаемый коэффициент запаса прочности $[s] = 1,5$.

Задание к практической работе № 8

Построить эпюры продольной силы, напряжения и перемещения для ступенчатого бруса по данным своего варианта. Задание выдается преподавателем.

Пример выполнения задания:

Решение.

1. Определение опорной реакции. Составляем уравнение равновесия в проекции на ось z :

$$\sum Z_i = 0, \quad -2qa + 2q \cdot 2a - qa + qa - R_E = 0,$$

откуда $R_E = 2qa$.

2. Построение эпюр N_z , σ_x , W .

Эпюра N_z . Она строится по формуле

$$N_x = N_0 \pm qz.$$

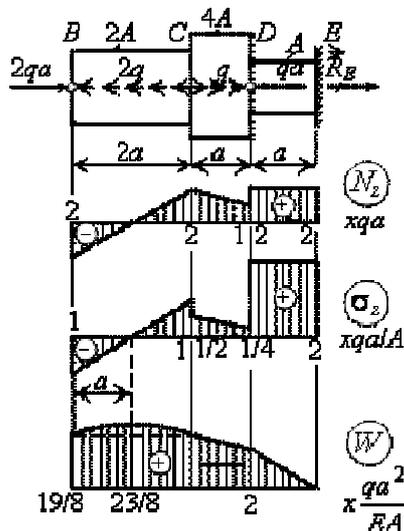
Имеем

$$N_B = -2qa,$$

$$N_C = N_B + 2q \cdot 2a = 2qa$$

$$N_{DC} = N_C - qa = qa,$$

$$N_{DE} = N_{DC} + qa = 2qa.$$



Эпюра σ_x . Напряжение равно $\sigma_x = N_x / A(z)$. Как следует из этой формулы, скачки на эпюре σ_x будут обусловлены не только скачками N_z , но также резкими изменениями площади поперечных сечений. Определяем значения σ_x в характерных точках:

$$\sigma_B = \frac{N_B}{2A} = \frac{-2qa}{2A} = -\frac{qa}{A},$$

$$\sigma_{CB} = \frac{N_C}{2A} = \frac{2qa}{2A} = \frac{qa}{A},$$

$$\sigma_{CD} = \frac{N_C}{4A} = \frac{2qa}{4A} = \frac{qa}{2A},$$

$$\sigma_{DC} = \frac{N_{DC}}{4A} = \frac{qa}{4A},$$

$$\sigma_{DE} = \frac{N_{DE}}{A} = \frac{2qa}{A} \text{ и строим эпюру } \sigma_x.$$

Эпюра W . Она строится по формуле

$$W = W_0 + \frac{1}{E} \int_0^x \sigma_x dz = W_0 + \omega_\sigma / E$$

Построение ведем от защемления к свободному концу. Находим перемещения в характерных сечениях:

$$W_0 = W_E = 0,$$

$$W_D = W_0 + \frac{\omega_\sigma}{E} = \left(\frac{2qa}{EA} \right) \cdot a = \frac{2qa^2}{EA}.$$

$$W_C = W_D + \frac{\omega_\sigma}{E} = \frac{2qa^2}{EA} + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \right) \cdot \left(\frac{qa}{EA} \right) \cdot a = \frac{19qa^2}{8EA}.$$

$$W_{\max} = W_C + \frac{\omega_\sigma}{E} = \frac{19qa^2}{8EA} + \left(\frac{qa}{2EA} \right) \cdot a = \frac{23qa^2}{8EA}.$$

$$W_B = W_C + \frac{\omega_\sigma}{E} = W_C = \frac{19qa^2}{8EA}.$$

и строим эпюру W .

После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

1. Какое напряжение называется предельным?
2. Как рассчитать коэффициент запаса прочности?
3. Какое напряжение называют допускаемым?
4. Сущность проектного расчета? Проверочного расчета? Определение допускаемой нагрузки?

Практическая работа № 9 тема 2.2.

Тема: Растяжение образца из низкоуглеродистой стали

Цель: Выработать умения и навыки вычисления характеристик материалов;

Оборудование: тетради для практических работ, инструкционные карты, чертежные принадлежности, калькулятор.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач;

Время на выполнение работы: 2 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы № 9

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внимательно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

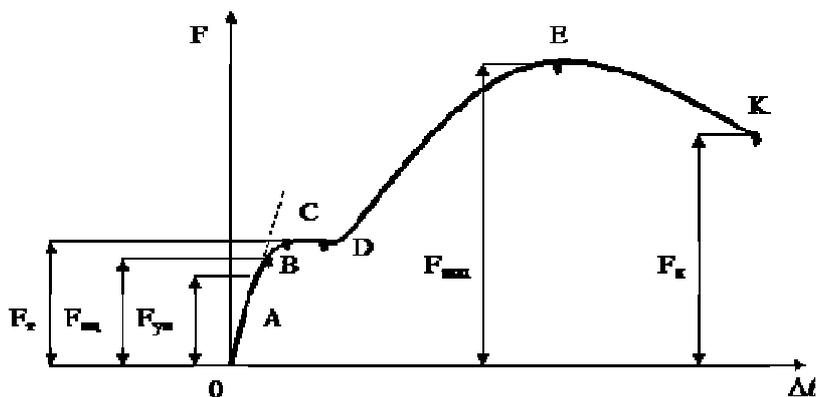
С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.
5. Излагают выполнение задания в письменном виде .

При выполнении задания следует помнить, что в начальной стадии нагружения до некоторой точки А диаграмма растяжения представляет собой наклонную прямую, что указывает на пропорциональность между нагрузкой и деформацией - справедливость закона Гука. Нагрузка, при которой эта пропорциональность еще не нарушается, на диаграмме обозначена через $F_{пц}$ и используется для вычисления предела пропорциональности:

$$\sigma_{пц} = \frac{F_{пц}}{A_0}$$



где A_0 – площадь поперечного сечения образца до испытания.

Пределом пропорциональности $\sigma_{пц}$ называется наибольшее напряжение, до которого существует прямо пропорциональная зависимость между нагрузкой, и деформацией. Зона ОА называется зоной упругости. Здесь возникают только упругие, очень незначительные деформации. Данные, характеризующие эту зону, позволяют определить значение модуля упругости E .

После достижения предела пропорциональности деформация начинает расти быстрее, чем нагрузка, и диаграмма становится криволинейной. На этом участке в непосредственной близости от точки А находится точка В, соответствующая пределу упругости.

Пределом упругости $\sigma_{уэ}$ называется максимальное напряжение, при котором в материале не обнаруживаются признаков пластической (остаточной) деформации.

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A_0}$$

При дальнейшем нагружении криволинейная часть диаграммы переходит в почти горизонтальный участок CD - площадку текучести. Здесь деформации растут практически без увеличения нагрузки. Нагрузка F_m , соответствующая точке D, используется при определении физического предела текучести:

Физическим пределом текучести σ_m называется наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения растягивающей нагрузки.

Зона BD называется зоной общей текучести. В этой зоне значительно развиваются пластические деформации. При этом у образца повышается температура, изменяются электропроводность и магнитные свойства.

Диаграмма после зоны текучести снова становится криволинейной. Образец приобретает способность воспринимать возрастающее усилие до значения F_{max} - точка E на диаграмме. Усилие F_{max} используется для вычисления временного сопротивления:

$$\sigma_s = \frac{F_{max}}{A_0}$$

Напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца, называется временным сопротивлением.

Зона DE называется зоной упрочнения. Здесь удлинение образца происходит равномерно по всей его длине, первоначальная цилиндрическая форма образца сохраняется, а поперечные сечения изменяются незначительно и также равномерно.

При максимальной усилении или несколько меньшем его на образце в наиболее слабом месте возникает локальное уменьшение поперечного сечения - шейка (а иногда и две). Дальнейшая деформация происходит в этой зоне образца. Сечение в середине шейки продолжает быстро уменьшаться, но напряжения в этом сечении все время растут, хотя растягивающее усилие и убывает. Вне области шейки напряжения уменьшаются, и поэтому удлинение остальной, части образца не происходит. Наконец, в точке K образец разрушается. Сила, соответствующая точке K, называется разрушающей F_k , а напряжения - истинным сопротивлением разрыву (истинным пределом прочности), которые равны:

$$\sigma_k = \frac{F_k}{A_k}, \quad (3.4)$$

где A_k - площадь поперечного сечения в месте разрыва.

Зона EK называется зоной местной текучести, Истинные напряжения в момент разрыва (в шейке) в образце из стали Ст3 достигают 900... 1000 МПа.

Помимо указанных характеристик прочности, после разрушения образца определяют характеристики пластичности.

Относительное удлинение после разрыва δ (%) – это отношение приращения расчетной длины образца после разрыва к ее первоначальному значению, вычисляемое по формуле:

$$\delta = \frac{l_x - l_0}{l_0} \cdot 100\%$$

Другой характеристикой пластичности является относительное сужение после разрыва ψ (%), представляющее собой отношение уменьшения площади поперечного сечения образца в месте разрыва к начальной площади поперечного сечения образца:

$$\psi = \frac{A_0 - A_x}{A_0} \cdot 100\%$$

Задание к практической работе №6

Выделить на диаграмме характерные точки: предел пропорциональности, предел текучести, предел упругости, предел текучести, предел прочности, напряжение разрыва. Вычислить остаточное относительное удлинение и сужение.

После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

1. Вывод формулы для нормального напряжения в поперечных сечениях стержня при растяжении (сжатии);
2. Условие прочности при растяжении (сжатии);
3. Допускаемое напряжение, коэффициент запаса по прочности и факторы, влияющие на его величину;
4. Продольная и поперечная деформации при растяжении (сжатии). Упругие постоянные материала;
5. Вывод формулы для определения абсолютной деформации при растяжении (сжатии).

Практическая работа № 10 тема 2.3.

Тема: Расчет заклепочных и болтовых соединений

Цель: Выработать умения оперировать полученными знаниями при расчетах на срез и смятие заклепочных и болтовых соединений.

Оборудование:

тетрадь для практических работ, калькулятор, инструкционная карта, чертежные принадлежности.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач.

Время на выполнение работы: 2 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы №10

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внима-

тельно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.
5. Излагают выполнение задания в письменном виде .

При выполнении задания следует помнить, что условие прочности при

сдвиге (срезе)
$$\tau_c = \frac{Q}{A_c} \leq [\tau_c],$$

$[\tau_c]$ — допускаемое напряжение сдвига, обычно его определяют по формуле

$$[\tau_c] = (0,25 \div 0,35) \sigma_t.$$

При разрушении деталь перерезается поперек. Разрушение детали под действием поперечной силы называют срезом.

Смятие

Довольно часто одновременно со сдвигом происходит смятие боковой поверхности в месте контакта в результате передачи нагрузки от одной поверхности к другой. При этом на поверхности возникают сжимающие напряжения, называемые напряжениями смятия, $\sigma_{см}$. Условие прочности при смятии можно выразить соотношением:

$$\sigma_{см} = \frac{F}{A_{см}} \leq [\sigma_{см}];$$

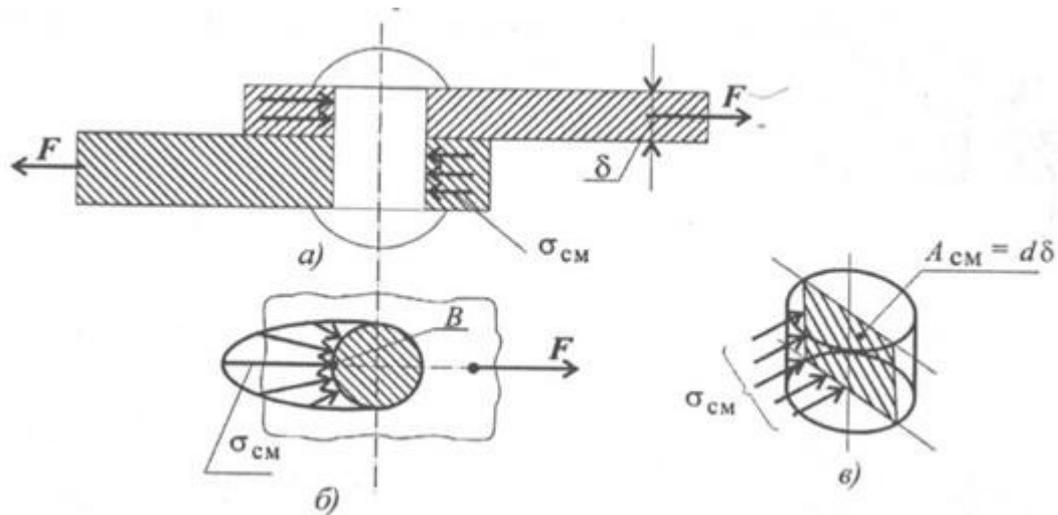
$$A_{см} = d\delta,$$

где d — диаметр окружности сечения;

δ — наименьшая высота соединяемых пластин;

$A_{см}$ — расчетная площадь смятия; допускаемое напряжение смятия:

$$[\sigma_{см}] = (0,35 \div 0,4) \sigma_t; F — сила взаимодействия между деталями.$$



Примеры деталей, работающих на сдвиг (срез) и смятие

1. Ось (рис. 1).

В случае, если толщина детали 2 меньше, $A_{см} = d\delta$;

$$A_c = \frac{\pi d^2}{4} i; \quad i = 2 \text{ — количество площадей среза.}$$

2. Болт (рис. 2). $A_c = \pi dh$; $A_{см} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$.

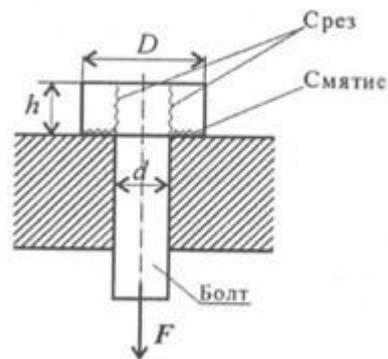
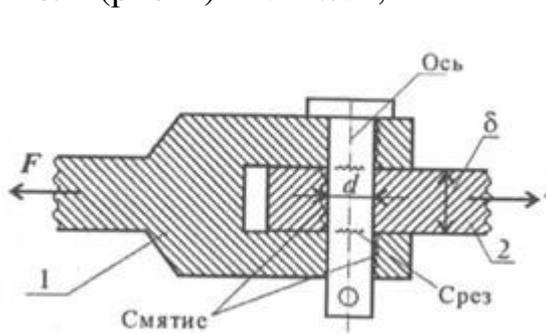
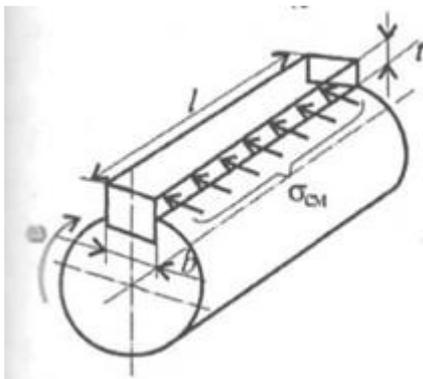


Рис. 1

Рис. 2



3. Шпонки (рис. 3) работают на срез и смятие, но рассчитываются только на смятие.

$$A_c = bl; \quad A_{см} = lt;$$

где l — длина шпонки;

t — высота выступающей части;

b — ширина шпонки.

Рис. 3

4. Заклепка односрезная (рис. 4), двухсрезная (рис. 5).

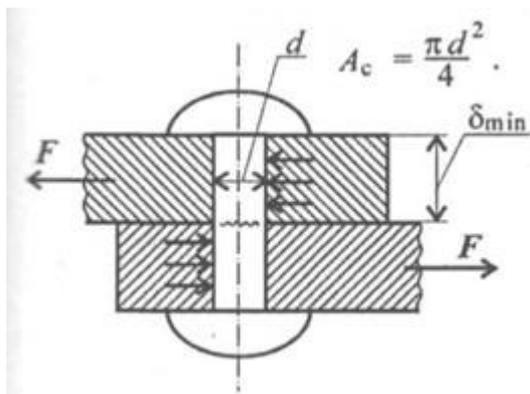


Рис. 4

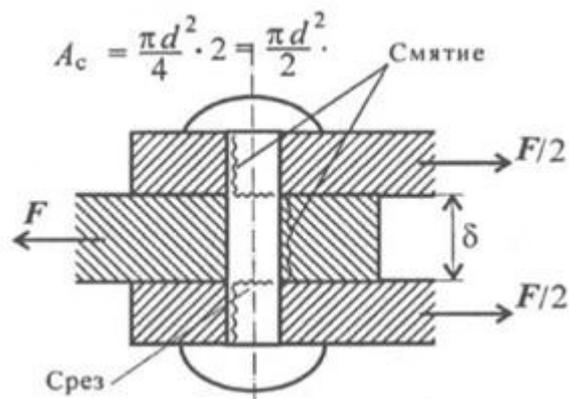


Рис.5

Задание к практической работе №10

Определить диаметр болта, поставленного в отверстие без зазора, и напряжение смятия в стенках отверстия, если сила $F=12$ кН, толщина скрепляемых деталей $\delta=8$ мм, $\delta_1=6$ мм. Допускаемые напряжения: среза болта $[\tau]_{ср}=60$ МПа, смятия стенок отверстия и болта $[\sigma]_{см}=200$ МПа. (рис.2)

После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

1. Какие внутренние силовые факторы возникают при сдвиге и смятии?
2. Сформулируйте закон парности касательных напряжений.
3. Как обозначается деформация при сдвиге?
4. Запишите закон Гука при сдвиге.
5. Какой физический смысл у модуля упругости?

Практическая работа № 11-12 тема 2.4.

Тема: Решение задач с применением сортамента прокатных профилей Расчетно-графическая работа « Определение моментов инерции сложных фигур»

Цель: Выработать умения оперировать полученными знаниям при решении задач с применением сортамента прокатных профилей.

Оборудование:

тетрадь для практических работ, калькулятор, инструкционная карта, чертежные принадлежности.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач.

Время на выполнение работы: 4 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указание по выполнению практической работы № 11-12

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под

контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внимательно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.
5. Излагают выполнение задания в письменном виде .

При выполнении задания следует помнить, что последовательность решения задач следующая:

1. Определяют положение центра тяжести сечения;
2. Проводят центральные оси для каждого профиля проката. Эти оси называют центральными осями.
3. Проводят главные центральные оси. Они проходят через центр тяжести всего сечения.
4. Находят моменты инерции сечения относительно главных центральных осей.

Для сечений, составленных из профилей стандартного проката, площадь каждого профиля и остальные необходимые для расчетов размеры принимаются по таблицам ГОСТов на прокатную сталь.

Пример:

Для фигуры, показанной на рис.1 определить положение главных осей инерции и главные моменты инерции.

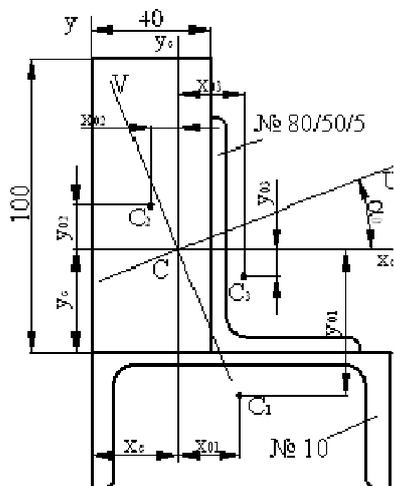


Рис.1

Решение.

Выписываем основные исходные данные для каждой фигуры

Швеллер

$$S_1 = 10,9 \text{ см}^2; I_x = 20,4 \text{ см}^4; I_y = 174 \text{ см}^4; y_0 = 1,44 \text{ см}; h = 10 \text{ см}$$

Неравнополочный уголок

$$S_3 = 6,36 \text{ см}^2; I_x = 41,6 \text{ см}^4; I_y = 12,7 \text{ см}^4; I_{min} = 7,58 \text{ см}^4; \text{tg}\alpha = 0,387; x_0 = 1,13 \text{ см}; y_0 = 2,6 \text{ см}$$

Прямоугольник

$$S_2 = 40 \text{ см}^2$$

$$I_x = \frac{bh^3}{12} = \frac{4 \cdot 10^3}{12} = 333,3 \text{ см}^4.$$

$$I_y = \frac{hb^3}{12} = \frac{10 \cdot 4^3}{12} = 53,3 \text{ см}^4.$$

Вычерчиваем сечение в масштабе

Проводим произвольные оси координат

Определяем координаты центра тяжести сечения

$$x_c = \frac{S_y}{S} = \frac{S_1 x_1 + S_2 x_2 + S_3 x_3}{S_1 + S_2 + S_3} = \frac{10,9 \cdot 5 + 40 \cdot 2 + 6,36 \cdot 5,13}{10,9 + 40 + 6,36} = 2,92 \text{ см};$$

$$y_c = \frac{S_x}{S} = \frac{S_1 y_1 + S_2 y_2 + S_3 y_3}{S_1 + S_2 + S_3} = \frac{10,9 \cdot (-1,44) + 40 \cdot 5 + 6,36 \cdot 2,6}{10,9 + 40 + 6,36} = 3,51 \text{ см}.$$

Проводим центральные оси

$$x_{01} = 5 - x_c = 5 - 2,92 = 2,08 \text{ см}, \quad x_{02} = 2 - x_c = 2 - 2,92 = 0,98 \text{ см},$$

$$x_{03} = 5,13 - x_c = 5,13 - 2,92 = 2,21 \text{ см},$$

$$y_{01} = -1,44 - y_c = -1,44 - 3,51 = -4,95 \text{ см}, \quad y_{02} = 5 - y_c = 5 - 3,51 = 1,49 \text{ см},$$

$$y_{03} = 2,6 - y_c = 2,6 - 3,51 = -0,91 \text{ см}.$$

Определяем осевые моменты инерции относительно центральных осей

$$I_x = I_{x_1}^1 + I_{x_2}^2 + I_{x_3}^3 = I_{x1} + S_1 y_{01}^2 + I_{x2} + S_2 y_{02}^2 + I_{x3} + S_3 y_{03}^2 = 20,4 + 10,9 \cdot (-4,95)^2 + 40 + 333,3 \cdot 1,49^2 + 41,6 + 6,36 \cdot (-0,91)^2 = 756,45 \text{ см}^4$$

$$I_y = I_{y_1}^1 + I_{y_2}^2 + I_{y_3}^3 = I_{y1} + S_1 x_{01}^2 + I_{y2} + S_2 x_{02}^2 + I_{y3} + S_3 x_{03}^2 = 174 + 10,9 \cdot 2,08^2 + 53,3 + 40 \cdot (-0,92)^2 + 12,7 + 6,36 \cdot 2,21^2 = 352,08 \text{ см}^4$$

Задание к практической работе №11

Определить положение главных центральных осей и величины главных центральных моментов инерции данного сечения (см. рис.1).

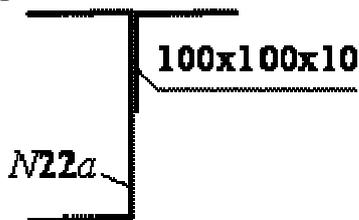


Рис.1

Задание к практической работе №12

Определить моменты инерции сечения, составленного из профилей прокатной стали, относительно главных центральных осей по данным своего варианта. Задание выбрать из сборника задач для расчетно-графических работ автор В.И. Сетков стр.124-127

После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

1. Какие оси называются центральными осями?
2. Напишите зависимости между моментами инерции относительно параллельных осей.
3. Как изменяются моменты инерции при повороте координатных осей?
4. Какие оси и какие моменты инерции называются главными?
5. Напишите значения моментов инерции для простых сечений: прямоугольника, треугольника, круга, полукруга.
6. В какой последовательности определяется положение главных центральных осей для составных сечений?

Практическая работа № 13 тема 2.5.

Тема: Построение эпюр Q и M при простом и сложном нагружении балки

Цель: Выработать умения оперировать полученными знаниями при построении эпюр поперечных сил и изгибающих моментов для балки.

Оборудование:

тетрадь для практических работ, калькулятор, инструкционная карта, чертежные принадлежности.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач.

Время на выполнение работы: 2 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы № 13

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внимательно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.
5. Излагают выполнение задания в письменном виде .

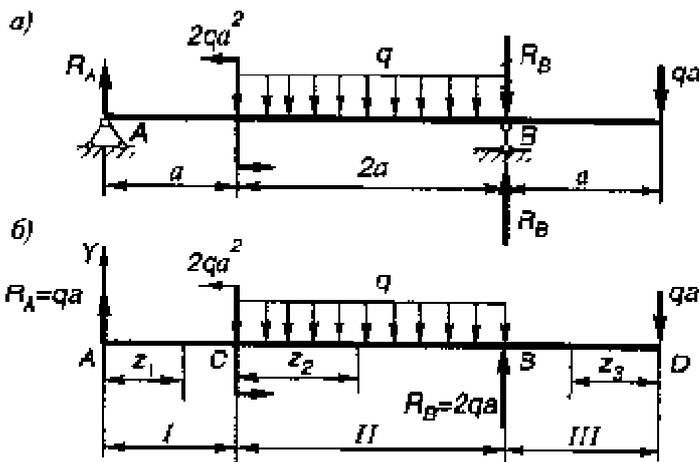
При выполнении задания следует помнить, что при построении эпюр поперечных сил Q и изгибающих моментов M_x необходимо соблюдать следующую последовательность:

1. Изображаем расчетную схему (рис. а).
2. Определяем реакции опор. Первоначально выбираем произвольное направление реакций (рис. а)

$$\Sigma M_A = 0, -qa \cdot 4a - R_B \cdot 3a - 2qa \cdot 2a + 2qa^2 = 0, R_B = -2qa;$$

$$\Sigma M_B = 0, -R \cdot 3a + 2qa^2 + 2qa \cdot a - qa \cdot a = 0, R_A = qa.$$

Так как реакция R_B с минусом, изменяем выбранное направление на противоположное (рис. б), а про минус забываем.



Проверка:

$$\Sigma Y = 0,$$

$$\Sigma R_A - 2qa + R_B - qa = qa - 2qa + 2qa - qa = 0.$$

3. Расчетная схема имеет три силовых участка.

I участок AC: $0 < z_1 < a$. Начало координат выбираем в крайней левой точке A. Рассмотрим равновесие отсеченной части бруса (рис.1).

В сечении возникают внутренние усилия:

поперечная сила

$$Q = qa = \text{const}$$

и изгибающий момент

$$M_x = qa \cdot z_1$$

$$\text{при } z_1 = 0 \quad M_x = 0; \text{ при } z_1 = a \quad M_x = qa^2.$$

II участок CB: $0 < z_2 < 2a$. Начало координат перенесено в начало участка C (рис. 2).

На этом участке

$$Q = qa - q \cdot z_2; \quad M_x = qa(a + z_2) - 2qa^2 - \frac{qz_2^2}{2}$$

при $z_2 = 0$ $Q = qa$, $M_x = -qa^2$;
 при $z_2 = 2$ $Q = -qa$, $M_x = qa^2$.

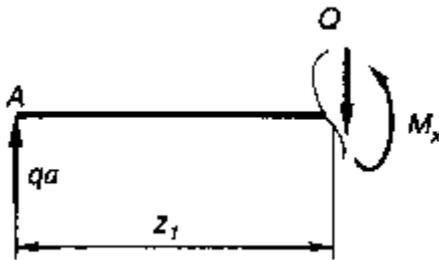


Рис.1

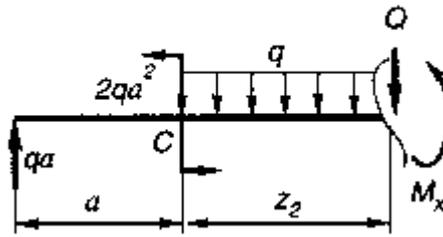


рис.2

На 2-м участке в уравнении моментов аргумент z_2 имеет 2-ю степень, значит эпюра будет кривой второго порядка, т.е. параболой. На этом участке поперечная сила меняет знак (в начале участка $+qa$, а в конце $-qa$), значит на эпюре M_x будет экстремум в точке, $Q = 0$. Определяем координату сечения, в котором экстремальное значение M_x , приравняв нулю выражение поперечной силы на этом участке.

$$\frac{dM_x(z_2)}{dz} = Q(z_2) = R_A - qz_0 = 0;$$

$$z_0 = \frac{R_A}{q} = \frac{qa}{q} = a.$$

Определяем величину экстремального момента (с учетом знака):

$$M_{\max} = qa(a + a) - 2qa^2 - \frac{qa^2}{2} = -q \frac{a^2}{2}.$$

III участок BD: $0 < z_3 < a$. Начало координат на третьем участке помещено в крайней правой точке (рис. 3.).

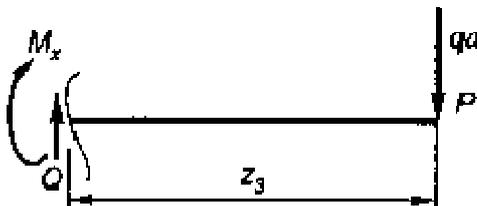


Рис.3

Здесь $Q = qa = \text{const}$; $M_x = -qa \cdot z_3$; при $z_3 = 0$ $M_x = 0$; при $z_3 = a$ $M_x = -qa^2$.

4. Строим эпюры Q и M_x (рис. 4, б и в).

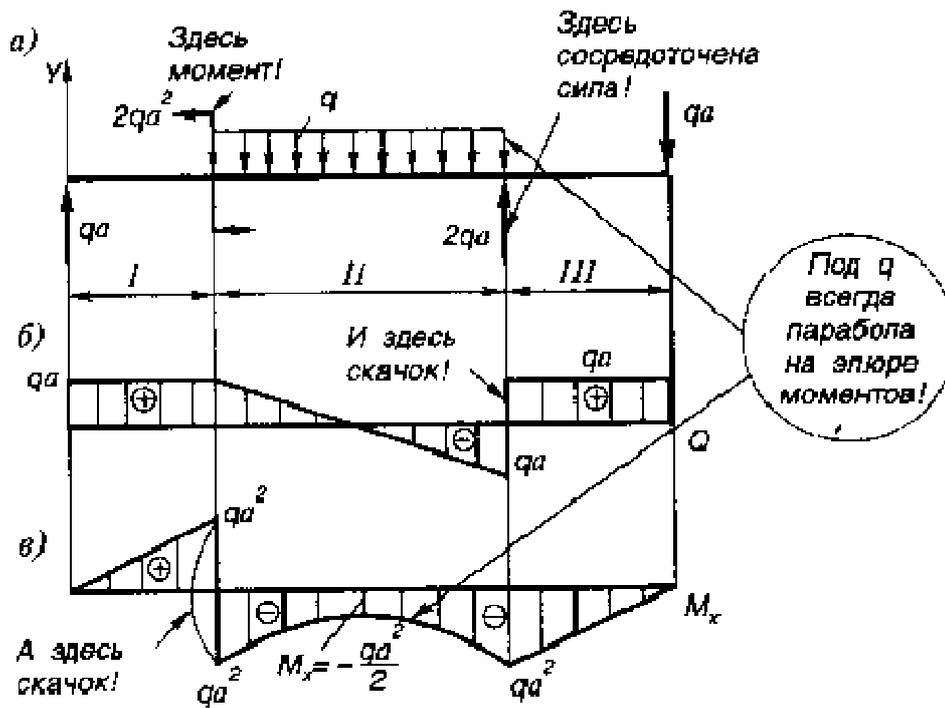
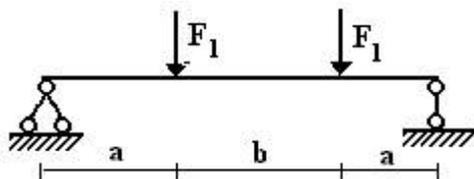


Рис.4

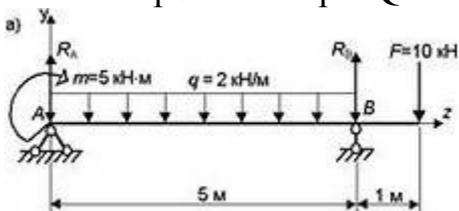
Задание к практической работе №13

Построить эпюры Q и M при простом нагружении балки.

Дано: $F = 10$ кН; $a = 2$ м; $b = 6$ м.



Построить эпюры Q и M при сложном нагружении балки.



После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

1. Чему равна поперечная сила?
2. Как определить изгибающий момент?
3. Какие правила знаков установлены при построении эпюр?

Практическая работа № 14 тема 2.5.

Тема: Определение прогибов и углов поворота сечений балки

Цель: Выработать умения оперировать полученными знаниями при определении прогибов и углов поворота сечений балки.

Оборудование:

тетрадь для практических работ, калькулятор, инструкционная карта, чертежные принадлежности.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач.

Время на выполнение работы: 2 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы №14

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внимательно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.
5. Излагают выполнение задания в письменном виде .

При выполнении задания следует помнить, что угол, на который поворачивается сечение по отношению к ее первоначальному состоянию, называется углом поворота сечения. Угол поворота считают равным углу между касательной к упругой линии в данной точке и осью недеформированной балки.

Для определения углов поворота и прогибов у необходимо провести интегрирование дифференциального уравнения упругой линии. Это возможно тремя способами:

аналитическим, графическим, графоаналитическим.

Положительное значение угла поворота указывает на то, что сечение поворачивается против часовой стрелки.

Положительное значение прогиба указывает, что центр тяжести сечения перемещается вверх, т.е. в сторону положительных значений ординат.

Во многих случаях по эксплуатационным соображениям максимальные прогибы ограничиваются допустимым прогибом.

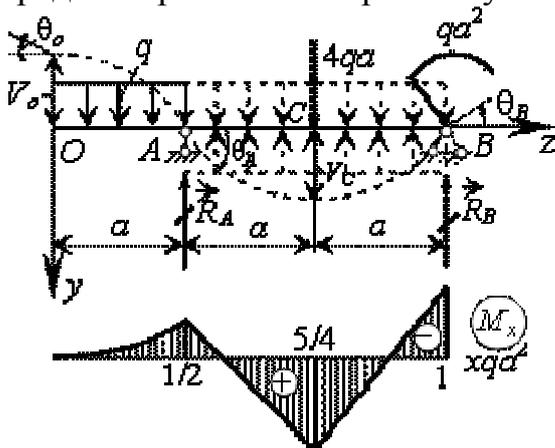
Перемещение для любой линейно деформированной системы при любой нагрузке можно определить методом О. Мора. Этот метод заключается в том, что кроме заданного (нагруженного) состояния k , выбирается дополнительное (фиктивное) состояние балки i нагруженной единичной силой, действующей в точке, где определяется перемещение, и направленной в направлении перемещения. Рассчитывается виртуальная работа внешних и внутренних сил фиктивного состояния на перемещениях, которые вызваны действием сил нагруженного состояния.

Вместо непосредственного вычисления интеграла Мора можно пользоваться графоаналитическим методом (способом перемножения эпюр) - правилом Верещагина. Интеграл равен произведению площади эпюры на расположенную под ее центром веса ординату прямолинейной эпюры

Знак считается положительным, если обе эпюры расположены с одной стороны. Результаты перемножения ряда эпюр приводятся в справочнике

Пример:

Определить углы поворота опорных сечений и прогибы на конце консоли и в середине пролета. Построить пунктиром вид изогнутой оси балки.



Решение.

1. Определение опорных реакций. Из уравнений равновесия имеем

$$2. \quad \sum m_B = 0, \quad R_A \cdot 2a = qa \cdot 2,5a + 4qa \cdot a - qa^2, \quad R_A = (11/4)qa,$$

$$\sum m_A = 0, \quad R_B \cdot 2a = qa^2 + 4qa \cdot a - qa \cdot 0,5a, \quad R_B = (9/4)qa.$$

2. Определение начальных параметров. Из условий опирания балки $V_A = V_B = 0$ или в развернутом виде

$$V_A = V(a) = V_0 + \theta_0 \cdot a + \frac{1}{EI_x} \left(\frac{qa^4}{24} \right) = 0,$$

$$V_B = V(3a) = V_0 + \theta_0 \cdot 3a + \frac{1}{EI_x} \left[\begin{array}{l} -\frac{R_A(2a)^3}{6} + \frac{4qa(a)^3}{6} + \\ + \frac{q(3a)^4}{24} - \frac{q(2a)^4}{24} \end{array} \right] = 0.$$

Таким образом, получаем систему

$$\left. \begin{aligned} V_o + \theta_o \cdot a &= -qa^4 / (24EI_x), \\ V_o + \theta_o \cdot 3a &= -7qa^4 / (24EI_x), \end{aligned} \right\}$$

откуда $\theta_o = qa^3 / (6EI_x), \quad V_o = -5qa^4 / (24EI_x).$

3. Определение искоемых перемещений. Угол поворота на опоре A

$$\theta_A = \theta_o + \frac{1}{EI_x} \left(\frac{qa^3}{6} \right) = \frac{qa^3}{EI_x} \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{6} \right) = \frac{qa^3}{3EI_x}.$$

Угол поворота на опоре B

$$\theta_B = \theta_o + \frac{1}{EI_x} \left[-\frac{R_A(2a)^2}{2} + \frac{4qa(a)^2}{2} + \frac{q(3a)^3}{6} - \frac{q(2a)^3}{6} \right] = \frac{qa^3}{EI_x} \left(\frac{1}{6} - \frac{11}{4} \cdot \frac{4}{2} + \frac{4}{2} + \frac{27}{6} - \frac{8}{6} \right) = -\frac{qa^3}{6EI_x}.$$

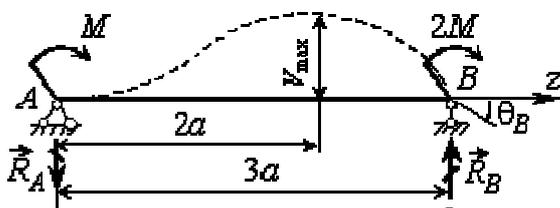
Прогиб посередине пролета (сеч. C)

$$v_C = v(2a) = v_o + \theta_o \cdot 2a + \frac{1}{EI_x} \left[-\frac{R_A(a)^3}{5} + \frac{q(2a)^4}{24} - \frac{q(a)^4}{24} \right] = \frac{qa^4}{EI_x} \left(-\frac{5}{24} + \frac{2}{6} - \frac{11}{4} \cdot \frac{1}{6} + \frac{16}{24} - \frac{1}{24} \right) = \frac{7}{24} \cdot \frac{qa^4}{EI_x}.$$

Примерный вид упругой линии балки показан на рисунке пунктиром.

Задание к практической работе №6

Определить место и значение наибольшего прогиба, а также углы поворота опорных сечений двухопорной балки постоянной жесткости, нагруженной сосредоточенными моментами.



После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

1. Какими параметрами характеризуется деформация изгиба?
2. Для чего нужно знать величины прогибов и углов поворота сечений?
3. Что такое упругая линия балки? Как выглядит дифференциальное уравнение этой линии? Какие приняты при этом допущения?
4. Какие теоретические способы определения перемещений в балках вам известны? Перечислите их, укажите достоинства и недостатки их применения.
5. Перечислите, какие условные правила необходимо выполнять при использовании универсального уравнения упругой линии.
6. Чем подтверждается пропорциональность между прогибами балки и нагрузкой на нее?

Практическая работа № 15 тема 2.5.
Тема: Определение изгиба деревянной балки до разрушения

Цель: Выработать умения оперировать полученными знаниями при выполнении расчетов балок на изгиб.

Оборудование:

тетрадь для практических работ, калькулятор, инструкционная карта, чертежные принадлежности.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач.

Время на выполнение работы: 2 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы № 15

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внимательно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.
5. Излагают выполнение задания в письменном виде .

При выполнении задания следует помнить, что для того, чтобы произвести расчет балки на изгиб, необходимо знать величину наибольшего изгибающего момента M и положение сечения, в котором он возникает. Точно также, надо знать и наибольшую поперечную силу Q . Для этой цели строят эпюры изгибающих моментов и поперечных сил. По эпюрам легко судить о том, где будет максимальное значение момента или поперечной силы.

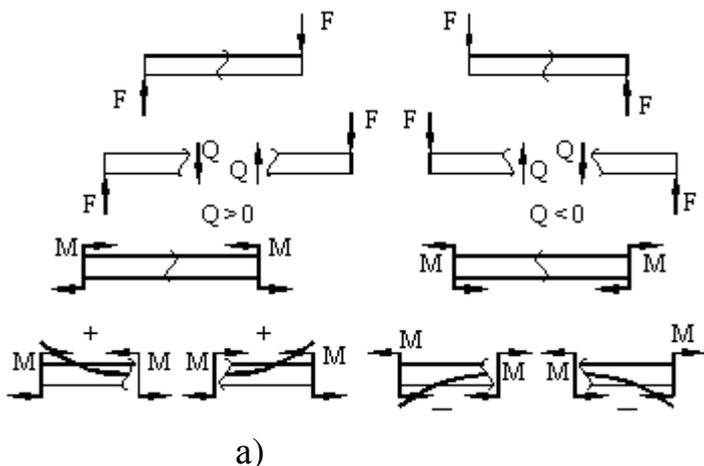
Перед тем, как определять внутренние усилия (поперечные силы и изгибающие моменты) и строить эпюры, как правило, надо найти опорные реакции, возникающие в закреплении стержня.

После определения опорных реакций внутренние усилия в статически определимых конструкциях определяем с помощью метода сечений.

При плоском поперечном изгибе в балке возникают два внутренних уси-

лия: поперечная сила Q и изгибающий момент M . В соответствии с методом сечений поперечную силу можно найти как сумму проекций всех внешних сил, взятых с одной стороны от сечения, на ось, перпендикулярную оси стержня (ось z). Изгибающий момент равен сумме моментов всех внешних сил, взятых с одной стороны от сечения, относительно оси, проходящей через центр тяжести рассматриваемого сечения (оси y).

Для того чтобы можно было вести расчет с любого конца балки, необходимо принять правило знаков для внутренних силовых факторов.



а)

б)

a - правило знаков для поперечной силы Q ; b - правило знаков для изгибающего момента M .

Если внешняя сила вращает отрезанную часть балки по часовой стрелке, то сила является положительной, если внешняя сила вращает отрезанную часть балки против хода часовой стрелки, то сила является отрицательной.

Если под действием внешней силы изогнутая ось балки принимает вид вогнутой чаши, то изгибающий момент является положительным. Если под действием внешней силы изогнутая ось балки принимает вид выпуклой чаши, то изгибающий момент является отрицательным.

Пример:

Для балки, изображенной на рис. построить эпюры поперечной силы Q_y и изгибающего момента M_x и определить опасное сечение. Пусть величины $P = 10$ кН, $a = 2$ м, $b = 3$ м.

Решение.

Определим реакции опор. Запишем уравнения равновесия статики. Из этих уравнений получим:

$$\sum z = 0; \quad H_A = 0.$$

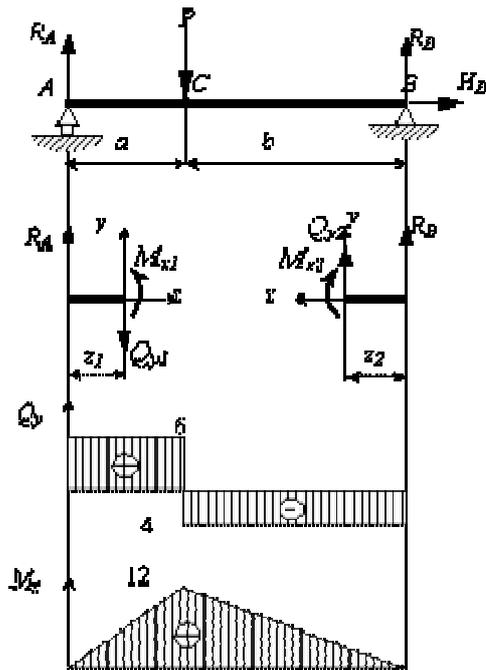
$$\sum m_A = 0; \quad R_B(a+b) - Pa = 0, \quad R_B = P \frac{a}{a+b} = 4 \text{ кН.}$$

$$\sum m_B = 0; \quad -R_A(a+b) + Pb = 0, \quad R_A = P \frac{b}{a+b} = 6 \text{ кН.}$$

Для проверки правильности определения реакции опор используем уравнение:

$$\sum y = 0; \quad R_A - P + R_B = 0.$$

$$6 - 10 + 4 = 0,$$



Значит, реакции определены правильно.

Определим внутренние усилия, возникающие в материале балки. Следует рассмотреть два участка, границами участков являются точки приложения сосредоточенной силы P и опорных реакций R_A и R_B . Обозначим границы участков буквами A , C и B .

Рассечем первый участок AC .

Отбросим правую часть, т.к. она сложнее.

Заменим отброшенную часть внутренними усилиями Q_y и M_x .

Уравновесим отсеченную часть, запишем уравнения равновесия:

$$\begin{aligned} \sum Y = 0; \quad R_A - Q_{y1} = 0, \quad \underline{Q_{y1} = R_A} \\ \sum m_x = 0; \quad M_{x1} - P \cdot z_1 = 0 \quad \underline{M_{x1} = P \cdot z_1} \end{aligned}$$

Вычислим Q_y и M_x в граничных точках участка:

при $z_1 = 0$, $Q_{y1} = R_A = 6$ кН, $M_{x1} = 0$;

при $z_1 = a = 2$ м, $Q_{y1} = R_A = 6$ кН, $M_{x1} = 12$ кНм.

Рассмотрим второй участок CB . Рассечем его и отбросим левую часть, заменим её внутренними силами. Из уравнений равновесия получим

$$\begin{aligned} \sum Y = 0; \quad R_B + Q_{y2} = 0, \quad \underline{Q_{y2} = -R_B} \\ \sum m_x = 0; \quad -M_{x2} - R_B \cdot z_2 = 0 \quad \underline{M_{x2} = R_B \cdot z_2} \end{aligned}$$

Вычислим Q_y и M_x в граничных точках участка:

при $z_2 = 0$, $Q_{y2} = -R_B = -4$ кН, $M_{x2} = 0$;

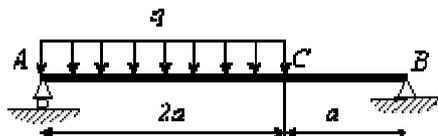
при $z_2 = a = 3$ м, $Q_{y2} = -R_B = -4$ кН, $M_{x2} = 12$ кНм.

Построим эпюры Q_y и M_x .

По полученным эпюрам определим опасное сечение, оно проходит через точку приложения силы P , так как M_x достигает там наибольшего значения.

Задание к практической работе №6

Для представленной на рис. балки построить эпюры внутренних сил, найти опасные сечения. Дано: $q = 10 \text{ кН/м}$; $a = 3 \text{ м}$.



После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

1. Какие силовые факторы возникают в сечении балки при чистом изгибе?
2. Какие силовые факторы возникают в сечении при поперечном изгибе?
3. Какой силовой фактор вызывает изгиб бруса? Охарактеризуйте тип деформации бруса при изгибе? Что такое нейтральный слой?
4. Что такое изгибающий момент (M_x)? Выразите M_x через напряжения в рассматриваемом сечении? Как определяется M_x через внешние силы?
5. Что такое поперечная сила (Q_y)? Как определяется Q_y через внешние силы?
6. Чем отличается статически определимая балка от статически неопределимой?

Практическая работа № 16-17 тема 2.5.

Тема: Решение задач на построение эпюр Q и M для балки Расчетно-графическая работа «Построение эпюр Q и M для балки при изгибе»

Цель: Выработать умения оперировать полученными знаниями при построении эпюр внутренних усилий для балок.

Оборудование:

тетрадь для практических работ, калькулятор, инструкционная карта, чертежные принадлежности.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач.

Время на выполнение работы: 4 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы № 16-17

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внима-

тельно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.
5. Излагают выполнение задания в письменном виде .

При выполнении задания следует помнить, что стержень, работающий на изгиб, называется балкой. В сечениях балок, нагруженных вертикальными нагрузками, возникают, как правило, два внутренних силовых фактора - поперечная сила Q_y и изгибающий момент M_x .

Поперечная сила в сечении численно равна алгебраической сумме проекций внешних сил, приложенных по одну сторону от рассматриваемого сечения, на поперечную (вертикальную) ось.

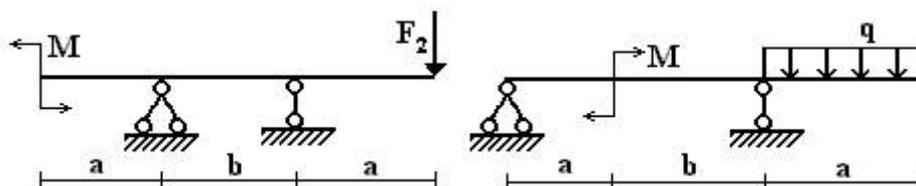
Правило знаков для Q_y : условимся считать поперечную силу в сечении положительной, если внешняя нагрузка, приложенная к рассматриваемой отсеченной части, стремится повернуть данное сечение по часовой стрелке и отрицательной - в противном случае.

Изгибающий момент M_x в сечении численно равен алгебраической сумме моментов внешних сил, приложенных по одну сторону от рассматриваемого сечения, относительно оси x , проходящей через данное сечение.

Правило знаков для M_x : условимся считать изгибающий момент в сечении положительным, если внешняя нагрузка, приложенная к рассматриваемой отсеченной части, приводит к растяжению в данном сечении нижних волокон балки и отрицательной - в противном случае.

Задание к практической работе №16

Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов для балки, изображенной на рисунке.



Задание к практической работе №17

Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов по данным своего варианта. Задание выбрать из сборника задач для расчетно-графических работ автор В.И. Сетков стр.18-21.

После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

1. Как определяют опорные реакции балки на двух опорах?
2. Какие точки являются характерными точками балки?
3. Какие напряжения возникают при деформации чистого изгиба?
4. Какой изгиб называется поперечным?

Практическая работа № 18 тема 2.6.

Тема: Расчет напряжения в поперечном сечении бруса, угла закручивания. Расчет валов на прочность

Цель: Выработать умения оперировать полученными знаниями при расчетах на прочность брусев круглого сечения.

Оборудование:

тетрадь для практических работ, калькулятор, инструкционная карта, чертежные принадлежности.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач.

Время на выполнение работы: 2 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы № 18

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внимательно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.

5. Излагают выполнение задания в письменном виде .

При выполнении задания следует помнить, что если на поверхности бруса круглого сечения нанести прямоугольную сетку, а на торцевой поверхности нанести радиальные линии, то после деформации кручение окажется что:

- все образующие поворачиваются на один и тот же угол γ , а прямоугольники, нанесенные на поверхности, превращаются в параллелограммы;
- торцевые сечения остаются круглыми, плоскими, расстояния между ними не меняются;
- каждое сечение поворачивается относительно другого на некоторый угол φ , называемый углом закручивания;
- радиальные линии на торцевой поверхности остаются прямыми.

Крутящий момент M_k , в сечении равен

$$M_x = \int_F \rho dF$$

Величина отношения полярного момента инерции к радиусу вала называется моментом сопротивления сечения при кручении или полярным моментом сопротивления

$$W_p = \frac{J_p}{R}$$

Для сплошного круглого сечения

$$W_p = \frac{\pi R^3}{2} = \frac{\pi D^3}{16}$$

Для кольцевого сечения

$$W_p = \frac{\pi R^3}{2} (1 - c^4) = \frac{\pi D^3}{16} (1 - c^4),$$

где $c = d/D$.

Тогда максимальные касательные напряжения равны

$$\tau_{\max} = \frac{M_x}{W_p}$$

Условие прочности при кручении с учетом принятых обозначений формулируется следующим образом: максимальные касательные напряжения, возникающие в опасном сечении вала, не должны превышать допускаемых напряжений и записывается в виде

$$\tau_{\max} = \frac{|M_x|_{\max}}{W_p} \leq [\tau]$$

Условие жесткости требует, чтобы максимальный относительный угол закручивания θ_{\max} , был меньше или в предельном случае равен допускаемому углу закручивания единицы длины вала, т.е.

$$\theta = \frac{T}{GI_p} \leq \theta_{\text{длн}}, \left[\frac{\text{рад}}{\text{м}} \right]$$

Из условия прочности можно найти необходимый для обеспечения проч-

ности полярный момент сопротивления сечения, а по нему и диаметр вала:

$$W_p = T / R_s, \text{ но } W_p = 0,2d^3, \text{ поэтому}$$

$$d_{\text{сп}} = \sqrt[3]{\frac{5T}{R_s}}$$

Пример:

Имеются два равнопрочных вала из одного материала, одинаковой длины, передающих одинаковый крутящий момент; один из них сплошной, а другой полый с коэффициентом полости $\alpha = 0,8$. Во сколько раз сплошной вал тяжелее полого?

Решение.

Равнопрочными валами из одинакового материала считаются такие валы, у которых при одинаковых крутящих моментах, возникают одинаковые максимальные касательные напряжения, то есть

$$\frac{M_k}{W_p^{\text{спл}}} = \frac{M_k}{W_p^{\text{пол}}}$$

Условие равной прочности переходит в условие равенства моментов сопротивления:

$$W_p^{\text{спл}} = W_p^{\text{пол}}$$

Откуда получаем:

$$\frac{\pi D_{\text{спл}}^3}{16} = \frac{\pi D_{\text{пол}}^3}{16} \cdot (1 - \alpha^4), \quad \frac{D_{\text{спл}}}{D_{\text{пол}}} = \sqrt[3]{(1 - \alpha^4)}$$

Отношение весов двух валов равно отношению площадей их поперечных сечений:

$$Q^{\text{спл}} : Q^{\text{пол}} = F^{\text{спл}} : F^{\text{пол}} = \frac{\pi D_{\text{спл}}^2}{4} : \frac{\pi D_{\text{пол}}^2}{4} \cdot (1 - \alpha^2)$$

Подставляя в это уравнение отношение диаметров из условия равной прочности, получим

$$\frac{Q^{\text{спл}}}{Q^{\text{пол}}} = \frac{(1 - \alpha^4)^{2/3}}{(1 - \alpha^2)} = 1,955$$

Как показывает этот результат, полый вал, будучи одинаковым по прочности, вдвое легче сплошного.

Задание к практической работе №18

Подобрать диаметр сплошного вала, передающего мощность $N=450$ л.с. при частоте вращения $n=300$ об/мин. Угол закручивания не должен превышать одного градуса на 2 метра длины вала; $[\tau] = 40$ МПа, $G = 8 \cdot 10^4$ МПа.

После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

1. Что называется полным и относительным углом закручивания?
2. Чему равен крутящий момент в сечении бруса?
3. Что можно определить по эпюре крутящих моментов?
4. Сформулируйте условие прочности бруса при кручении;
5. Как определить угол закручивания?

Практическая работа № 19 тема 2.8. Тема: Определение критической силы

Цель: Выработать умения оперировать полученными знаниями при расчетах центрально-сжатых стержней.

Оборудование:

тетрадь для практических работ, калькулятор, инструкционная карта, чертежные принадлежности.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач.

Время на выполнение работы: 2 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы № 19

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внимательно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.

5. Излагают выполнение задания в письменном виде .

При выполнении задания следует помнить, что расчет на устойчивость заключается в определении допускаемой сжимающей силы и в сравнении с ней силы действующей:

$$F \leq [F]; \quad [F] = \frac{F_{кр}}{[s_y]}; \quad F \leq \frac{F_{кр}}{[s_y]},$$

где F — действующая сжимающая сила;

$[F]$ — допускаемая сжимающая сила, обеспечивает некоторый запас устойчивости;

$F_{кр}$ — критическая сила;

$[s_y]$ — допускаемый коэффициент запаса устойчивости.

Обычно для сталей $[s_y] = 1,8 \div 3$; для чугуна $[s_y] = 5$; для дерева $[s_y] \approx 2,8$.

Способы определения критической силы.

Расчет по формуле Эйлера.

Для шарнирно закрепленного с обеих сторон стержня (рис. 1) формула Эйлера имеет вид

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 EJ_{min}}{l^2}$$

где E — модуль упругости;

J_{min} — минимальный осевой момент инерции стержня;

l — длина стержня.

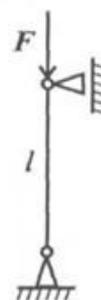


Рис.1

Длина стержня заменяется ее приведенным значением, учитывающим форму потери устойчивости в каждом случае: $l_{прив} = \mu l$, где μ — коэффициент приведения длины, зависящий от способа закрепления стержня (рис. 2).

Формула для расчета критической силы для всех случаев

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 EJ_{min}}{(\mu l)^2}$$

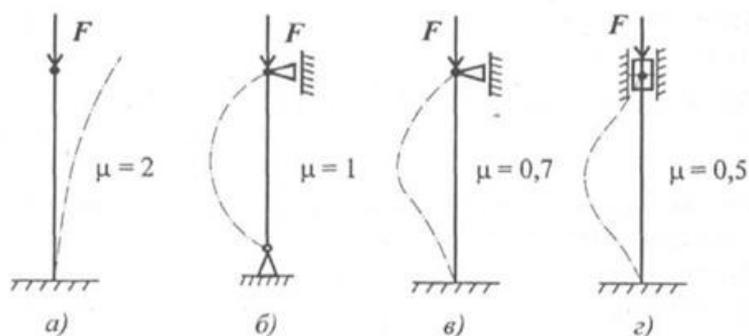


Рис.2

Критические напряжения.

Критическое напряжение — напряжение сжатия, соответствующее критической силе.

Напряжение от сжимающей силы определяется по формуле

$$\sigma_{\text{кр}} = \frac{F_{\text{кр}}}{A} = \frac{\pi^2 EJ_{\text{min}}}{(\mu l)^2 A}$$

где $\sigma_{\text{кр}}$ — напряжение сжатия, при котором стержень еще устойчив. Коэффициент квадратный из отношения минимального момента инерции сечения к площади поперечного сечения принято называть минимальным радиусом инерции i_{min} :

$$i_{\text{min}} = \sqrt{\frac{J_{\text{min}}}{A}}; \quad \frac{J_{\text{min}}}{A} = i_{\text{min}}^2$$

Тогда формула для расчета критического напряжения переписывается в виде

$$\sigma_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 E i_{\text{min}}^2}{(\mu l)^2}$$

Отношение $\mu l / i_{\text{min}}$ носит название гибкости стержня λ .

Гибкость стержня — величина безразмерная, чем больше гибкость, тем меньше напряжение.

Заметим, что гибкость не зависит от материала, а определяется только геометрией стержня.

Пределы применимости формулы Эйлера.

Формула Эйлера выполняется только в пределах упругих деформаций.

Таким образом, критическое напряжение должно быть меньше предела упругости материала.

Предел упругости при расчетах можно заменять пределом пропорциональности. Таким образом, $\sigma_{\text{кр}} \leq \sigma_{\text{у}} \approx \sigma_{\text{пц}}$, где $\sigma_{\text{у}}$ — предел упругости; $\sigma_{\text{пц}}$ — предел пропорциональности материала;

$$\sigma_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \leq \sigma_{\text{пц}} \quad \lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{\text{пц}}}};$$

$$\lambda_{\text{пред}} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{\text{пц}}}} \quad \text{- предельная гибкость.}$$

Предельная гибкость зависит от материала стержня.

В случае, если $\lambda < \lambda_{\text{пред}}$ в материале стержня возникают остаточные деформации. Поскольку в реальных конструкциях могут возникать пластические деформации, не приводящие к потере работоспособности, созданы эмпирические

ские формулы для расчетов в этих случаях.

Расчет критического напряжения по формуле Ф. О. Ясинского для стальных стержней

Таблица

Материал	σ , МПа	b , МПа	λ_0	$\lambda_{пред}$
Сталь Ст2	264	0,70	60	105
Сталь Ст3	310	1,14	60	100
Сталь 20, Ст4	328	1,15	60	96
Сталь 45	449	1,67	52	85
Дюралюмин Д16Т	406	1,83	30	53
Сосна, ель	29,3	0,194	-	70

Критическое напряжение определяется по формуле $\sigma_{кр} = a - b\lambda$. где a и b — коэффициенты, зависящие от материала; их значения представлены в таблице.

На рис. 3 представлена зависимость критического напряжения от гибкости стержня.



Рис. 3

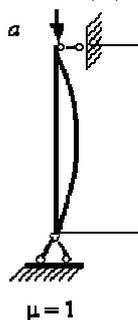
Ясинского можно определить как

$$F_{кр} = \sigma_{кр} A$$

Условие устойчивости: $F \leq \left[\frac{F_{кр}}{S_{\gamma}} \right]$.

Пример:

Определить критическую нагрузку для сжатого стального стержня, имеющего прямоугольное поперечное сечение 4×6 см. Концы стержня шарнирно закреплены. Длина стержня $l = 0,8$ м.



Решение.

Вычисляем минимальный радиус инерции поперечного сечения стержня:

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 4^3}{12} \cdot \frac{1}{6 \cdot 4}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \text{ см.}$$

Согласно рисунку принимаем $\mu = 1$.

Находим значение гибкости сжатого стержня:

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}} = \frac{1 \cdot 80}{\frac{2}{\sqrt{3}}} = 69,5.$$

Так как $\lambda = 69,5 < \lambda_{cr} = 100$, то для вычисления критического напряжения σ_{cr} используем формулу Ясинского $\sigma_{cr} = a - b\lambda + c\lambda^2$, предварительно выписав из таблицы (справочные данные) коэффициенты $a = 310$ МПа, $b = 1,14$ МПа, $c = 0$:

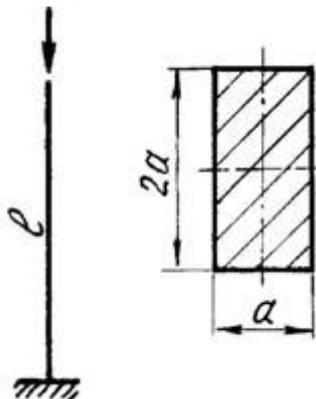
$$\sigma_{cr} = 310 - 1,14 \cdot 69,5 = 230,77 \text{ МПа}$$

$$\text{и тогда } F_{cr} = \sigma_{cr} \cdot A = 230,77 \cdot 0,04 \cdot 0,06 = 0,55 \text{ МН} = 550 \text{ кН.}$$

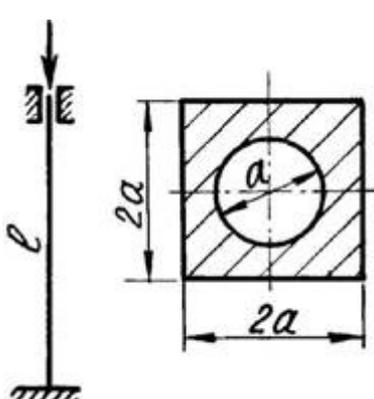
Задание к практической работе №19

Для стального стержня длиной l , сжимаемого силой P , требует найти величину критической силы и коэффициент запаса устойчивости n_y . Дано: $P = 500$ кН; $l = 2$ м; $a = 4$ см.

1 схема



2 схема



После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

1. Какое равновесие называется устойчивым?
2. Какие брусья следует рассчитывать на устойчивость?
3. Какую силу при расчете на устойчивость называют критической?
4. Напишите формулу Эйлера для расчета критической силы и назовите входящие величины и их единицы измерения.
5. Что называют гибкостью стержня, какой смысл заложен в этом названии? Назовите категории стержней в зависимости от гибкости.

6. От каких параметров стержня зависит предельная гибкость?
7. При каких условиях можно использовать формулу Эйлера для расчета критической силы?

Практическая работа № 20 тема 3.2.
Тема: Анализ геометрической неизменяемости
плоских стержневых систем

Цель: Выработать умения оперировать полученными знаниями при исследовании геометрической неизменяемости плоских стержневых систем.

Оборудование:

тетрадь для практических работ, калькулятор, инструкционная карта, чертежные принадлежности.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач.

Время на выполнение работы: 2 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы № 20

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внимательно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.
5. Излагают выполнение задания в письменном виде .

При выполнении задания следует помнить, что геометрически неизменяемой называется система, изменение формы которой возможно только вследствие деформации составляющих ее элементов. Систему, способную изменять форму в целом даже при бесконечно малых нагрузках без изменения размеров называют геометрически изменяемой.

Если система изменяема, то вся она или отдельные ее части имеют некото-

рую свободу перемещений. Степенью свободы называется число независимых геометрических параметров, определяющих положение всех элементов сооружения. Точка на плоскости имеет степень свободы равную двум, так как ее положение определяется двумя координатами.

Под диском понимается геометрически неизменяемый элемент сооружения. Простейшим диском является стержень. Диском является и земля или вообще неизменяемое основание сооружения.

У диска на плоскости степень свободы равна трем, так как он может перемещаться поступательно в двух направлениях и поворачиваться вокруг любой точки. Для обеспечения неизменяемости структуры и неподвижности сооружения диски соединяют различными устройствами, ограничивающими степень свободы. Всякое устройство, отнимающее у тела одну степень свободы, называется кинематической связью. В качестве связей используются шарниры и стержни. Шарниры бывают простыми и кратными. Простой шарнир соединяет два диска, кратный – более двух и эквивалентен $(n - 1)$ простым шарнирам, где n – число соединяемых дисков. Степень свободы W сооружения, состоящего из D дисков, соединенных $Ш$ простыми шарнирами и имеющего $С_0$ опорных стержней определяется

по формуле

$$W = 3D - (2Ш + С_0)$$

Для определения числа D необходимо предварительно отбросить все шарниры и опоры, а для определения числа $Ш$ - все опоры. В ходе кинематического анализа расчётной схемы сооружения даются ответы на два главных вопроса:

- 1) достаточно ли суммарное число внешних и внутренних связей в системе для того, чтобы при правильном их размещении обеспечить её геометрическую неизменяемость?
- 2) правильно ли расставлены связи?

Пример:

Произвести анализ геометрической неизменяемости системы ,

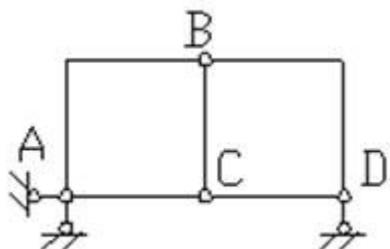
Определяем степень свободы системы по формуле :

$$W = 3D - 2Ш - C_0,$$

где D – число дисков,

$Ш$ – число простых шарниров,

C_0 – количество стержней.



Отбрасывая все шарниры и опорные стержни, находим, что система состоит из пяти дисков ($D=5$). Отбрасывая опорные стержни, определяем число шарниров, приведенных к простым ($Ш=6$: по два в точках B и C , по одному – в точках A и D). Число опорных стержней - $C_0=3$.

Отсюда $W = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 6 - 3 = 0$, то есть система может быть геометрически неизменяемой и статически неопределимой. Чтобы убедиться, что это так, выполним анализ структуры системы. Так как диски AB , BC и AC связаны тремя шарнирами A , B и C , не лежащими на одной прямой, то они образуют диск, к которому жестко присоединен диск BD с помощью шарнира B и стержня CD , ось которого не проходит через центр шарнира. Эта неизменяемая фигура жестко присоединена к земле с помощью трех стержней, не пересекающихся в одной точке. Таким образом, система геометрически неизменяема и не является мгновенно изменяемой.

Задание к практической работе №6

1. Выполнить анализ геометрической неизменяемости системы (рис.1).

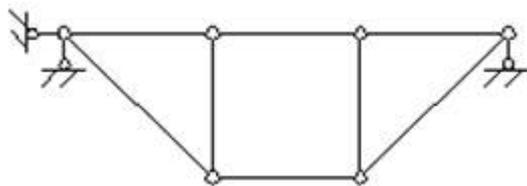


Рис.1.

2. Исследовать ферму на геометрическую неизменяемость (рис.2.)

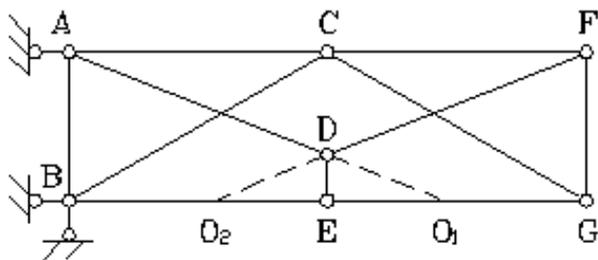


Рис.2.

После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

1. Какая система называется геометрически неизменяемой?
2. Что является характерной особенностью геометрически изменяемой системы?
3. Что называется степенью свободы системы?
4. Перечислите и охарактеризуйте три основных вида связей, применяемых при образовании неизменяемых плоских систем;

Практическая работа № 21 тема 3.3.

Тема: Расчетно-графическая работа « Расчет шарнирной балки»

Цель: Выработать умения оперировать полученными знаниями при расчетах многопролетных статически определимых (шарнирных) балок.

Оборудование:

тетрадь для практических работ, калькулятор, инструкционная карта, чертежные принадлежности.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач.

Время на выполнение работы: 2 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы №21

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внимательно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.
5. Излагают выполнение задания в письменном виде .

При выполнении задания следует помнить, что статический расчет шарнирной балки заключается в построении эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Внутренние усилия в сечениях балки возникают под действием приложенных к ней внешних сил. Поперечная сила численно равна алгебраической сумме проекций всех внешних сил, действующих по одну сторону от сечения на ось, перпендикулярную оси балки. Проекция той внешней силы, которая стремится рассматриваемую часть балки вращать по часовой стрелке, приписывается знак плюс, в противном случае- минус.

Изгибающий момент в сечении балки численно равен алгебраической сумме моментов всех внешних сил, действующих по одну сторону от рассматриваемого сечения, относительно центра тяжести данного сечения. Моменту той внешней силы, которая стремится рассматриваемую часть балки деформи-

ровать выпуклостью вниз, приписывается знак плюс; в противном случае- минус. При расчете используем способ расчленения балки на составляющие ее элементы. Последовательность расчета следующая: 1. Вводим промежуточные шарниры и определяем выполняется ли условие статической неопределимости и геометрической неизменяемости; 2. Составляем схему взаимодействия элементов балки; 3. Рассчитываем подвесную балку; 4. Рассчитываем основные балки; 5. Строим общую для всей шарнирной балки эпюру поперечных сил. Для этого эпюры, полученные для каждого отдельного элемента, располагаем на одной оси, вычертив их в одном масштабе; 6. Строим общую для всей шарнирной балки эпюру изгибающих моментов(аналогично общей для всей балки эпюре Q).

Порядок расчета.

1. Вычисляем реакции опор.

$$\sum M_A = 0: R_B \cdot 5 - M - F \cdot 3 - q \cdot 2 \cdot 1 = 0; R_B = 30 \text{ кН};$$

$$\sum M_B = 0: R_A \cdot 5 + M - F \cdot 2 - q \cdot 2 \cdot 4 = 0; R_A = 40 \text{ кН}.$$

Проверка:

$$\sum F_{iy} = 0: R_A - q \cdot 2 - F + R_B = 40 - 20 \cdot 2 - 30 + 30 = 0$$

2. Намечаем характерные сечения.

3. Определяем поперечные силы в характерных сечениях.

$$Q_{y,1} = R_A = 40 \text{ кН};$$

$$Q_{y,2} = Q_{y,3} = R_A - q \cdot 2 = 40 - 40 = 0;$$

$$Q_{y,4} = Q_{y,5} = Q_{y,6} = Q_{y,7} = -R_B = -30 \text{ кН}.$$

Строим эпюру Q_y .

4. Определяем изгибающие моменты в характерных сечениях.

$$M_{x,1} = 0;$$

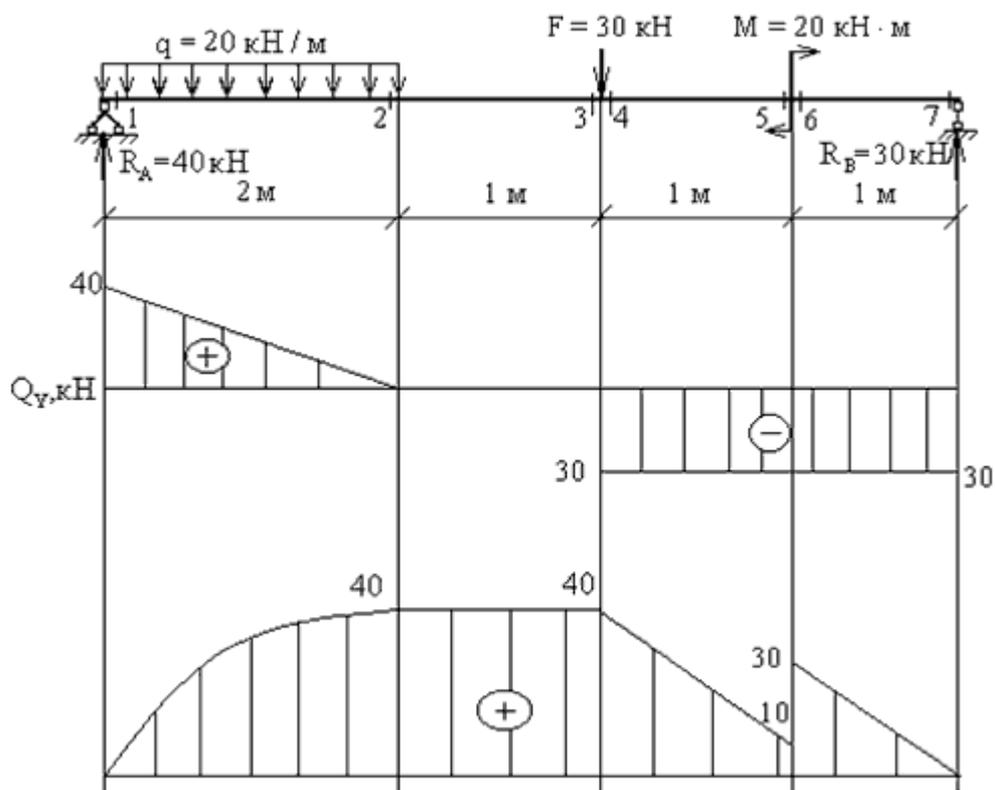
$$M_{x,2} = R_A \cdot 2 - q \cdot 2 \cdot 1 = 80 - 40 = 40 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{x,3} = M_{x,4} = R_A \cdot 3 - q \cdot 2 \cdot 2 = 120 - 80 = 40 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{x,5} = R_B \cdot 1 - M = 30 - 20 = 10 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{x,6} = R_B \cdot 1 = 30 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{x,7} = 0.$$



Задание к практической работе №21

Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов для шарнирной балки по данным своего варианта. Задание выбрать из сборника задач для расчетно-графических работ автор В.И. Сетков стр.202- 205

После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

- 1.Какая система называется шарнирной балкой?
- 2.Сформулировать правила размещения промежуточных шарниров в шарнирных балках;
- 3.Что представляют собой поэтажные схемы шарнирных балок?
- 4.Сформулировать правила определения поперечной силы и изгибающего момента в сечениях шарнирной балки;
- 5.Сформулировать правила построения эпюр внутренних усилий;

Практическая работа № 22 тема 3.4.

Тема: Построение эпюр продольных, поперечных сил и изгибающих моментов для рам

Цель: Выработать умения оперировать полученными знаниями при расчетах статически определимых плоских рам.

Оборудование:

тетрадь для практических работ, калькулятор, инструкционная карта, чертежные принадлежности.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач.

Время на выполнение работы: 2 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы №22

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внимательно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.
5. Излагают выполнение задания в письменном виде .

При выполнении задания следует помнить, что статически определимая рама – конструкция, состоящая из нескольких изгибаемых стержней, закрепленных так, что опорные реакции и внутренние усилия можно найти с помощью уравнений статики. Чаще всего стержни рамы соединены между собой жестким образом, так, что в процессе деформации угол между стержнями не меняется. Мы будем рассматривать только плоские рамы, стержни которых расположены под углом 90° . Вертикальные стержни рамы принято называть стойками, горизонтальные – ригелями. В стержнях плоских рам возникают три внутренних усилия: продольная и поперечная силы и изгибающий момент.

Внутренние усилия в рамах определяются методом сечений, и порядок их нахождения тот же, что и для балок. Из шести внутренних силовых факторов в сечениях плоской рамы в общем случае возникают три: продольная сила N ; поперечная сила Q ; изгибающий момент M . Напомним, что согласно методу сечений:

- продольная сила N равна сумме проекций всех сил, действующих с одной стороны от сечения, на ось стержня;
- поперечная сила Q равна сумме проекций всех сил, действующих с одной стороны от сечения, на ось, перпендикулярную оси стержня;
- изгибающий момент M равен сумме моментов всех сил, действующих с одной стороны от сечения, относительно оси, проходящей через центр тяжести рассматриваемого сечения.

Правила знаков для продольной и поперечной сил те же, что и раньше: растягивающая продольная сила положительна, поперечная сила положительна, если она обходит сечение по ходу часовой стрелки. Правило знаков для изгибающего момента в рамах следующее: момент считается положительным, если он изгибает стержень рамы выпуклостью вовнутрь (для некоторых рам невозможно определить, где внешняя часть рамы, а где внутренняя. В этом случае знак изгибающего момента не определяется и эпюра изгибающих моментов строится со стороны растянутых волокон без знака).

На эпюрах N и Q положительные значения принято откладывать снаружи, на эпюре M – внутри – со стороны растянутых волокон.

Пример:

Построить эпюры продольных, поперечных сил и изгибающих моментов для рамы.

Для определения опорных реакций в плоских шарнирных рамах используются следующие уравнения равновесия:

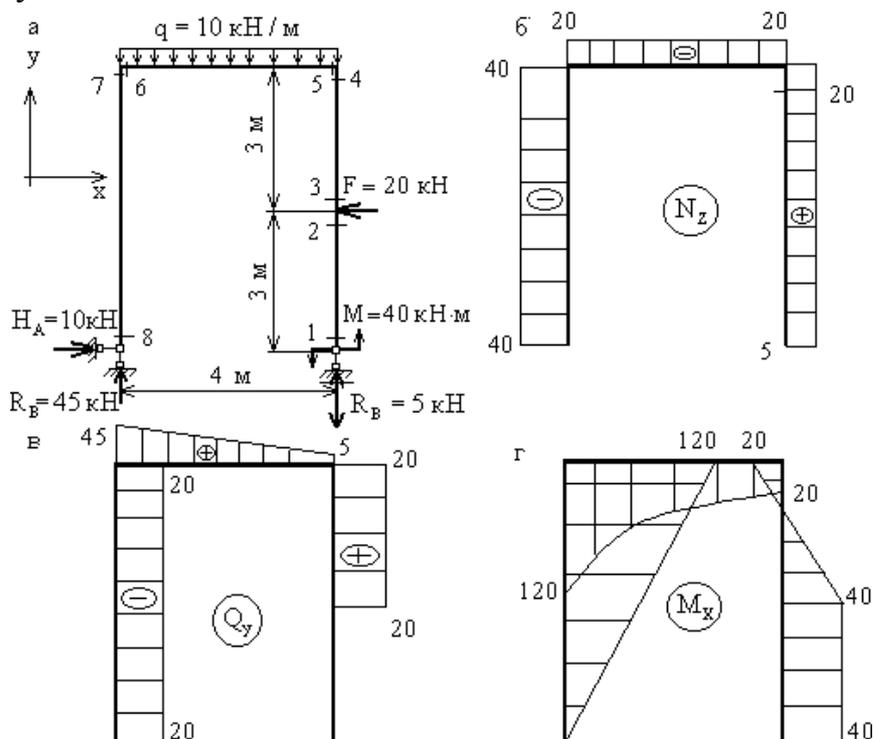
$$1) \sum F_{xi} = 0 \text{ (или } \sum F_{yi} = 0);$$

$$2) \sum M_{Ai} = 0;$$

$$3) \sum M_{Bi} = 0.$$

Первое уравнение равновесия используется в том из двух приведенных вариантов, который будет содержать одну неизвестную опорную реакцию.

Так, в рассматриваемом примере этим условием будет $\sum F_{xi} = 0$, которое будет содержать неизвестную реакцию H_A (в то время как условие $\sum F_{yi} = 0$ содержало бы две неизвестных реакции). Если бы опоры располагались так, что вертикальным является один стержень, то в качестве первого шага использовалось условие $\sum F_{yi} = 0$.



Второе и третье уравнения равновесия ($\sum F_{Ai} = 0$, $\sum F_{Bi} = 0$) - такие же, как и для балок, но в одно из них обязательно войдет реакция, вычисленная из первого уравнения (иногда - с нулевым плечом).

В качестве проверки вычисленных реакций используется условие, противоположное первому, то есть $\sum F_{yi} = 0$ или $\sum F_{xi} = 0$.

Построение эпюр N_z , Q_y и M_x в шарнирных рамах выполняется так же, как и в заземленных, но "с меньшими затратами", так как после вычисления реакций опор направление обхода рамы не играет роли, и выбор отсеченной части в каждом случае определяется ее простотой.

Вычислим реакции опор рамы (рис. а)

Уравнения статики:

$$1) \sum F_{xi} = 0: H_A - F = 0; H_A = F = 20 \text{ кН}$$

$$2) \sum M_A = 0: q \cdot 4 \cdot 2 - F \cdot 3 - M - R_B \cdot 4 = 0; R_B = -5 \text{ кН}$$

$$3) \sum M_B = 0: R_A \cdot 4 - q \cdot 4 \cdot 2 - F \cdot 3 - M = 0; R_A = 45 \text{ кН}$$

Знак "-", полученный при вычислении реакции R_B , говорит, что принятое для нее направление нужно изменить на противоположное. Выполним проверку:

$$\sum F_{yi} = 0: R_A - q \cdot 4 - R_B = 45 - 40 - 5 = 0,$$

то есть реакции опор вычислены правильно.

Построение эпюры N_z .

Двигаясь по оси рамы от сечения 1 к сечению 6, получим:

$$N_{z,1} = N_{z,2} = N_{z,3} = N_{z,4} = R_B = 5 \text{ кН},$$

$$N_{z,5} = N_{z,6} = -F = -45 \text{ кН}.$$

Для сечений 7 и 8 проще рассматривать отсеченную часть, продвигаясь от опоры А к сечению 7:

$$N_{z,8} = N_{z,7} = -R_A = -45 \text{ кН}.$$

Этот же результат получим из рассмотрения отсеченной части 1-6:

$$N_{z,7} = N_{z,8} = -R_B - q \cdot 4 = -45 \text{ кН}.$$

По вычисленным значениям строим эпюру N_z (рис. б)

Построение эпюры Q_y .

Из рассмотрения отсеченной части 1-5:

$$Q_{y,1} = Q_{y,2} = 0,$$

$$Q_{y,3} = Q_{y,4} = F = 20 \text{ кН},$$

$$Q_{y,1} = R_A = 5 \text{ кН.}$$

Из рассмотрения отсеченной части 8-6:

$$Q_{y,8} = Q_{y,7} = -H_A = -20 \text{ кН,}$$

$$Q_{y,1} = R_A = 45 \text{ кН.}$$

Эпюра Q_y , построенная по вычисленным значениям, показана на рис. в.

Построение эпюры M_x .

Из рассмотрения отсеченной части 1-5:

$$M_{x,1} = M_{x,2} = M = 40 \text{ кНм (сжаты правые волокна стойки);}$$

$$M_{x,3} = M_{x,2} = 40 \text{ кНм (плечо силы F равно нулю);}$$

$M_{x,4} = M_{x,5} = M - F \cdot 3 = -20 \text{ кНм (сжаты левые волокна стойки в сечении 4 и нижние волокна ригеля в сечении 5);}$

Из рассмотрения отсеченной части 8-6:

$$M_{x,8} = 0,$$

$$M_{x,7} = M_{x,6} = H_A \cdot 6 = 120 \text{ кНм}$$

(сжаты правые волокна стойки и нижние волокна ригеля в сечениях 7 и 6 соответственно).

Эпюра M_x показана на рис. г.

Задание к практической работе №22

Построить эпюры продольных, поперечных сил и изгибающих моментов для статически определимой плоской рамы по данным своего варианта. . Задание выбрать из сборника задач для расчетно-графических работ автор В.И. Сетков стр.68- 71

После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

- 1.Как определяется степень статической неопределимости рамной системы?
- 2.Сформулировать правила определения внутренних усилий в сечениях элементов рамы;
- 3.Сформулировать правила знаков при построении эпюр продольных и поперечных сил, изгибающих моментов;
- 4.Сформулировать правила, определяющие численные значения продольных, поперечных сил, изгибающих моментов;
- 5.Как проверить правильность построения эпюр?

Практическая работа № 23 тема 3.6.

Тема: Расчетно-графическая работа «Графическое определение усилий в стержнях ферм»

Цель: Выработать умения оперировать полученными знаниями при расчетах статически определимых плоских ферм.

Оборудование:

тетрадь для практических работ, калькулятор, инструкционная карта, чертежные принадлежности.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач.

Время на выполнение работы: 2 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы №23

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внимательно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

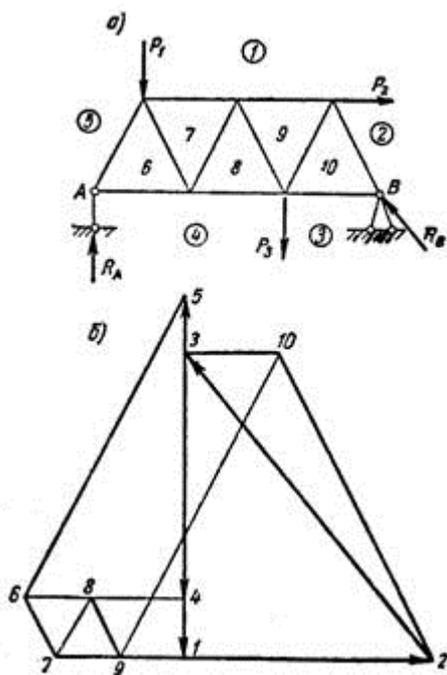
Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.
5. Излагают выполнение задания в письменном виде .

При выполнении задания следует помнить, что в первую очередь определяем аналитически или графически опорные реакции фермы. Обходя вокруг фермы в одном избранном направлении (по или против часовой стрелки), нумеруем поля между линиями действия соседних внешних сил (рис. а). Строим силовой многоугольник внешних сил, изображая силы в порядке нумерации полей (рис. б). Нумеруем поля внутри фермы и строим силовой многоугольник для каждого из узлов фермы, изображая приложенные к узлу силы в том порядке, в котором они встречаются при обходе вокруг узла в принятом ранее направлении (см. рис. б). Полученный совмещенный для всех узлов силовой многоугольник позволяет определить не только величину, но и знак всех усилий: усилие, направленное от узла, имеет знак плюс, т. е. данный стержень растянут. Растяжение на диаграмме обозначается тонкой линией, сжатие - жирной. Построение диаграммы оказывается невозможным, если встречается узел, в котором сходятся более двух неизвестных усилий. В этом случае может оказаться полезным прием: одно или несколько усилий определяются аналитически, после чего построение диаграммы можно продолжать.



Построение диаграммы Максвелла - Кремоны

Диаграмма Максвелла - Кремоны начинается с построения верёвочного многоугольника внешних сил. Для начала определяют внешние и внутренние поля фермы. Внешние поля фермы обозначаются заглавными буквами латинского алфавита, внутренние - строчными. Внешние поля ограничены линиями действия внешних нагрузок, опорных реакций и стержнями, помещёнными на внешнем контуре фермы. Внутри поля ограничиваются только стержнями фермы и лежат внутри контура фермы (рис 1.).

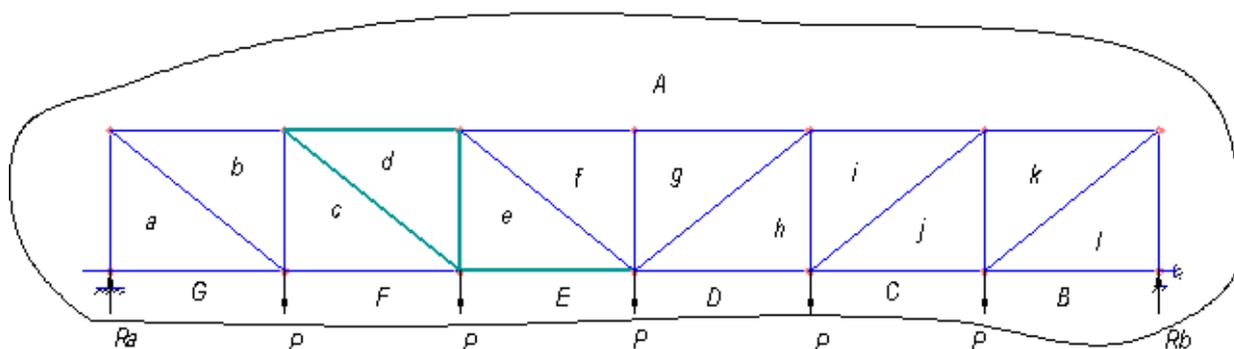


Рис. 1

Поля на диаграмме Максвелла - Кремоны обозначаются точками. Выбираем два поля на схеме, разделённых опорной реакцией.

Выбираем масштабный коэффициент:

$$K = \frac{AB}{R_A} = \frac{55 \text{ мм}}{27,5 \text{ кН}} = 2 \text{ мм/кН}$$

На диаграмме опорные реакции и внешние усилия, а так же внутренние усилия стержней обозначаются отрезками.

Неизвестные точки, обозначающие внутренние поля, находятся в пересечении двух линий, на которых будут обозначаться отрезками усилия, лежащие между уже известными внешними (внутренними) полями (рис.2).

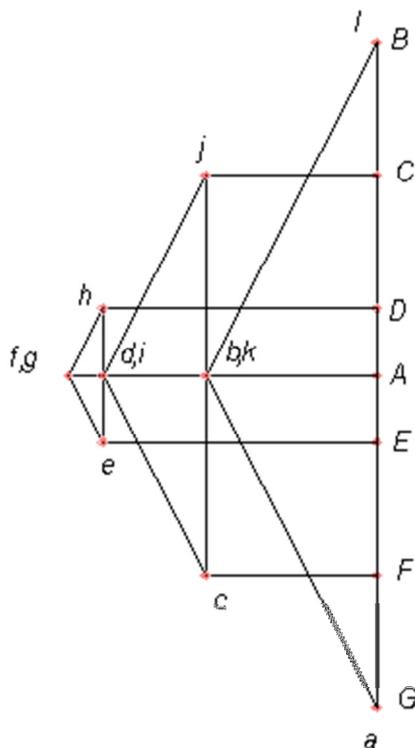


Рис.2

$$S_{DF} = \frac{Ad}{K} = \frac{44}{2} = -22 \text{ кН}$$

$$S_{DG} = \frac{dc}{K} = \frac{36.9}{2} = 18.5 \text{ кН}$$

$$S_{FG} = \frac{de}{K} = \frac{11}{2} = -5.5 \text{ кН}$$

$$S_{GI} = \frac{eE}{K} = \frac{44}{2} = 22 \text{ кН}$$

Задание к практической работе №23

Определить усилия в стержнях фермы путем построения диаграммы усилий Максвелла-Кремоны по данным своего варианта. . Задание выбрать из сборника задач для расчетно-графических работ автор В.И.Сетков стр.78-81.

После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

- 1.Какая система называется фермой?
- 2.Дать определение: узел фермы; пролет фермы; верхний пояс; нижний пояс; решетка фермы; стойка фермы; раскос; длина панели.
- 3.По каким признакам классифицируют фермы?

4. Выразить необходимое условие геометрической неизменяемости ферм;
5. Как определить реакции опор фермы?
6. Какими способами можно определить усилия в стержнях ферм?

Практическая работа № 24 тема 3.8.

Тема: Расчетно-графическая работа «Расчет статически неопределимой плоской рамы с одной лишней неизвестной»

Цель: Выработать умения оперировать полученными знаниями при расчетах статически неопределимых систем по методу сил.

Оборудование:

тетрадь для практических работ, калькулятор, инструкционная карта, чертежные принадлежности.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач.

Время на выполнение работы: 2 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы №24

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внимательно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.
5. Излагают выполнение задания в письменном виде .

При выполнении задания следует помнить, что порядок решения следующий:

1. Определение степени статической неопределимости

Степень статической неопределимости рассчитывают по формуле

$$n = 3K - III,$$

где K - количество замкнутых контуров в системе, включая опорные; III - количество одинарных шарниров в системе, включая опорные.

В нашем примере, если мысленно замкнуть землю (см. пунктирную линию на рис.7.38, а), имеем $K = 2$, $III = 4$, $n = 3 \times 2 - 4 = 2$. Таким образом, заданная рама дважды статически неопределима, или, другими словами, имеет две лишние связи.

2. Выбор основной системы

Известно, что основная система определяется из заданной путем отбрасывания лишних связей и приложением соответствующих усилий, возникающих в отброшенных связях в заданной системе. При этом основная система должна быть статически определимой и геометрически неизменяемой.

Сравнивая три варианта основных систем (рис.7.38, б - 7.38, г) приходим к выводу, что наиболее целесообразно в качестве основной системы выбрать I-ый вариант (рис.7.38, б), так как в этом случае:

- не требуется предварительное вычисление опорных реакций;
- эпюры изгибающих моментов, построенные в этой схеме от воздействия на нее каждого из усилий $X_1 = 1$, $X_2 = 1$, P и q , будут распространены на меньшем количестве участков системы и представлены простейшими геометрическими фигурами. Это значительно облегчает процесс определения коэффициентов канонических уравнений.

3. Составление системы канонических уравнений

Канонические уравнения, необходимые для решения статически неопределимых задач, представляют собой уравнения совместности деформаций. Число их всегда равно степени статической неопределимости. Физический смысл каждого из канонических уравнений, как было указано выше, состоит в том, что суммарное перемещение по направлению усилий X_i от всех действующих в основной системе силовых факторов, включая и неизвестные, равно 0, так как в действительности в этих направлениях стоят связи, препятствующие возникновению перемещений по направлению этих неизвестных.

Для рассматриваемого случая канонические уравнения имеют вид:

$$\begin{cases} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \Delta_{1P} + \Delta_{1q} = 0; \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \Delta_{2P} + \Delta_{2q} = 0. \end{cases}$$

(7.59)

4. Вычисление коэффициентов канонических уравнений

Так как все коэффициенты канонических уравнений представляют собой перемещения, то для их вычисления вначале строят единичные и грузовые эпюры изгибающих моментов в основной системе. Затем по формуле Мора с применением готовых формул или правила Верещагина определим их значения.

Эпюры изгибающих моментов, построенные в основной системе от воздействия на нее каждого в отдельности усилия $X_1 = 1$; $X_2 = 1$; P и q , показаны на рис.7.38, д - 7.38, з.

Исходя из единичных и грузовых эпюр определяем коэффициенты канонических уравнений:

$$\delta_{11} = \frac{1}{EJ_c} \cdot 2 \cdot 6 \cdot 6 + \frac{1}{EJ_p} \cdot \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 6 \cdot \frac{2}{3} \cdot 6 = \frac{108}{EJ_c};$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = -\frac{1}{EJ_c} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 2 \cdot 6 - \frac{1}{EJ_p} \cdot \frac{6+3}{2} \cdot 3 \cdot 2 = -\frac{25,5}{EJ_c};$$

$$\delta_{22} = 2 \cdot \frac{1}{EJ_c} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 2 + \frac{1}{EJ_p} \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2 = \frac{11,333}{EJ_c};$$

$$\Delta_{1p} = \frac{1}{EJ_c} \cdot 18 \cdot 2 \cdot 6 - \frac{1}{EJ_p} \cdot \frac{3}{6} \cdot [2 \cdot (6 \cdot 18 + 3 \cdot 6) + 3 \cdot 18] -$$

$$- \frac{1}{EJ_p} \cdot \frac{3}{2 \cdot 6} \cdot [2 \cdot 3 \cdot 6 - \frac{3}{2} \cdot 6] = -\frac{307,125}{EJ_c};$$

$$\Delta_{1q} = -\frac{1}{EJ_c} \cdot 6 \cdot 2 \cdot 9 - \frac{1}{EJ_p} \cdot \frac{3 \cdot 9}{2} \cdot (3 \cdot 6 + 3) = -\frac{131,625}{EJ_c};$$

$$\Delta_{2p} = \frac{1}{EJ_c} \cdot 18 \cdot 2 \cdot \frac{2}{2} + \frac{1}{EJ_p} \cdot \frac{18+6}{2} \cdot 3 \cdot 2 = \frac{72}{EJ_c};$$

$$\Delta_{2q} = \frac{1}{EJ_c} \cdot 9 \cdot 2 \cdot \frac{2}{2} + \frac{1}{EJ_p} \cdot \frac{1}{3} \cdot 9 \cdot 3 \cdot 2 = \frac{27}{EJ_c}.$$

(7.60)

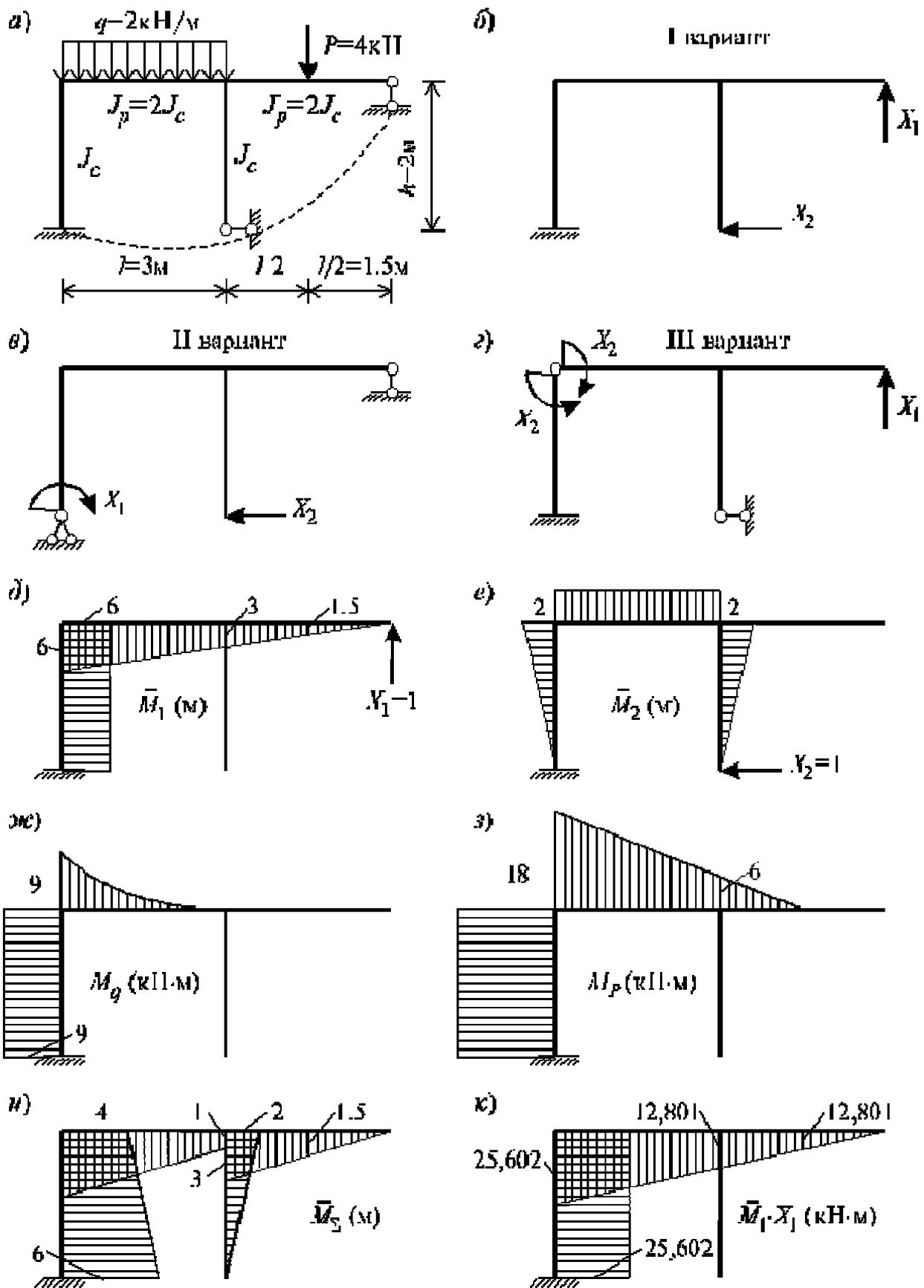


Рис.7.38

5. Решение системы канонических уравнений и проверка ее правильности

Подставив в систему уравнений значения коэффициентов канонических уравнений, получим:

$$\begin{cases} 108X_1 - 25,5X_2 - 307,125 - 131,625 = 0, \\ -25,5X_1 + 11,333X_2 + 72 + 27 = 0. \end{cases} \quad (7.63)$$

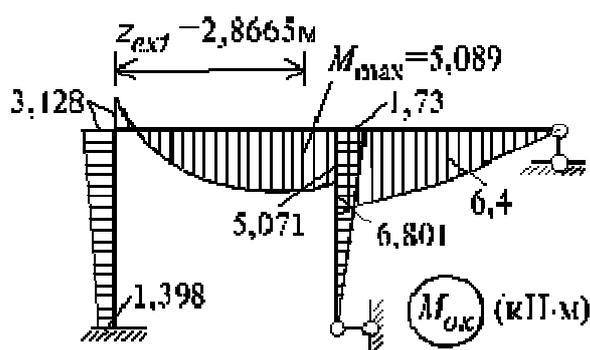
Решив эту систему уравнений, найдем значения неизвестных:

$$X_1 = 4,267 \text{ кН}; X_2 = 0,865 \text{ кН}.$$

Правильность вычисления неизвестных проверим путем подстановки найденных значений X_1 и X_2 в исходные уравнения:

$$\begin{aligned} 108 \times 4,267 - 25,5 \times 0,865 - 438,750 &= 460,836 - 460,808 \approx 0; \\ -25,5 \times 4,267 + 11,333 \times 0,865 + 99 &= -108,808 + 108,803 \approx 0. \end{aligned}$$

7. Построение окончательной эпюры изгибающих моментов $M_{ок}$



Задание к практической работе № 24

Построить эпюру изгибающих моментов от заданной нагрузки для заданной системы для статически неопределимой рамы по данным своего варианта. . Задание выбрать из сборника задач для расчетно-графических работ автор В.И. Сетков стр.188-191.

После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

1. Какие системы называются статически неопределимыми?
2. Охарактеризовать основные свойства статически неопределимых систем;
3. Как определить степень статической неопределимости?
4. Какая система называется основной системой метода сил?
5. Что называют каноническими уравнениями метода сил?
6. Привести последовательность расчета статически неопределимых систем методом сил;

Практическая работа № 25 тема 3.9.

Тема: Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов для неразрезных балок

Цель: Выработать умения оперировать полученными знаниями при расчетах многопролетных неразрезных балок.

Оборудование:

тетрадь для практических работ, калькулятор, инструкционная карта, чертежные принадлежности.

Основные умения и навыки: применение полученных знаний для решения практических задач.

Время на выполнение работы: 2 часа

Используемая литература:

Сетков В.И. «Техническая механика для строительных специальностей»

Методические указания по выполнению практической работы №25

Практическая работа выполняется обучающимися самостоятельно, но под контролем преподавателя, так как для принятия решения необходимо внимательно прочитать условия задачи и проанализировать их. Выполнение каждого задания начинается с внимательного ознакомления с его содержанием. Необходимо уяснить его смысл и условия, исходя из которых, нужно дать ответы на поставленные вопросы.

Выполнение задания должно быть представлено в письменной форме.

С этой целью рекомендуется условия первого задания проанализировать, работая коллективно, по группам; совместно выработать решение по вопросам, поставленным в задании, под диктовку преподавателя правильно сформулировать ответ и записать в тетрадь для практических работ. Эта запись будет служить образцом для оформления ответов

При выполнении практической работы обучающиеся совершают действия в следующем порядке:

1. Изучают условия задачи.
2. Повторяют учебный материал по конспекту
3. На основе повторенного материала, выполняют задания.
5. Излагают выполнение задания в письменном виде .

При выполнении задания следует помнить, что неразрезной балкой называется статически неопределимая балка, опирающаяся в пролете на конечное число шарнирных опор. Крайние сечения неразрезной балки могут быть свободны, заделаны или шарнирно оперты. Одна из опор неразрезной балки имеет связь, препятствующую смещению балки вдоль ее оси.

Расчет неразрезной балки (рис. 24, а) можно выполнить, как и любой статически неопределимой системы методом сил. Основную систему для расчета неразрезной балки получим, удалив из нее связи, препятствующие взаимному повороту смежных сечений балки над ее опорами, т.е. поместив шарниры в опорных сечениях балки (рис. 24, б).

Неизвестными являются изгибающие моменты, возникающие в сечении

неразрезной балки над опорами.

Выделим из основной системы четыре примыкающих друг к другу пролета со средней опорой номером n и построим единичные и грузовые эпюры (рис. 25). Из анализа единичных эпюр видно, что в любом каноническом уравнении только три единичных

коэффициента будут отличны от нуля. Напишем одно из канонических уравнений в общем виде:

$$\delta_{n,n-1}X_{n-1} + \delta_{n,n}X_n + \delta_{n,n+1}X_{n+1} + \Delta_{n,p} = 0 \quad (14.22)$$

Подсчитаем единичные и грузовые коэффициенты, применяя правило Верещагина «перемножения» эпюр:

$$\begin{aligned} \delta_{n,n-1} &= \frac{1}{EI_n} \cdot \frac{1 \cdot l_n}{2} \cdot \frac{1}{3} = \frac{l_n}{6EI_n}; \\ \delta_{n,n} &= \frac{1}{EI_n} \cdot \frac{1 \cdot l_n}{2} \cdot \frac{2}{3} + \frac{1}{EI_{n+1}} \cdot \frac{1 \cdot l_{n+1}}{2} \cdot \frac{2}{3} = 2 \cdot \left(\frac{l_n}{6EI_n} + \frac{l_{n+1}}{6EI_{n+1}} \right); \\ \delta_{n,n+1} &= \frac{1}{EI_{n+1}} \cdot \frac{1 \cdot l_{n+1}}{2} \cdot \frac{1}{3} = \frac{l_{n+1}}{6EI_{n+1}}; \\ \Delta_{n,p} &= \frac{1}{EI_n} \cdot \Omega_n \cdot \frac{a_n}{l_n} + \frac{1}{EI_{n+1}} \cdot \Omega_{n+1} \cdot \frac{b_n}{l_{n+1}}. \end{aligned} \quad (14.23)$$

Подставим найденные коэффициенты в (14.22), получим:

$$\begin{aligned} \frac{l_n}{6EI_n} \cdot X_{n-1} + 2 \cdot \left(\frac{l_n}{6EI_n} + \frac{l_{n+1}}{6EI_{n+1}} \right) \cdot X_n + \frac{l_{n+1}}{6EI_{n+1}} \cdot X_{n+1} = \\ = - \frac{\Omega_n \cdot a_n}{EI_n \cdot l_n} - \frac{\Omega_{n+1} \cdot b_{n+1}}{EI_{n+1} \cdot l_{n+1}}. \end{aligned}$$

В случае балки постоянного сечения $J_1 = J_2 = \dots = J_n = J_{n+1}$ и введя обозначения $X_{n-1} = M_{n-1}$; $X_n = M_n$; $X_{n+1} = M_{n+1}$, получим:

$$M_{n-1}l_{n-1} + 2M_n(l_n + l_{n+1}) + M_{n+1}l_{n+1} = - \frac{6\Omega_n a_n}{l_n} - \frac{6\Omega_{n+1} b_{n+1}}{l_{n+1}}. \quad (14.25)$$

Это и есть уравнение трех моментов для неразрезной балки постоянного сечения. В этом уравнении неизвестными являются изгибающие моменты на опорах. Если у неразрезной балки все опоры шарнирные, то таких уравнений можно составить столько, сколько у балки промежуточных опор.

При наличии на концах балки нагруженных консолей, изгибающие моменты на крайних опорах войдут в уравнение трех моментов, как известные вели-

чины, а при отсутствии консолей эти моменты будут равны 0.

Если конец неразрезной балки защемлен, то для применения уравнения (14.25) необходимо, отбросив заделку, ввести с ее стороны дополнительный пролет $l_0 = 0$ (рис.25). Такая система будет деформироваться также, как балка с жесткой заделкой.

Решая совместно, составленные таким образом уравнения, найдем все неизвестные изгибающие моменты на опорах. Далее для построения эпюр M и Q , каждый пролет неразрезной балки рассматриваем как балку на двух шарнирных опорах, загруженных внешней нагрузкой и двумя опорными моментами. Ординаты эпюр могут быть подсчитаны по формулам:

$$M = M_P^c + M_{n-1} \frac{l_n - x}{l_n} + M_n \frac{x}{l_n} \quad (14.26)$$

где M_P^c и Q_P^c - ординаты эпюр M и Q от внешней нагрузки в основной системе.

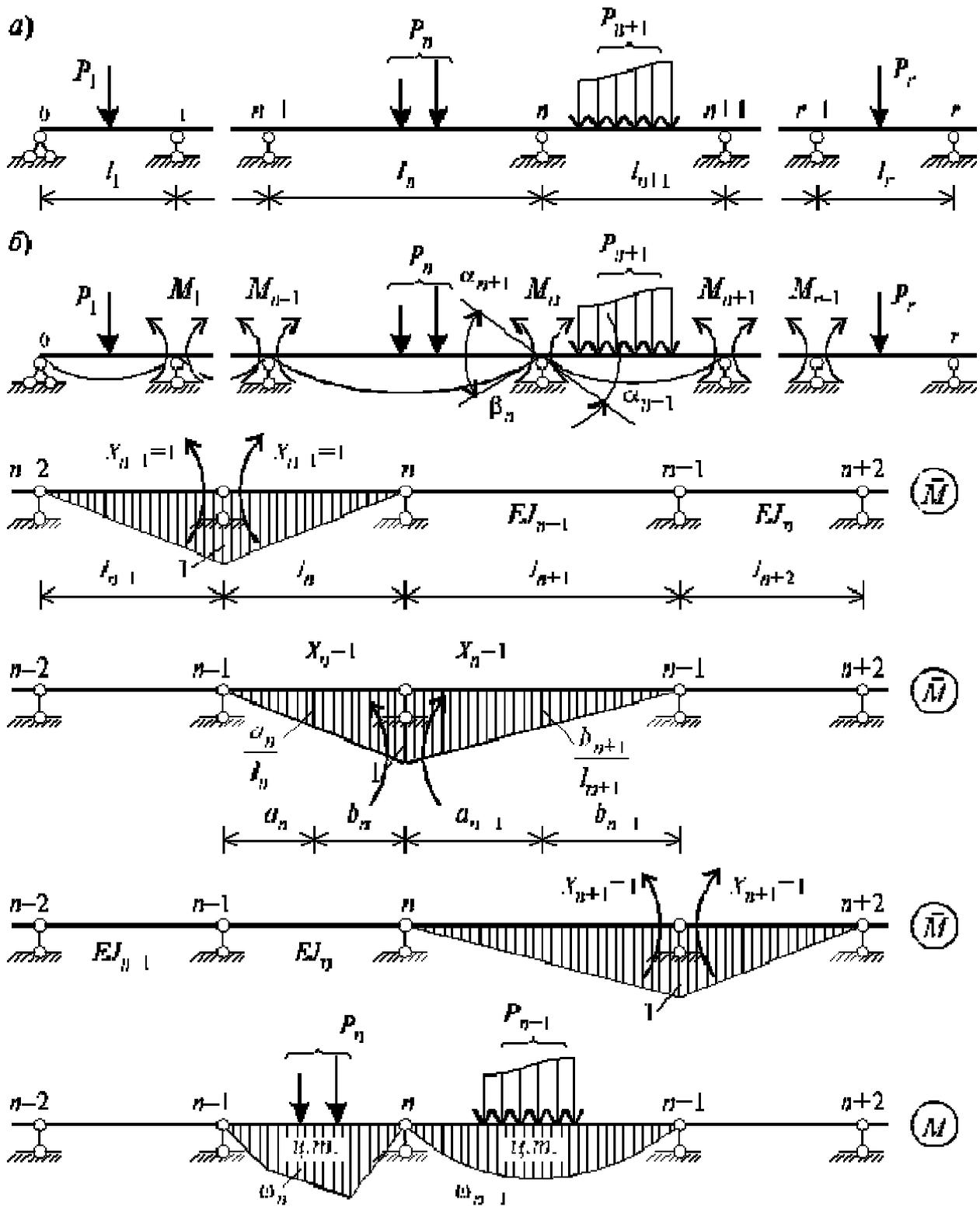


Рис. 24

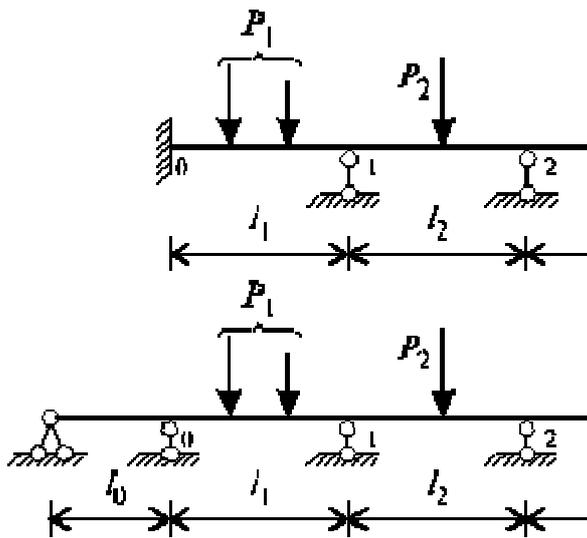


Рис. 25

Чтобы убедиться в правильности построения эпюр M и Q необходимо провести проверку равновесия неразрезной балки по уравнениям: $\sum \mathcal{U} = 0$; $\sum M = 0$.

Для этого следует определить вертикальные опорные реакции неразрезной балки, используя эпюру Q :

$$R_n = Q_n^{\text{слева}} - Q_n^{\text{справа}} \quad (14.27)$$

Задание к практической работе №25

Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов для неразрезной балки по данным своего варианта. Задание выбрать из сборника задач для расчетно-графических работ автор В.И. Сетков стр.202-205.

После оформления работы подготовьтесь к устному опросу по вопросам:

- 1.Какая балка называется неразрезной?
- 2.Как классифицируют неразрезные балки по числу пролетов?
- 3.По какой формуле определяется степень статической неопределимости неразрезных балок?
- 4.Как при помощи уравнений трех моментов определить опорные моменты?
- 5.Последовательность расчета неразрезных балок;
- 6.Как проверить правильность расчета?

Перечень рекомендуемой литературы

Основные источники:

1. Сетков В.И. Техническая механика для строительных специальностей: Учеб. пособие – М.:Академия, 2010

Дополнительные источники:

1. Мухин Н. В., Першин А. Н. Статика сооружений: Учебное пособие для техникумов. – М: «Высшая школа», 2006. – 343с.
2. Мухин Н. В. Статика сооружений в примерах. – М «Высшая школа», 2005. – 303 с.
3. Олофинская В. П. Техническая механика. Сборник тестовых заданий. – М.: «Форум Инфра», 2002. – 132 с.
4. Сетков В. И. Сборник задач по технической механике. Учебное пособие для техникумов. - М.: «Стройиздат», 2007. – 224с
5. Улитин Н. С., Першин А. Н. Сборник задач по технической механике: – М.: «Высшая школа», 2006. – 399с.
6. Эрдеди А.А, Аникин И.В. Техническая механика: Учебник для техникумов. – М.: «Высшая школа», 2005. – 446с.

Учебное издание

Е.Г. Чапурина

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Учебно-методическое пособие

Редактор Лебедева Е.М.

Подписано к печати 13.07.2015 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Усл. п. л. 4,53. Тираж 100 экз. Изд. № 3096.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ